

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГОРНЫХ МАШИН

А.В. Михайлов¹, К.С. Репкина¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: repkinaks@mail.ru

Аннотация: Основным фактором, приводящим к отказам гидравлической системы и простоям машин, является загрязнение гидравлической жидкости и аварийные отказы по причине обрывов рукавов высокого давления – около 50% источников аварийных разливов. Погрузчики, экскаваторы и самосвалы являются наиболее частыми объектами, на которые приходится около 58% всех аварийных разливов гидравлической жидкости. Обеспеченность гидравлической жидкостью определяется не только объемом гидравлического бака машины, но и необходимым количеством для замен в рамках технического обслуживания, а также при утечках и аварийных разливах. Показаны результаты применения дополнительной очистки гидравлической жидкости гидросистем экскаваторов на мобильных фильтрационных установках, что обеспечивает высокую эффективность очистки, сокращение расходов на обслуживание и предотвращает внезапные отказы. Для эффективного управления техническим состоянием гидравлической системы горных машин предлагается в состав действующего регламента работ по техническому обслуживанию ввести очистку гидравлической жидкости на мобильных фильтрующих установках. Введение дополнительной операции механической фильтрации позволит обеспечить продление работоспособности машины при минимальных удельных суммарных затратах на приобретение гидравлической жидкости при возможной замене оставшейся части гидравлической жидкости (еще не выработавшей свой ресурс до плановой замены). Создается резерв жидкости, прошедшей механическую очистку и пригодной для доливов при небольших по масштабам разливах или утечках, вместо доливов каждый раз новой жидкости при проведении мероприятий технического обслуживания гидросистем на месте эксплуатации.

Ключевые слова: горные машины, гидравлическая система, гидравлическая жидкость, загрязнения, объем жидкости, утечки и разливы, фильтрация, мобильная установка.

Для цитирования: Михайлов А. В., Репкина К. С. Гидравлическая жидкость как фактор управления техническим состоянием гидравлической системы горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 5. – С. 39–51. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_5_0_39.

Hydraulic fluid as a controlling factor of hydraulic system technical condition of mining machines

A.V. Mikhailov¹, K.S. Repkina¹

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: repkinaks@mail.ru

Abstract: The main factors leading to hydraulic system failures and machine downtime are hydraulic fluid contamination and accidental failures due to high-pressure hose ruptures, which account for approximately 50% of accidental spills. Loaders, excavators, and dump trucks are the most common targets, accounting for approximately 58% of all accidental hydraulic fluid spills. Hydraulic fluid availability is determined not only by the machine's hydraulic tank capacity but also by the required amount for maintenance changes, as well as in the event of leaks and accidental spills. The results of using additional hydraulic fluid cleaning in excavator hydraulic systems using mobile filtration units are presented. This ensures high cleaning efficiency, reduces maintenance costs, and prevents unexpected failures. To effectively manage the technical condition of mining machine hydraulic systems, it is proposed to include hydraulic fluid cleaning using mobile filtration units in the current maintenance procedures. The introduction of an additional mechanical filtration procedure will ensure extended machine life while minimizing the total cost of hydraulic fluid purchases, while also allowing for the replacement of any remaining hydraulic fluid (that has not yet reached the end of its service life before the scheduled replacement). This creates a reserve of mechanically purified fluid suitable for topping up minor spills or leaks, rather than requiring fresh fluid each time hydraulic system maintenance is performed on-site.

Key words: mining machines, hydraulic system, hydraulic fluid, contaminants, fluid volume, leaks and spills, filtration, mobile plant.

For citation: Mikhailov A. V., Repkina K. S. Hydraulic fluid as a controlling factor of hydraulic system technical condition of mining machines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(5):39-51. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_5_0_39.

Введение

Гидравлические системы широко используются практически во всех горных машинах и состоят из силовых агрегатов, гидравлических клапанов, приводов, гидравлической жидкости и других основных и дополнительных компонентов.

Анализ результатов исследования надежности работы гидросистем горных машин показывает, что основным фактором, приводящим к простоям машин, является загрязнение гидравлической жидкости [1]. Наиболее интенсивное загрязнение жидкостей гидросистем горных машин происходит в процессе эксплуатации машин в сложных и неблагоприятных горно-геологических и климатических условиях, отличающихся повышенной влажностью, запыленностью рабочей среды [2, 3].

Эксплуатация горного оборудования в тяжелых условиях может привести к интенсивному внутреннему изнашиванию в парах трения элементов гидравлических систем [4 – 6]. Например, гидравлическую жидкость следует менять через 1500 ч работы экскаватора при 20%-ном использовании гидромолота (около 300 ч) или через 800 ч работы экскаватора при 70%-ном использовании гидромолота (560 ч). Увеличение количества часов работы экскаватора с гидромолотом приводит к значительному сокращению общего срока службы гидравлической жидкости, а значит, и к необходимости ее более ранней замены [6].

Общая эффективность и срок службы в основном зависят от таких факторов, как температура и загрязненность [7]. Более 70% отказов гидравлической системы связаны с загрязнениями гид-

равлической жидкости, причем 60–70% всех отказов вызваны наличием твердых частиц [8].

В работе [9] отмечается, что в экскаваторе, работающем в условиях повышенной температуры, наиболее проблематичными являются детали, изготовленные из эластомеров (уплотнения штоков силовых гидроцилиндров). Данная группа элементов гидросистемы подвержена ускоренному процессу старения. Запыленность рабочей зоны экскаватора ускоряет изнашиваемость трущихся пар, загрязняет рабочую жидкость, снижает срок службы фильтрующих элементов гидравлической жидкости.

В статье [10] показан негативный характер воздействия абразивной мелкодисперсной железорудной пыли в рабочей зоне рудника Бухадра (Алжир) на интенсивность изнашивания штока и уплотнений гидроцилиндра карьерного экскаватора при погрузке железной руды, что вызывает загрязнение гидравлической жидкости. При подземной разработке около 2/3 неисправностей гидравлических систем технологического оборудования вызваны загрязнением гидравлической жидкости [11].

В работе [12] проведен анализ дерева неисправностей гидравлической системы тяжелого станочного оборудования. После более 12 месяцев наблюдения (в общей сложности более 2000 ч) было зафиксировано 143 случая отказа гидравлической системы. По результатам анализа данных выделены три самых критичных фактора: загрязнение гидравлической жидкости, недостаточный уровень технического обслуживания и низкое качество элементов гидросистем, на которые приходится более 50% отказов.

Основные причины отказов гидросистем связаны с недостатками технического обслуживания, утечками, разрывом элемента гидравлического контура.

Эффективность функционирования горного оборудования во многом зависит от уровня и качества технического обслуживания и ремонта. Так, количество внезапных отказов, связанных с несовершенством системы технического обслуживания, составляет 50% [13, 14].

Эти системы могут выйти из строя по таким причинам, как загрязнение жидкости, недостаточное количество жидкости, использование не рекомендованной производителем жидкости, утечки, неплотные соединения, повышенная температура или давление, а также кавитация [15].

В исследовании [16] выявлена закономерность изменения коэффициента готовности горного оборудования от класса чистоты рабочей жидкости. Предложен способ оценки загрязненности рабочей жидкости гидравлической трансмиссии по величине акустико-эмиссионного сигнала для сокращения отказов гидравлических систем.

В процессе эксплуатации оборудования под действием различных взаимосвязанных горнотехнических факторов непрерывно ухудшается техническое состояние гидравлической системы машин, что приводит к снижению технико-экономических показателей функционирования машин в целом [17, 18].

Таким образом, следует уделять повышенное внимание гидравлической системе горного оборудования при проведении мероприятий технического обслуживания и очистки гидравлической жидкости.

Цель статьи заключается в анализе текущего состояния гидравлической жидкости в гидравлических системах горного оборудования, с учетом утечек и разливов при аварийных ситуациях, что требует проведения мероприятий технического обслуживания еще не выработавшей свой ресурс и прошедшей механическую очистку гидравлической си-

стемы в рамках нерегламентированного технического обслуживания с учетом ненормированной наработки.

Состояние гидравлической жидкости в гидросистеме машин

Гидравлическая жидкость играет важную роль в смазке, уплотнении, предотвращении изнашивания и коррозии, а также в охлаждении гидросистем горных машин. Она представляет собой комбинацию базовых масел и присадок, состоящих из сложных смесей углеводородов [19].

Постоянно повышаются эксплуатационные требования к используемым гидравлическим жидкостям, поскольку они могут оказывать решающее влияние на износостойкость гидравлических компонентов [20]:

- высокие смазывающие и противозносные свойства;
- стабильность вязкости во всем диапазоне рабочих температур;
- устойчивость к старению;
- хорошая теплопроводность;
- нейтральность к материалам гидрозъемов и уплотнений.
- низкая токсичность жидкости и ее паров;
- высокая температура кипения и низкая температура замерзания;
- высокая устойчивость к воспламенению (пожаробезопасность);
- низкая склонность к пенообразованию;
- низкая стоимость и не дефицитность.

Уровень чистоты гидравлических жидкостей является одним из важнейших показателей для прогнозирования ресурса и возможных отказов гидравлических компонентов и, как следствие, всей гидравлической системы [21].

В основном следует отметить три основных источника загрязнений гидрав-

лической жидкости в гидравлических системах горных машин:

- остаточные загрязнения (первичные загрязнения), такие как заусенцы, стружка и т.п., образуются при производстве, сборке и тестировании гидравлических компонентов гидросистем [22];
- естественные загрязнения: горные машины как правило, эксплуатируются при высоком уровне минеральной пыли [21] и воды в гидравлических системах. Загрязнения также могут быть внесены во время технического обслуживания, при доливе гидравлической жидкости на месте эксплуатации. Твердые загрязнения вызывают абразивное изнашивание и заиливание в гидравлической системе. В нормальных условиях доля воздуха в гидравлической жидкости составляет 6 – 8% [22]. После достижения точки насыщения и попадания в гидравлическую систему большего количества паров воды образуется эмульсия. Частицы из окружающей среды попадают в гидравлическую жидкость через отверстия, включая сапуны гидробаков, изношенные уплотнения штоков гидроцилиндров, а также при открытии системы для технического обслуживания [11, 14];
- генерируемое загрязнение (абразивное изнашивание) возникает в результате контакта гидравлических компонентов с твердыми частицами во время эксплуатации и не всегда может быть предотвращено. Мелкие частицы загрязнений превращаются в более крупные. При вскрышных работах в гидросистему из почвы попадают органические волокнистые частицы толщиной до 30 мкм при отношении длины к толщине не менее 10:1.

В табл. 1 приведены основные источники загрязнений гидравлической жидкости и последствия загрязнения.

В работе [23] приведены три факта относительно загрязнения гидравлических жидкостей:

Таблица 1

**Источники и последствия загрязнения гидравлической жидкости [Составлено авторами]
Sources and consequences of hydraulic fluid contamination [Compiled by the authors]**

Источник	Последствия загрязнения гидравлической жидкости
Воздух	Кавитация. Сгорание с «эффектом Дизеля». Сжимаемость жидкости. Повышается уровень шума
Вода	Интенсивное старение гидравлической жидкости. Пенообразование. Негативное влияние на смазочные свойства
Твердые частицы	Интенсивное абразивное изнашивание компонентов. Засорение дроссельных элементов. Затрудненное управление клапанами. Увеличение потерь энергии в результате внутренних утечек

• не существует эффективных методов предотвращения попадания внешних загрязнителей в гидравлическую жидкость;

• отсутствует мониторинг количества основных загрязнений гидравлической жидкости в режиме реального времени;

• отсутствуют эффективные методы очистки гидравлической жидкости от воды и воздуха.

В гидросистемах машин находится значительное количество гидравлической жидкости, и при высоком давлении; аварийные разливы (потери) также могут быть значительными (табл. 2).

В горной промышленности в настоящее время существует несколько подходов к определению интервалов замены гидравлической жидкости в карьерных экскаваторах [6]:

• замена в соответствии с рекомендациями производителей;

• замена, обусловленная опытом пользователей оборудования, исходя из времени использования, но без контроля свойств масла;

• замена, производимая в результате периодического мониторинга состояния гидравлической жидкости;

• замена после аварийных разливов.

Учитывая нынешние высокие цены на нефтепродукты, потери гидравлической жидкости требуют затрат на ее регулярный долив. И чем больше гидробак, тем дороже обойдется комплектация гидравлической жидкостью.

В работе [24] приведены результаты анализа надежности группы карьерных гидравлических экскаваторов за период 2017 – 2019 гг. в условиях угольного разреза «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» в Искитимском районе Новосибирской области. Доля простоев для восстановления работоспособности гид-

Таблица 2

**Усредненные характеристики гидравлических систем горных машин
[Составлено авторами]**

Average characteristics of hydraulic systems of mining machines [Compiled by the authors]

Оборудование	Вместимость гидробака, л	Рабочее давление, МПа	Расход, л/мин
Колесный погрузчик	225	31,0	253
Экскаватор строительный	248	37,3	670
Экскаватор карьерный	600 – 2500	31,4	2×494
Самосвал	322	34,5	458
Бульдозер	130	27,5	366

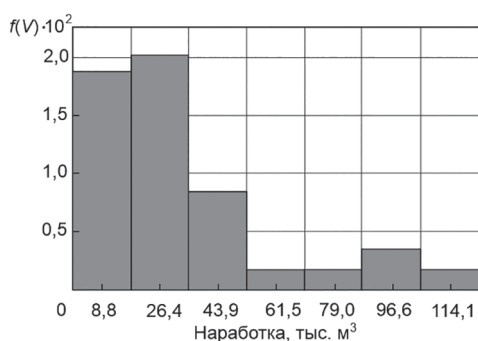


Рис. 1. Гистограмма накопленных вероятностей наработки экскаватора Bucyrus RH120E между отказами РВД [Составлено авторами]

Fig. 1. Histogram of accumulated probabilities of operating time of Bucyrus RH120E excavator between WFD failures [Compiled by the authors]

равлических систем составила 28%. Из них преимущественно — замена рукавов высокого давления (РВД), долива гидравлической жидкости. Количество простоев, связанных с заменой РВД, составило 373, что обусловлено расположением РВД в «нагруженных» зонах». На рис. 1 приведена гистограмма накопленных вероятностей наработки экскаватора Bucyrus RH120E между отказами РВД. Математическое ожидание наработки на отказ по РВД составило 20,8 тыс. м³.

Разливы гидравлической жидкости, которые являются следствием эксплуатации горного оборудования, представляют собой серьезную операционную проблему для горнодобывающих компаний. Такие утечки приводят к нерациональному расходованию гидравлической жидкости, а также способствуют загрязнению почвы и грунтовых вод. По имеющимся данным, ежегодно утечки из гидравлического оборудования оцениваются в 370 млн л гидравлической жидкости [25, 26].

Разливы гидравлической жидкости из-за обрывов гидравлических шлангов и их фитингов являются наиболее распространенными источниками разливов, составляя 80% [25].

Гидравлические жидкости на минеральной основе токсичны как в почве,

так и в водной среде и медленно разрушаются [27]. Например, по оценкам Федерального ведомства по охране окружающей среды Германии, ежегодный коэффициент возврата отработанных гидравлических жидкостей составляет в среднем 75%. Это означает, что 25% гидравлической жидкости попадает в окружающую среду или не утилизируется должным образом [28]. Так, в Германии 2022 г. при объеме продаж на внутреннем рынке около 92,5 тыс. т потери гидравлической жидкости за год составили соответственно 23,1 тыс. т.

В работе [25] приведены результаты исследования аварийных разливов гидравлической жидкости оборудования на строительстве завода по производству сжиженного природного газа в Западной Австралии. За 14 месяцев было зарегистрировано 86 случаев разлива, из них 30% (27 разливов) были объемом 20 л и более. Погрузчики, экскаваторы, самосвалы и комбайн для поверхностной добычи были наиболее частыми объектами, на которые приходилось около 58% всех разливов [29]. Гидравлические шланги, уплотнительные кольца (в гидравлических системах) и соединения гидравлических шлангов составляли 50% источников аварийных разливов на этих машинах. Распределение частот разли-

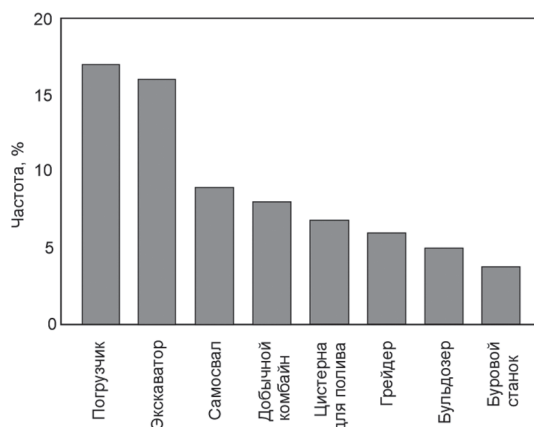


Рис. 2. Распределение частот разливов гидравлической жидкости [Составлено авторами]
 Fig. 2. Frequency distribution of hydraulic fluid spills [Compiled by the authors]

вов показано на диаграмме Парето, что является визуальным инструментом для выявления наиболее вероятных типов машин, участвовавших в инцидентах с разливами гидравлической жидкости (рис. 2).

При эксплуатации гидросистем в широком диапазоне температур OEM производители рекомендуют применять летние и зимние сорта гидравлических жидкостей. Необходимо также после периода обкатки оборудования в течение 50—100 ч производить замену гидравлической жидкости, загрязненной продуктами изнашивания в начальный период эксплуатации.

Незапланированных простоев и дорогостоящего ремонта можно избежать благодаря систематическому профилактическому обслуживанию гидравлической жидкости, проводя очистку через определенные периоды [30].

Штатные фильтры в гидросистемах имеют три основных недостатка [31]:

- высокое дифференциальное давление, вызывающее вторичное загрязнение жидкости;
- необходимость частой замены фильтрующих элементов, что значительно увеличивает затраты на очистку;
- низкая эффективность и ограниченная грязеемкость.

Управление техническим состоянием гидравлической жидкости

Для эффективного управления техническим состоянием гидравлической системы горных машин предлагается в состав действующего регламента работ по техническому обслуживанию ввести автономную очистку гидравлической жидкости путем фильтрации вне гидросистемы машины в рамках нерегламентированного технического обслуживания с использованием мобильных систем. Введение дополнительной операции позволит обеспечить продление работоспособности машины при минимальных удельных суммарных затратах на проведение мероприятий [32].

По материалам ООО «АРГИС-Инжиниринг» по очистке гидравлической жидкости мобильными фильтрационными установками в табл. 3 приведены показатели эффективности проведения спецмероприятий на гидравлических экскаваторах [33].

Таким образом, регулярная очистка гидравлических жидкостей может обеспечить высокую эффективность оборудования, сократить расходы на обслуживание и предотвратить внезапные отказы [34].

Таблица 3

Эффективность дополнительной очистки гидравлической жидкости на мобильных фильтрационных установках [33]**Efficiency of additional cleaning of hydraulic fluid by mobile filtration units [33]**

Параметры	Состояние гидросистемы	Карьерные гидравлические экскаваторы, 11 шт.	Строительные гидравлические экскаваторы, 17 шт.
Среднее время наработки, моточасы	до очистки	1780	6000
	после очистки	10 226	7500
Чистота жидкости ГОСТ Р 17216-2001, класс	до очистки	15	17
	после очистки	10	11
Максимальная крупность частиц загрязнений, мкм	до очистки	200	200
	после очистки	40	40
Эффективный ресурс линейных фильтров, моточасы	до очистки	230	120
	после очистки	1750	1500
Долговечность жидкости (по фактору химсостава), моточасы	до очистки	2000	2000
	после очистки	5000	5000

Мероприятия технического обслуживания по очистке гидравлической жидкости на мобильных фильтрационных установках рассматриваются в качестве наилучших технических решений для продления межремонтного периода машин за счет снижения содержания загрязняющих веществ и повторного использования жидкости при заменах [35].

Заключение

В работе проанализированы типичные ситуации, которые могут возникнуть во время эксплуатации гидравлических систем горных машин под действием неблагоприятных взаимосвязанных горнотехнических факторов при высоком содержании мелкодисперсной абразивной пыли в воздухе рабочей зоны машин.

В процессе эксплуатации горного оборудования непрерывно ухудшается техническое состояние гидравлической жидкости. Около 2/3 неисправностей в гидравлической системе горнодобывающего оборудования вызваны загрязнением гидравлической жидкости.

Как показывает анализ ситуации — не существует эффективных методов предотвращения попадания внешних загрязнителей в гидравлическую жидкость гидросистемы машин. Кроме этого, дополнительное загрязнение происходит при аварийных ситуациях из-за обрывов рукавов высокого давления, что сопровождается разливом гидравлической жидкости и требует замены рукавов и долива жидкости в эксплуатационных условиях.

После моторных масел гидравлические жидкости являются второй по значимости группой расходных материалов, что требует повышенного внимания, основанного на принципах бережливого подхода — фактора, способствующего снижению производственных потерь и затрат на расходные материалы.

Для эффективного управления техническим состоянием гидравлической системы горных машин предлагается в состав действующего регламента работ по техническому обслуживанию ввести очистку гидравлической жидкости на мобильных фильтрующих установках. Введение дополнительной операции ме-

ханической фильтрации гидравлической жидкости позволит обеспечить продление работоспособности машины при минимальных удельных суммарных затратах на приобретение гидравлической жидкости при возможной замене оставшейся части гидравлической жидкости (еще не выработавшей свой ресурс до

плановой замены). Создается резерв жидкости, прошедшей механическую очистку и пригодной для доливов при небольших по масштабам разливах или утечек, вместо доливов каждый раз новой жидкости при проведении мероприятий технического обслуживания гидросистем на месте эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sumar Hadi Suryo, Bayuseno A. P.* Study on reliability analysis of hydraulic components and excavator engine in maintenance of mine heavy equipment // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018, vol. 9, no. 8, pp. 1244–1254.

2. *Kuvshinkin S. Y., Ivanova P. V.* Developing a methodology for estimation of excavation techniques for given operating conditions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 378, no. 1, article 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012121.

3. *Гарашенко Ж. М., Теремецкая В. А., Габов В. В.* Отработка угольных целиклов унифицированными выемочными модулями локальными забоями // *Горная промышленность*. – 2024. – № 55. – С. 151–157. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-55-151-157.

4. *Холодняков Г. А., Лигоцкий Д. Н., Половинко А. В.* Малоотходная и экологичная технология добычи полезных ископаемых на карьерах с помощью гидромолотов // *Записки Горного института*. – 2009. – Т. 180. – С. 15–17.

5. *Zhukov I. A., Martyushev N. V., Zyukin D. A., Azimov A. M., Karlina A. I.* Modification of hydraulic hammers used in repair of metallurgical units // *Metallurgist*. 2023, vol. 12, pp. 1644–1652. DOI: 10.1007/s11015-023-01480-w.

6. *Władzielczyk K., Kipczak P.* Ageing process of hydraulic oil in single-bucket excavators in rock mining // *New Trends in Production Engineering*. 2019, vol. 2, no. 1, pp. 130–139. DOI: 10.2478/ntpe-2019-0014.

7. *Novak N., Trajkovski A., Kalin M., Majdić F.* Degradation of hydraulic system due to wear particles or medium test dust // *Applied Sciences*. 2023, vol. 13, article 7777. DOI: 10.3390/app13137777.

8. *Zhang Y., Liu Y., Wang Z., Tao Y., Yang L., Li Y.* Prediction of oil contamination in aviation hydraulic system and active leakage strategy / *Proceedings of the 2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Chengdu, China, 2022, pp. 578–583. DOI: 10.1109/ICIEA54703.2022.10006227.

9. *Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Емельянов А. А., Пумпур Е. В.* Оценка показателей работоспособности карьерных экскаваторов в реальных условиях эксплуатации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2020. – № 10. – С. 86–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94.

10. *Абдельвахаб Агагена, Михайлов А. В.* Влияние железорудной пыли на изнашивание поверхности штоков гидроцилиндров карьерного экскаватора // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2023. – № 11-1. – С. 5–23. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_5.

11. *Huirong Zhang, Zhongfu Yao* Harm and control of hydraulic oil pollution in coal mine machinery // *IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series*. 2020, vol. 1601, no. 6, article 062002. DOI: 10.1088/1742-6596/1601/6/062002.

12. *Li S., Yang Z., Tian H., Chen C., Zhu Y., Deng F., Lu S.* Failure analysis for hydraulic system of heavy-duty machine tool with incomplete failure data // *Applied Sciences*. 2021, vol. 11, article 1249. DOI: 10.3390/app11031249.

13. *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.

14. *Иванов С. Л., Мякотных А. А., Князькина В. И.* Повышение работоспособности гидрофицированного горного оборудования для реализации климатической нейтральной геотехно-

- гии торфа // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. — 2022. — № 16. — С. 110–116. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-16-110-116.
15. Рахутин М. Г., Занг К. К., Кривенко А. Е., Чан В. Х. Оценка влияния температуры рабочей жидкости на потери мощности карьерного гидравлического экскаватора // Записки Горного института. — 2023. — Т. 261. — С. 374–383.
16. Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Мякотных А. А. Тенденции востребованности карьерных гидравлических экскаваторов в РФ и контроль состояния их гидравлических систем // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. — 2022. — № 17-2. — С. 288–293. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-17-288-293.
17. Кириллов К. Г. Основные неисправности гидропривода, их профилактика и методы устранения [Электронный ресурс]. URL: <http://zapchasty.tradicia.k.ru/articles/osnovnye-neispravnosti-gidroprivoda-ikh-profilaktika-i-metody-ustraneniya> (дата обращения: 04.04.2025).
18. 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.
19. Guan L., Feng X. L., Xiong G., Xie J. A. Application of dielectric spectroscopy for engine lubricating oil degradation monitoring // Sensors and Actuators, A: Physical. 2011, vol. 168, pp. 22–29. DOI: 10.1016/j.sna.2011.03.033.
20. Blum K.-H., Ellenrieder K. Validated hydraulic fluids for increased hydraulic life development // Hydraulics. 2017, vol. 10, pp. 50–55. DOI: 10.1007/S41321-017-0002-Y.
21. Ng F., Harding J. A., Glass J. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring // Mechanical Systems and Signal Processing. 2017, vol. 83, pp. 176–193. DOI: 10.1016/j.ymsp.2016.06.006.
22. Yuejing Jiang Maintenance of hydraulic system in mechanical engineering / Advances in Engineering and Applied Science Research: 2021 International Conference on Intelligent Manufacturing Technology and Information Technology. 2021, vol. 11, pp. 82–84. DOI: 10.23977/IMTIT2021019.
23. Ren-cai Zhang, Xiang Yu, Yun-long Hu, Hong-jiao Zang, Wen Shu Active control of hydraulic oil contamination to extend the service life of aviation hydraulic system // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018, vol. 96, pp. 1693–1704. DOI: 10.1007/s00170-017-0833-9.
24. Москвичев В. В., Ковалев М. А. Исследование показателей надежности основных групп оборудования карьерных гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 7. — С. 96–112. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_96.
25. Guerin T. Root causes of fluid spills from earthmoving plant and equipment: Implications for reducing environmental and safety impacts // Engineering Failure Analysis. 2014, vol. 45, pp. 128–141. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.06.011.
26. Deuster S., Schmitz K. Bio-based hydraulic fluids and the influence of hydraulic oil viscosity on the efficiency of mobile machinery // Sustainability. 2021, vol. 13, article 7570. DOI: 10.3390/su13147570.
27. Kamyab B., Beims R., Chambers D. W., Bassi A. S. Sustainable production of high-performance bio-based hydraulic fluids from vegetable oils: Recent advances, current challenges, and future perspectives // Biomass & Bioenergy. 2024, vol. 183, no. 14, article 107160. DOI: 10.1016/j.biombioe.2024.107160.
28. Sander K., Jespsen D., Zangl S., Schilling S. Stoffstrom- und Marktanalyse zur Sicherung der Altölsorgung; Umweltbundesamt: Umweltbundesamt, Dessau, Germany, 15/06, 2006, 105 p. <http://www.umweltbundesamt.de>.
29. Фомин С. И., Лелен А. Определение производительности карьеров цементной промышленности, разрабатывающих минеральное сырье с использованием комбайнов послыоного фрезерования SM // Маркшейдерия и недропользование. — 2024. — № 3. — С. 122–127. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_122_127.
30. Sobczyk A., Pobędza J. Hydraulic systems safety by reducing operation and maintenance mistakes // CzOTO. 2019, vol. 1, no. 1, pp. 700–707. DOI: 10.2478/czoto-2019-0089.
31. Lee J. C., Shin H. M., Tessmann R. K. An investigation of roll-off cleanliness for hydraulic systems and its application to a tractor // Biosystems Engineering. 2007, vol. 96, no. 1, pp. 19–27. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.10.005.
32. Юшков А. Н. Алгоритм расчета оптимальной периодичности замены гидравлического масла // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — 2009. — № 189. — С. 141–148.

33. Очистка жидкости мобильными фильтрационными установками. Техническая информация. ООО «АРГИС-Инжиниринг». URL: <https://argis.ru/Технический мониторинг%20 ПФУ.pdf> (дата доступа 19.05.2025).

34. Goharrizi A. Y., Sepehri N. Application of fast fourier and wavelet transforms towards actuator leakage diagnosis: A comparative study // International Journal of Fluid Power. 2013, vol. 14, pp. 39–51. DOI: 10.1080/14399776.2013.10781074.

35. Sandeep Mishra, Neeraj Kumar Goyal, Arup Mukherjee Reliability analysis and life cycle cost optimization of hydraulic excavator // Journal of Reliability and Statistical Studies. 2024, vol. 16, no. 2, pp. 297–328 DOI: 10.13052/jrss0974-8024.1626. **МИАБ**

REFERENCES

1. Sumar Hadi Suryo, Bayuseno A. P. Study on reliability analysis of hydraulic components and excavator engine in maintenance of mine heavy equipment. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018, vol. 9, no. 8, pp. 1244–1254.

2. Kuvshinkin S. Y., Ivanova P. V. Developing a methodology for estimation of excavation techniques for given operating conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 378, no. 1, article 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012121.

3. Garashchenko Zh. M., Teremetskaya V. A., Gabov V. V. Mining of coal pillars using unified excavation modules with local faces. *Russian Mining Industry Journal*. 2024, no. 5S, pp. 151–157. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-151-157.

4. Kholodnyakov G. A., Ligotskii D. N., Polovinko A. V. Low-waste and eco-friendly technology of mining in pits using hydraulic hammers. *Journal of Mining Institute*. 2009, vol. 180, pp. 15–17. [In Russ].

5. Zhukov I. A., Martyshev N. V., Zyukin D. A., Azimov A. M., Karlina A. I. Modification of hydraulic hammers used in repair of metallurgical units. *Metallurgist*. 2023, vol. 12, pp. 1644–1652. DOI: 10.1007/s11015-023-01480-w.

6. Władzielczyk K., Kipczak P. Ageing process of hydraulic oil in single-bucket excavators in rock mining. *New Trends in Production Engineering*. 2019, vol. 2, no. 1, pp. 130–139. DOI: 10.2478/ntpe-2019-0014.

7. Novak N., Trajkovski A., Kalin M., Majdić F. Degradation of hydraulic system due to wear particles or medium test dust. *Applied Sciences*. 2023, vol. 13, article 7777. DOI: 10.3390/app13137777.

8. Zhang Y., Liu Y., Wang Z., Tao Y., Yang L., Li Y. Prediction of oil contamination in aviation hydraulic system and active leakage strategy. *Proceedings of the 2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Chengdu, China, 2022, pp. 578–583. DOI: 10.1109/ICIEA54703.2022.10006227.

9. Shibanov D.A., Ivanov S. L., Yemelyanov A. A., Pumpur E. V. Evaluation of working efficiency of open pit shovels in real operating conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 10, pp. 86–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94.

10. Abdelwahab Agaguena, Mikhailov A. V. Iron ore dust influence on the wear surface of quarry excavator hydraulic cylinder rods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 11-1, pp. 5–23. [In Russ]. DOI: 10.25018/02_36_1493_2023_111_0_5.

11. Huirong Zhang, Zhongfu Yao Harm and control of hydraulic oil pollution in coal mine machinery. *IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series*. 2020, vol. 1601, no. 6, article 062002. DOI: 10.1088/1742-6596/1601/6/062002.

12. Li S., Yang Z., Tian H., Chen C., Zhu Y., Deng F., Lu S. Failure analysis for hydraulic system of heavy-duty machine tool with incomplete failure data. *Applied Sciences*. 2021, vol. 11, article 1249. DOI: 10.3390/app11031249.

13. Salimov A. E., Shibanov D. A., Ivanov S. L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair. *Russian Mining Industry Journal*. 2024, no. 2, pp. 97–102. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-2-97-102.

14. Ivanov S. L., Myakotnykh A. A., Knyazkina V. I. Improvement of operability of hydroficated mining equipment for implementation of climate-neutral peat geotechnology. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022, no. 16, pp. 110–116. [In Russ]. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-16-110-116.

15. Rakhutin M. G., Giang K. Q., Krivenko A. E., Tran V. H. Evaluation of the influence of the hydraulic fluid temperature on power loss of the mining hydraulic excavator. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 261, pp. 374–383. [In Russ].

16. Shibanov D. A., Ivanov S. L., Myakotnykh A. A. Trends in demand for hydraulic quarry excavators in Russia and monitoring the condition of their hydraulic systems. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022, no. 17-2, pp. 288 – 293. [In Russ]. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-17-288-293.

17. Kirillov K. G. *Osnovnye neispravnosti gidroprivoda, ikh profilaktika i metody ustraneniya* [Main faults of hydraulic drive, their prevention and methods of elimination]. [In Russ]. available at: http://zapchasty.tradicia_k.ru/articles/osnovnye-neispravnosti-gidroprivoda-ikh-profilaktika-i-metody-ustraneniya (accessed 04.04.2025).

18. Kurganov V. M., Gryaznov M. V., Kolobanov S. V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 241, pp. 10 – 21. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.

19. Guan L., Feng X. L., Xiong G., Xie J. A. Application of dielectric spectroscopy for engine lubricating oil degradation monitoring. *Sensors and Actuators, A: Physical*. 2011, vol. 168, pp. 22 – 29. DOI: 10.1016/j.sna.2011.03.033.

20. Blum K.-H., Ellenrieder K. Validated hydraulic fluids for increased hydraulic life development. *Hydraulics*. 2017, vol. 10, pp. 50 – 55. DOI: 10.1007/S41321-017-0002-Y.

21. Ng F., Harding J. A., Glass J. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2017, vol. 83, pp. 176 – 193. DOI: 10.1016/j.ymsp.2016.06.006.

22. Yuejing Jiang Maintenance of hydraulic system in mechanical engineering. *Advances in Engineering and Applied Science Research: 2021 International Conference on Intelligent Manufacturing Technology and Information Technology*. 2021, vol. 11, pp. 82 – 84. DOI: 10.23977/IMTIT2021019.

23. Ren-cai Zhang, Xiang Yu, Yun-long Hu, Hong-jiao Zang, Wen Shu Active control of hydraulic oil contamination to extend the service life of aviation hydraulic system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018, vol. 96, pp. 1693 – 1704. DOI: 10.1007/s00170-017-0833-9.

24. Moskvichev V. V., Kovalev M. A. Analysis of reliability indicators of basic implements of hydraulic excavators. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 7, pp. 96 – 112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_96.

25. Guerin T. Root causes of fluid spills from earthmoving plant and equipment: Implications for reducing environmental and safety impacts. *Engineering Failure Analysis*. 2014, vol. 45, pp. 128 – 141. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.06.011.

26. Deuster S., Schmitz K. Bio-based hydraulic fluids and the influence of hydraulic oil viscosity on the efficiency of mobile machinery. *Sustainability*. 2021, vol. 13, article 7570. DOI: 10.3390/su13147570.

27. Kamyab B., Beims R., Chambers D. W., Bassi A. S. Sustainable production of high-performance bio-based hydraulic fluids from vegetable oils: Recent advances, current challenges, and future perspectives. *Biomass & Bioenergy*. 2024, vol. 183, no. 14, article 107160. DOI: 10.1016/j.biombioe.2024.107160.

28. Sander K., Jespsen D., Zangl S., Schilling S. *Stoffstrom- und Marktanalyse zur Sicherung der Altöleentsorgung*; Umweltbundesamt: Umweltbundesamt, Dessau, Germany, 15/06, 2006, 105 p. <http://www.umweltbundesamt.de>.

29. Fomin S. I., Ljeljen A. Output determination of open-cast mining cement raw materials deposits using surface miners SM. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024, no. 3, pp. 122 – 127. [In Russ]. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_122_127.

30. Sobczyk A., Pobędza J. Hydraulic systems safety by reducing operation and maintenance mistakes. *CzOTO*. 2019, vol. 1, no. 1, pp. 700 – 707. DOI: 10.2478/czoto-2019-0089.

31. Lee J. C., Shin H. M., Tessmann R. K. An investigation of roll-off cleanliness for hydraulic systems and its application to a tractor. *Biosystems Engineering*. 2007, vol. 96, no. 1, pp. 19 – 27. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.10.005.

32. Yushkov A. N. Algorithm for calculating the estimated frequency of hydraulic oil replacement. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2009, no. 189, pp. 141 – 148. [In Russ].

33. *Ochistka zhidkosti mobil'nyimi fil'tratsionnymi ustanovkami. Tekhnicheskaya informatsiya. OOO «ARGIS-Inzhiniring»* [Liquid treatment by mobile filtration units. Technical information. ARGIS-Engineering Ltd]. [In Russ]. available at: <https://argis.ru/Технический мониторинг%20 ПФУ.pdf> (accessed 19.05.2025).

34. Goharrizi A. Y., Sepehri N. Application of fast fourier and wavelet transforms towards actuator leakage diagnosis: A comparative study. *International Journal of Fluid Power*. 2013, vol. 14, pp. 39 – 51. DOI: 10.1080/14399776.2013.10781074.

35. Sandeep Mishra, Neeraj Kumar Goyal, Arup Mukherjee Reliability analysis and life cycle cost optimization of hydraulic excavator. *Journal of Reliability and Statistical Studies*. 2024, vol. 16, no. 2, pp. 297 – 328 DOI: 10.13052/jrssi0974-8024.1626.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Александр Викторович¹ – д-р техн. наук, профессор, профессор, e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0002-0516-7737,

Репкина Ксения Сергеевна¹ – аспирант, e-mail: s255004@stud.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0006-8639-4961,

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.

Для контактов: Репкина К.С., e-mail: s255004@stud.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A. V. Mikhailov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor, e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0002-0516-7737,

K.S. Repkina¹, Graduate Student, e-mail: s255004@stud.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0006-8639-4961,

¹ Empress Catharine II Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint Petersburg, Russia.

Corresponding author: K.S. Repkina, e-mail: s255004@stud.spmi.ru.

Получена редакцией 09.12.2025; получена после рецензии 06.03.2026; принята к печати 10.04.2026.

Received by the editors 09.12.2025; received after the review 06.03.2026; accepted for printing 10.04.2026.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ВОРКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(2025, № 11, СБ 26, 16 с.)

Мельник Владимир Васильевич – д-р техн. наук, профессор, НИТУ МИСИС, e-mail: geotekh-melnik@yandex.ru, Суфьяров Артур Мадисович – аспирант, e-mail: archi1984@mail.ru, НИТУ МИСИС.

Рассмотрены возможности повышения эффективности проветривания призабойного пространства, приведены результаты численного моделирования распределения воздуха на выемочном участке при прямоточных схемах проветривания, определена предельная величина отставания от лавы работ по погашению вентиляционной выработки и охранных сооружений в конвейерной выработке. Показано, что повышение эффективности дегазации может быть обеспечено посредством вовлечения в дегазацию надрабатываемой толщи. Дегазацию предложено осуществлять через восходящие скважины, пробуренные из специальных выработок, пройденных в породах надрабатываемой толщи и составляющих дегазационный горизонт. Определены параметры заложения дегазационных скважин, обоснована возможность существенного повышения нагрузок на забой по газовому фактору для очистных забоев по пласту «Четвертый».

Ключевые слова: уголь, свита пластов, шахта, управление газовыделением, выемочный участок, вентиляция, дегазация, дегазационный горизонт, эффективность.

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF GAS EMISSION CONTROL DURING THE VORKUTA DEPOSIT'S COAL SEAMS MINING

V.V. Melnik¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: geotekh-melnik@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0008-8678-8324, A.M. Sufiyarov¹, Graduate Student, e-mail: archi1984@mail.ru; ¹ NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia.

The possibilities of increasing the efficiency of coal face ventilation are considered, the results of numerical modeling of air distribution in the excavation area with direct-flow ventilation schemes are presented, and the maximum lag from the coal face and work on extinguishing ventilation workings and security structures in conveyor entry is determined. It is shown that an increase in the efficiency of degassing can be achieved by involving the above-worked stratum in degassing. Degassing is proposed to be carried out through ascending wells drilled from special workings passed through the rocks of the overworked stratum and forming the degassing horizon. The parameters of degasification wells have been determined, and the possibility of a significant increase in longwall's productivity according to gas factor for longwalls in the «Chetvertui» coal seam has been substantiated.

Key words: coal, coal seam series, mine, gas emission control, longwall panel, ventilation, degasification, degasification horizon, efficiency.