

13. **Бызова Н.Л.** Экспериментальное исследования атмосферной диффузии и расчёты рассеивания примеси / **Н.Л. Бызова, Е.К. Гаргер, В.И. Иванов.** – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 280 с.
14. **Агроскин И.И.** Гидравлика – М.: «Энергия», 1964. – 352с.
15. **Левин И.И.** Динамика русловых потоков, 2 изд., – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 224 с.

Рукопис подано до редакції 27.03.17

УДК 622.063.8

А.Л. ШИРИН, В.А. РАСЦВЕТАЕВ, кандидаты техн. наук, доц.,  
И.В. ИНЮТКИН, ассистент, ГВУЗ «Национальный горный университет»

## ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Цель.** Создание системы оперативно-производственного контроля технического состояния горнотранспортного оборудования шахт и карьеров для повышения его адаптационной способности в сложных условиях эксплуатации.

**Методы исследования.** Анализ и оценка показателей надежности основных агрегатов и узлов погрузочно-доставочных машин по частоте выхода их из строя и потребности запасных частей для ликвидации неисправностей. Формирование банка данных об условиях эксплуатации и показателей исправного состояния и нормального функционирования узлов и агрегатов.

**Научная новизна.** Координация предупредительных замен деталей и предотвращение крупных поломок в узлах и агрегатах достигается путем оперативного диагностирования и, имея достаточное количество статистических данных об отказах узлов и агрегатов погрузочно-доставочной машины, определяет зависимость потребности запасных частей по категории сложности их устранения с планируемым удлинением межремонтных периодов. Показателями, оценивающими надежность погрузочно-доставочной машины нового поколения, следует считать коэффициенты технического использования и снижения эффективности машины.

**Практическое значение.** Адаптация самоходного оборудования высокого технического уровня в специфических условиях шахты Новоконстантиновского месторождения и нерудных карьеров Украины, при соблюдении графиков технического обслуживания, позволит обеспечить оперативно-производственное определение технического состояния погрузочно-доставочных машин нового поколения и прогнозировать оптимальное функционирование технологических процессов добычи полезных ископаемых в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

**Результаты.** Установлено, что показатели надежности узлов и агрегатов погрузочно-доставочных машин нового поколения, определяются условиями их взаимодействия с характеристиками дорожного покрытия и элементами горных выработок. В этой связи исследования, направленные на установление рациональных параметров взаимодействующих элементов системы являются первоочередной задачей.

**Ключевые слова:** коэффициенты технического использования и снижения эффективности машины, транспортно-технологическая схема, техническое обслуживание, адаптация самоходного оборудования.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Современным курсом успешно развивающихся горнорудных предприятий, ведущих добычу полезных ископаемых подземным и открытым способами, является создание транспортно-технологических схем на базе применения оборудования, производства известных зарубежных фирм (Atlas Copco, Sandik, Volvo, JCB, Hitachi, Hyundai, Caterpillar). Типичными образцами такого оборудования, используемыми в горнодобывающих отраслях Украины, являются малогабаритные погрузочно-доставочные машины (ПДМ) для вывоза руды из очистных забоев и транспортирования ее по участковым выработкам, колесные погрузчики, мобильные дробильно-сортировочные комплексы, а также автомобили повышенной грузоподъемности.

Сравнительная оценка эксплуатационных параметров зарубежного самоходного оборудования, применяемого на отечественных предприятиях, с показателями работы аналогичных образцов за рубежом позволила выявить ряд проблем, характерных для предприятий использующих высокотехнологическое оборудование нового поколения. В процессе изучения причин нестабильной работы техники нового поколения (ТНП), факторы, определяющие те или иные проблемы, были систематизированы на технические, технологические и организационные.

К основным организационным факторам, влияющим на показатели работы горнотранспортного оборудования зарубежного производства, относятся ошибки по вине руководящего персонала. Например, отсутствие в учебных центрах предприятий и в системе профтехобразования программ специальной подготовки горнорабочих для изучения современных методов

диагностирования и обслуживания техники нового поколения, оснащенной автоматизированными системами управления технологическими процессами.

Технологические факторы, определяются особенностями эксплуатации транспортно-технологических схем в постоянно изменяющихся горно-геологических условиях конкретного предприятия и устанавливаются по результатам количественной оценки адаптационной способности применяемого оборудования в типичных, нетипичных и экстремальных ситуациях горного производства [1].

Технические факторы проявляются в результате несоблюдения или нарушения современных принципов диагностирования и оперативного анализа технического состояния горнотранспортного оборудования высокого технического уровня в процессе интенсивной его эксплуатации. Пример - технические ошибки обслуживающего персонала, обусловленные неправильной эксплуатацией горнотранспортного оборудования, т.е. при нагрузках больше допустимых.

Необходимо отметить, что отмеченные факторы в меньшей степени проявляются на рудных карьерах большой производственной мощности, где более 40 % транспортных процессов и операций выполняется с применением автомобилей повышенной грузоподъемности, техническое обслуживание и ремонт которых выполняют автотранспортные предприятия. Организация технического обслуживания в условиях автопредприятий базируется на применении системы планово-предупредительных ремонтов, в основу которой положен принцип принудительной замены узлов и деталей горнотранспортного оборудования в соответствии с установленным графиком. График и сроки замены планируются по результатам статистического анализа аварийных отказов с использованием методов и средств диагностирования. Однако даже на этих предприятиях в учебных центрах не формируются специальные группы для обучения приемам диагностирования техники нового поколения (ТНП).

**Анализ исследований и публикаций.** Проблемы повышения эффективности использования техники нового поколения в особой степени проявляются на предприятиях малой производственной мощности в структуре которых отсутствуют специализированные участки, оснащенные современными комплектами оборудования для выполнения диагностики того или иного вида транспорта. По этой причине при разработке месторождений нерудных полезных ископаемых затраты на транспортирование нерудного сырья составляют до 60% затрат на его добычу. Постоянное понижение глубины разработки приводит к увеличению протяженности трасс, изменению их профиля и высоты подъема горной массы. В результате несоблюдения условий эксплуатации технологического и транспортного оборудования значительную долю затрат на транспортирование добываемого сырья составляют затраты на техническое обслуживание и ремонт используемой техники. Например, в соответствии с действующими положениями о техническом обслуживании и ремонте карьерной техники, трудозатраты на выполнение плановых ремонтов в карьере колесных погрузчиков составляют около 40-50% всего объема технического обслуживания и ремонта [2].

Аналогичная ситуация наблюдается в условиях Новоконстантиновского рудника, где в участковых подземных выработках для вывоза руды из очистных блоков применяют колесные погрузочно-доставочные машины Atlas Copco «ST3.5». Отсутствие единой стратегии обслуживания зарубежной техники и технологии ее диагностирования с применением автоматизированных машинотестеров не позволяют реализовать потенциальные возможности погрузочно-доставочных машин нового поколения и способность их длительно работать без снижения эксплуатационных параметров в сложных условиях горного производства. Последнее обусловлено тем, что с появлением на предприятиях горнодобывающей отрасли техники нового поколения значительно увеличилась интенсификация производства. Поэтому, даже незначительные ее простои приводят к внушительным потерям добычи полезного ископаемого. В этой связи оперативный анализ технического состояния горнотранспортного оборудования, информация о режимах его работы в типичных и нетипичных производственных ситуациях, а также закономерности изменения частоты отказов за период эксплуатации оборудования и степень их тяжести приобретают особое значение.

**Постановка задачи.** Создание системы оперативно-производственного контроля технического состояния горнотранспортного оборудования шахт и карьеров для повышения его адаптационной способности в сложных условиях эксплуатации.

Идея работы заключается в использовании принципов автоматизированного сбора и обработки информации о техническом состоянии колесных погрузчиков для обеспечения оптимального функционирования технологических процессов добычи полезных ископаемых в условиях неопределенности.

**Изложение материала и результаты исследований.** Для достижения поставленной цели была выполнена оценка опыта эксплуатации горнотранспортного оборудования высокого технического уровня на предприятиях Восточного горно-обогатительного комбината, разрабатывающих урановое месторождение подземным способом, а также на нерудных карьерах Польши и Украины, добывающих сырье для производства строительных материалов с использованием колесных автопогрузчиков.

В качестве объектов исследования были выбраны транспортно-технологические схемы добычи полезных ископаемых (рис. 1) с использованием идентичных по функциональному назначению дизельных погрузочно-доставочных машин а и колесных автопогрузчиков б.



**Рис. 1.** Транспортно-технологические схемы добычи полезных ископаемых с использованием погрузочно-доставочных машин: а – погрузочно-доставочных машин в шахте; б – колесных автопогрузчиков в карьере

Предварительными исследованиями установлено, что нетипичные состояния горнотранспортного оборудования могут носить либо систематический, либо эпизодический характер [1]. Нетипичными состояниями транспортно-технологических схем, использующих оборудование повышенной адаптационной способности, принято считать совокупность показателей транспортного оборудования, характеризующих отказы системы и ее простои по причинам, зависящим и независящим от условий работы технологического оборудования.

В зарубежной практике добычи полезных ископаемых открытым способом, где автомобильный транспорт является одним из основных звеньев технологии, проверка технического состояния большегрузных автомобилей высокого технического уровня осуществляется с помощью бортовых систем диагностики, построенных на микропроцессорах. В процессе работы автомобиля такие системы позволяют обнаруживать неисправности, накапливать, регистрировать и передавать данные о причинах их возникновения.

На нерудных карьерах малой производственной мощности, ведущих добычу и переработку нерудного сырья для производства строительных материалов, по экономическим соображениям карьерная техника высокого технического уровня применяется реже. В подобных условиях эксплуатации горнотранспортное оборудование эксплуатируется до отказа, а его ремонт преимущественно проводится в условиях карьера.

С целью улучшения организации и качества работ по техническому обслуживанию и ремонту погрузочно-доставочных машин нового поколения была разработана программа и методика контроля технического состояния используемого самоходного горнотранспортного оборудования и проведения минимального объема ремонтов, обеспечивающих безаварийную работу в сложных условиях эксплуатации.

Сущность программы заключается в анализе и оценке показателей надежности основных агрегатов и узлов погрузочно-доставочных машин по частоте выхода их из строя и потребности запасных частей для ликвидации неисправностей. В соответствии с методикой исследований в процессе анализа показателей работы самоходного оборудования создавался банк данных об условиях его эксплуатации, описывались показатели исправного состояния и нормального функционирования его узлов и агрегатов, изучалась история возникновения и развития отказов. Программой исследований предусмотрено также, что накопленный банк данных предоставит возможность в дальнейшем определять на каком уровне эксплуатации погрузочно-доставочных машин целесообразно предупредить появление отказа в той или иной системе применяемого

оборудования. На рис. 2 приведена диаграмма распределения потребностей запасных частей для выполнения ремонтных работ погрузочно-доставочной машины ST3.5



**Рис. 2.** Диаграмма распределения потребностей запасных частей для выполнения ремонтных работ погрузочно-доставочной машины ST3.5

По результатам анализа данных, выполненных совместно со службой снабжения ГП «ВостГОКа» установлено, что более 50% потребностей в количестве запасных частей для проведения планового ремонта погрузочно-доставочной машины ST 3.5 приходится на гидравлическую систему. Это связано не только со сложностью самой системы и ее обслуживанием, но и с критическими условиями эксплуатации. На втором месте по потребностям

запчастей находится механическая передача, в которую были внесены запасные части с КПП, карданной передачи и мостов, а также ходовая часть машины, которая включает механизм передвижения и ведущие пневматические колеса с отдельными приводами.

Факторами, определяющими техническое состояние эксплуатируемого горнотранспортного оборудования, являются тип и характеристики системы неисправностей узла, наиболее часто встречающиеся при эксплуатации в типичных и нетипичных условиях, трудоемкость устранения отказа, доля трудоемкости устранения отказа узла в общем объеме текущего ремонта. По установленным таким образом типам и характеристикам неисправностей определяется выбор наиболее рациональных метода и средств технической диагностики колесных видов карьерного и шахтного автотранспорта. Используя зарубежный опыт диагностирования средств карьерного транспорта [3], разработана структура оценки технического состояния гидравлической и механической систем, а также кузовных частей погрузочно-доставочной машины Atlas Copco «ST3.5», которая приведена в табл. 1.

Таблица 1

Структура оценки технического состояния погрузочно-доставочной машины типа «ST3.5»

Оборудование	Системы, агрегаты, узлы	Виды и категории отказов	Основные причины	
Кузовные части	Рама	Передняя, задняя рамы	Нарушена параллельность осей, схождение колес	
		Шарнирный узел	Заклинивание пальца	
		Стрела	Износ пальцев, втулок	
	Колеса	Кабина	Стекла	Трещина или разбилась
		Диск	Лопнул или погнулся диск	Наезд на препятствие
			Шины	Износ или порез шины
Гидросистема	Система питания гидравлическим маслом	Гидравлический радиатор	Протечки гидравлической жидкости	
		Распределители	Заклинивание золотников, трещина корпуса	
		Главный гидравлический насос	Заклинивание, износ плунжеров, качающейся пластины	
		Рукава высокого давления	Протечки, перетерся или порвался рукав	
	Рулевое управление	Гидроусилитель руля	Заклинивание золотников, протекание	
		Гидроцилиндр поворота	Обрыв, задиры штока, не держит давления	
Механическая передача	КПП	Гидротрансформатор	Повышенные шумы, нагревание	
		Карданная передача	Вибрирование или постукивание, выход из строя крестовин	
	Мосты	Дифференциалы мостов	Повышенные шумы, нагревание	
		Полуось	Прокручивание в редукторе	
		Планетарный редуктор	Повышенные шумы, нагревание	

Для повышения эффективности предлагаемой методики диагностирования и технического обслуживания самоходного оборудования погрузочно-доставочная машина рассматривается как система, условно разделенная на взаимодействующие подсистемы (узлы, агрегаты). Характерные отказы узлов и агрегатов ПДМ были классифицированы по категориям сложности их устранения на легкие, средние и тяжелые. В качестве критерия оценки сложности были приняты время устранения отказов и количество рабочих, привлекаемых для их восстановления. Устранение факторов, характеризующих отказы узлов, простои или отклонения в режимах работы погрузочно-доставочной машины при эксплуатации ее в реальных условиях, осуществлялось визуальными средствами диагностирования.

По результатам экспертной оценки режимов работы погрузочно-доставочной машины в реальных условиях эксплуатации к категории тяжелых отказов были отнесены длительные (более 1 часа) остановки транспортно-технологической системы рудника, требующие привлечения дополнительных ресурсов и высококвалифицированных специалистов или более двух рабочих для их ликвидации.

Следует отметить, что приведенные в табл. 1 виды и категории отказов, а также тяжесть их устранения отражают результаты трехмесячных исследований режимов работы погрузочно-доставочной машины Atlas Copco «ST3.5» в реальных условиях эксплуатации. Естественно, что такого объема информации недостаточно для разработки технологических указаний и требований к состоянию проверяемого агрегата, узла или элемента. Поэтому, для составления банка исходных данных, достаточных для оперативного принятия решений по диагностике технического состояния погрузочно-доставочных машин, совместно с компанией «РиноПарт» была разработана программа оперативного прогнозирования технического состояния шахтного и карьерного самоходного оборудования. Алгоритм программы позволяет получать у заказчика запасных частей дополнительные признаки неисправностей, то есть информацию о причинах выхода из строя узлов и деталей, историю развития отказов и тяжесть их устранения, а также прогнозировать дальнейшее поведение машины на уровне агрегата, узла или элемента.

Используя банк данных, приведенных в табл.1, а также принципы инженерной логики, применяемые в системе сервисного обслуживания и отраслевые методики выбора диагностических параметров для непрерывных объектов, представляемых логическими моделями, возможно в процентном отношении определить степень отказа  $k_o$  погрузочно-доставочной машины, который равен

$$k_o = \frac{\sum n_i}{N} 100\%, \quad (1)$$

где  $n_i$  – число отказов данного вида оборудования;  $N$  - число отказов всех видов оборудования.

Процент отказов позволил выявить наиболее ненадежные агрегаты и системы обслуживаемого оборудования. К ним относятся кузовные части ( $k_o=4,42$ ), системы двигателя ( $k_o=5,18$ ); механическая передача ( $k_o=5,84$ ); гидравлическая система ( $k_o=7,56$ ).

Для погрузочно-доставочной машины трудоемкость устранения отказов гидравлического оборудования и механической системы составляет около 30%, а кузовных частей и металлоконструкций более 12%. Результаты обработки статистических данных позволили сформировать для каждого агрегата и узла ПДМ алгоритмы поиска характерных неисправностей.

Показателями, оценивающими надежность погрузочно-доставочной машины нового поколения, следует считать коэффициенты технического использования  $k_u$  и снижения эффективности машины  $k_s$ .

Соответственно с комплексной программой исследований параметров ПДМ и колесных погрузчиков, указанные коэффициенты определяются по результатам типовых испытаний их в реальных условиях шахты или карьера и используются для установления эксплуатационной производительности машин нового поколения:

$$k_u = \frac{t_o + t_b}{t_{по}}, \quad k_s = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{пз} + t_k)}{T}, \quad (2)$$

где  $t_o$  - основное технологическое время, в течение которого осуществляется погрузка, мин;  $t_b$  - вспомогательное технологическое время, необходимое для осуществления безостановочной

работы машины, мин;  $t_{по}$  - продолжительность цикла или смены, мин.  $t_{пз}$  - подготовительно-заключительное время, мин;  $t_k$  - время простоев по причинам, зависящим от конструкции и качества машины (ремонт, регулировка, наладка), мин;  $T$  - время наблюдений, мин.

$$T = \sum_{i=1}^n (t_{пз} + t_o + t_b + t_k), \quad (3)$$

где  $n$  – число хронометрируемых смен.

Среднее время восстановления работоспособности машины, мин.

$$T_b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (t_k)_i, \quad (4)$$

где  $m$  - количество неисправностей за время испытаний;  $(t_k)_i$  – время устранения  $i$ -ой неисправности, мин.

Имея достаточное количество статистических данных об отказах узлов и агрегатов погрузочно-доставочной машины с помощью стандартных программ можно теоретически определить закон распределения того или иного отказа и прогнозировать время восстановления ПДМ. Координация числа предупредительных замен деталей и предотвращение крупных поломок в узлах и агрегатах путем оперативного диагностирования снижает затраты на приобретение запасных частей и материалов. Экспериментально установлено, что практически все показатели надежности узлов и агрегатов погрузочно-доставочных машин нового поколения, отмеченные на диаграмме (рис. 2), определяются условиями их взаимодействия с характеристиками дорожного покрытия и элементами горных выработок. В этой связи исследования, направленные на установление рациональных параметров взаимодействующих элементов системы являются первоочередной задачей.

Следует отметить, что на зарубежных рудниках и карьерах большой производственной мощности для поддержания исправного состояния самоходного оборудования высокого технического уровня созданы и широко применяют автоматизированные системы управления технологическими процессами, а также бортовые системы диагностирования, технического обслуживания и ремонта. Адаптация подобных систем в специфических условиях шахты Новокопанинского месторождения и нерудных карьеров Украины, при соблюдении графиков технического обслуживания, позволит обеспечить оперативно-производственное определение технического состояния погрузочно-доставочных машин нового поколения и прогнозировать оптимальное функционирование технологических процессов добычи полезных ископаемых в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

#### Список литературы

1. **Ширін Л.Н., Інюткін І.В.** «Особенности формирования транспортно-технологических систем подземных рудников с учетом адаптационных возможностей самоходного оборудования// Науковий вісник. – 2009. – №9. – С. 66–68.
2. **Ширин А.Л.** Транспортные проблемы производительной работы подготовительных забоев и перспективы их решения / А.Л. Ширин, Л.Н. Посулько, В.А. Расцветаев // Materiały Krakowskiej konferencji młodych uczonych. – Kraków: PATRIA, 2011. – P. 505 – 512.
3. **Artem Shyrin.** Informatywne wskaźniki niezawodności pracy schematów technologicznych transportu wspomagającego podczas drążenia wyrobisk przygotowawczych// Conference proceedings Krakow conference of young scientists, September 26–28, 2013, Grupa Naukowa Pro Futuro, Krakow: PATRIA. P. 83–87.
4. **А.В. Денищенко, О.О. Юрченко** «Совершенствование транспортных комплексов гранитных карьеров» [Электронный ресурс]: irNMUU Institutional Repository National Mining University of Ukraine // Персональні колекції підрозділів та співробітників. – 2013. – Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/1580>.
5. Положение о техническом обслуживании и ремонте карьерных автомобилей БелАЗ грузоподъемностью 75 т и более. – ИГД им. А.А.Скочинского, 1985.
6. **К.Р.Монсини** Фирма «Катерпиллар» – концепция технического обслуживания горных машин// Горный журнал, – 1998. – № 11-12, С. 66-69.
7. **J. Farrell, T. Givargis,** Differential GPS reference station algorithm - Design and analysis. Ieee Transactions on Control Systems Technology, 2000. 8(3): p. 519-531.
8. **К.Ч.Кожоголов, Н.А. Калдыбаев** «Проблемы освоения малых месторождений нерудных строительных материалов КЫРГЫЗСТАНА» // Современные проблемы механики сплошных сред – 2010 г. – Вып.№12, стр.27-32.
9. **А.В. Денищенко** «Повышение эффективности шахтного вспомогательного транспорта» // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №10. – С. 21 – 26.
10. **К.Р.Монсини** Фирма «Катерпиллар» – концепция технического обслуживания горных машин// Горный журнал, – 1998. – № 11-12, С. 66-69.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.17