НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

3
2008

Учредитель издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:
КОЗОВОЙ Г.И.
(председатель)
АНТОНОВ Б.И.
ГАЛКИН В.А.
КОЗЯРУК А.Е.
КОСАРЕВ Н.П.
МЕРЗЛЯКОВ В.Г.
НЕСТЕРОВ В.И.
ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:
АНДРЕЕВА Л.И.
ГАЛКИН В.И.
ГЛЕБОВ А.В.
ЕГОРОВ А.Н.
ЕДЫГЕНОВ Е.К.
ЖАБИН А.Б.
ЗЫРЯНОВ И.В.
ИВАНОВ С.Л.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КРАСНИКОВ Ю.Д.
КУЛАГИН В.П.
МАХОВИКОВ Б.С.
МИКИТЧЕНКО А.Я.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗНЕР Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я. (*ответственный за выпуск*)
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:
ДАНИЛИНА И.С.
КАРТАВАЯ Н.В.

Телефоны редакции:
(495) 269-53-97, 269-55-10
Факс (495) 269-55-10
E-mail: gma@novtex.ru
http://novtex.ru/gormash

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ И ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСА КАЧЕСТВА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Страбыкин Н.Н., Савченко А.Я. Комплексная оценка качества высокопроизводительного горно-добывающего оборудования на этапе эксплуатации . . . 2
Демин А.А., Кузнецов И.П., Савченко А.Я. Комплексная оценка качества забойной технологичности драглайнов большой единичной мощности . . . 9
Мышляев Б.К., Титов И.В. О качестве очистного оборудования . . . 15
Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Моделирование процесса сборки соединений машин на ЭВМ . . . 17
Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Обеспечение качества соединений "твердосплавная вставка–отверстие" шарошечных буровых долот . . . 20
Шахова К.И. Оценка качества сталей горного оборудования по составу и механическим свойствам . . . 23

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Голощапов П.Ю., Данилов А.П. Существующая система организации ремонтов и направления ее совершенствования . . . 27
Леоненко А.С., Махно Д.Е., Леоненко С.С. Улучшение эксплуатационных показателей горной техники на основе повышения управляемости процессов использования и ремонта . . . 31
Красноштанов С.Ю., Макаров А.П. Хрупкое разрушение и восстановление крупногабаритных деталей горного оборудования карьеров . . . 36
Лужков Ю.А., Тимофеева С.С. Влияние технологических процессов и горно-транспортного оборудования добычи угля на экологическую нагрузку Черемховского района . . . 38
Косолапов А.И., Совмен В.К. Исследование временной динамики производительности буровых станков и экскаваторов в условиях карьера "Восточный" . . . 41
Миронов В.И., Якушев А.В., Лукашук О.А., Боярских Г.А. Усталостный расчет элементов конструкции горных машин с учетом деградации свойств конструкционных материалов при циклическом нагружении . . . 46
Бойко П.Ф. Восстановление работоспособности зубчатых колес шаровых мельниц . . . 51
Бойко П.Ф., Мнацаканян В.У. Применение антифрикционных покрытий для восстановления работоспособности эксцентриковых стаканов дробилок . . . 53

ИНФОРМАЦИЯ

Фэдерб Ф., Санчес Р., Табарин А.Д. ESCO в России . . . 54

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

© Издательство "Новые технологии", "Горное оборудование и электромеханика", 2008

УДК 621.879.002.5.658.589

Н.Н. Страбыкин, д-р техн. наук, проф., ИРГТУ, **А.Я. Савченко,** канд. техн. наук

Комплексная оценка качества высокопроизводительного горно-добывающего оборудования на этапе эксплуатации

Объясняется несовершенство используемой методологии оценки качества высокопроизводительного горного оборудования по показателям назначения и предлагается нетрадиционная, реализующая принципы системно-комплексного подхода.

Практика угольного производства показывает, что существенные резервы повышения конкурентоспособности угольного топлива имеются в снижении расходов на эксплуатацию горно-добывающего оборудования, ибо в общих затратах на производство угольного топлива наибольшая доля приходится на расходы по добыче угля, а в себестоимости добычи по оценкам экономистов 45...65 % расходов – на обеспечение производительной работы горно-добывающей техники.

Одновременно в современных условиях развитие горного машиностроения страны в значительной степени определяется необходимостью повышения конкурентоспособности выпускаемых горных машин для подземных и открытых горных работ. Решение этой задачи прежде всего зависит от ускоренного осуществления мер по улучшению их качества.

Ориентация отдельных угольных разрезов, имеющих необходимые финансовые ресурсы на приобретение импортного оборудования, условно (экспертно) признанного более производительным и надежным в сравнении с российским, по нашему мнению, не всегда оправдана. При этом не анализируется и количественно не оценивается экономическая эффективность использования зарубежной техники за полный период ее эксплуатации. Практика использования зарубежной экскавационной техники на угольных разрезах Кузбасса и Якутии в 1984–1996 гг. подтверждает, что при сравнительной оценке удельных (на 1 м^3 переработанной горной массы) расходов на обеспечение производительной работы экскаваторов за полный период эксплуатации преимущества оказываются на стороне российской техники. Поэтому неслучайно на текущий момент малые и средние угольные разрезы России достигают приемлемых технико-экономических результатов хозяйственной деятельности за счет эксплуатации относительно изношенного (нередко с превышением нормативных сроков амортизации) российского горно-добывающего оборудования (экскаваторов и буровых станков). При этом рынок бывшей в употреблении российской техники в стране успешно существует.

Нам представляется, что одной из важных причин возникновения описанной ситуации является несовершенство используемой методологии оценки качества горно-добывающего оборудования разрезов.

Получившая наибольшее распространение и устойчиво действующая в России практика приобретения горно-добывающего оборудования, ориентированная приоритетно на показатели назначения (технико-технологические характеристики) без последующего анализа расходования трудовых, материальных и финансовых ресурсов на поддержание его производительной работы в процессе эксплуатации, по нашему мнению, не может обеспечить требуемой полноты оценки качества горно-добывающей техники, для которой характерны длительные сроки эксплуатации, а также устойчиво достигать высокой экономической эффективности от ее применения.

Одновременно важным и принципиальным моментом, по нашему мнению, является осуществление нетрадиционного подхода к анализу производственного процесса эксплуатации горно-добывающего оборудования, сущность которого в том, чтобы рассматривать его не только как процесс расходования установленного технического ресурса, но и как процесс расходования ресурса качества, заложенного при разработке, постановке на производство, изготовлении, монтаже, заводских и приемочных испытаниях этого оборудования, ибо технический ресурс является только одним из многих показателей качества.

Устойчивой тенденцией развития горного производства является стремление обеспечить применение высокопроизводительного горного оборудования. Производственные риски, связанные с ошибками в оценке его реальных потребительских свойств, технического совершенства и соответствия реальным горно-геологическим технологическим условиям экс-

плуатации, имеют особое значение, ибо при относительно высокой начальной стоимости неизбежны еще и дополнительные также значительные непроизводительные расходы материальных, трудовых и финансовых ресурсов на поддержание производительной работы.

Поэтому предварительная комплексная достоверная оценка на стадии приобретения уровня потребительских свойств (т.е. уровня качества) имеет особо важное значение и является необходимым условием снижения производственных рисков и экономии эксплуатационных затрат.

Сложности комплексной оценки качества высокопроизводительного оборудования определяются его отличительными особенностями:

• как правило, индивидуальный либо мелкосерийный характер производства, существенно затрудняющий выбор базовых образцов для сравнения;

• редкое совпадение горно-геологических и технологических условий использования делает практически невозможным либо малопригодным для оценки качества статистической информации о результатах использования предыдущих образцов;

• длительные сроки эксплуатации в динамично изменяющихся горно-геологических, технологических и производственных условиях использования не представляют возможность в начальный период эксплуатации реально подтвердить предварительные результаты комплексной оценки уровня качества, выполненные на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, заводских и приемочных испытаний;

• конструктивная сложность, большая масса, крупногабаритность определяют повышенные требования к организации и проведению технического обслуживания и ремонтов, в том числе к квалификации обслуживающего и ремонтного персонала;

• относительно высокий уровень установленных мощностей, электрических напряжений электрооборудования, давлений рабочих жидкостей гидрооборудования определяют не только повышенные требования к квалификации персонала, соблюдению им норм и правил технической эксплуатации, но и необходимость достоверной оценки потребительских свойств, гарантирующих условия для безопасного труда;

• относительно высокая эксплуатационная ресурсоемкость, а также значительный уровень затрат для достижения полезного эффекта (высокопроизводительной работы), к тому же имеющих тенденцию к росту по мере изнашивания оборудования, делают обязательным при комплексной оценке уровня качества использование экономических показателей;

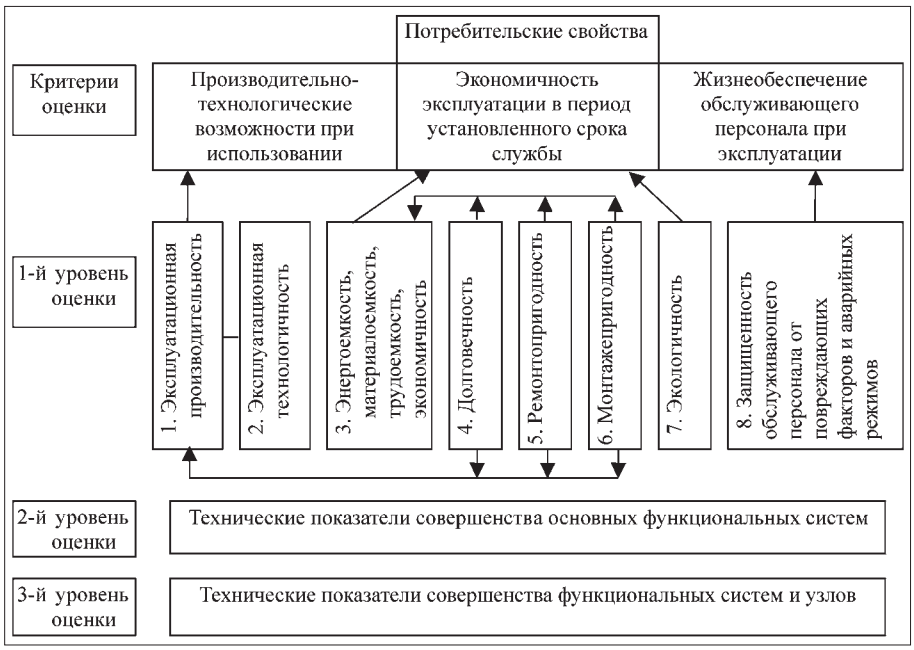


Рис. 1. Классификация основных потребительских свойств высокопроизводительного горного оборудования, рекомендуемая для системно-комплексной оценки качества

• традиционно используемый заводами-изготовителями последовательный путь технического совершенствования (к последующему лучшему образцу с учетом результатов эксплуатации предыдущего), индивидуальный характер производства ограничивают возможности выбора базового аналога для сравнения.

Изложенные особенности высокопроизводительного горного оборудования обуславливают при системно-комплексном подходе ориентацию на разработку методологии комплексной оценки с учетом классификации его потребительских свойств на группы, характеризующие:

• производственно-технологические возможности, обеспечивающие достижение полезного эффекта при производстве горных работ;

• ресурсоемкость и затратность достижения требуемого уровня полезного эффекта (экономичности) при эксплуатации;

• степень жизнеобеспечения и защиты обслуживающего и ремонтного персонала от возможных повреждающих факторов.

Конкретная совокупность потребительских свойств высокопроизводительного горного оборудования, рекомендуемая для использования при комплексной оценке его качества как меры возможной реализации этих свойств при использовании, представлена на рис. 1.

На представленной схеме с использованием системно-комплексного подхода при формировании и оценке потребительских свойств использованы важные методологические принципы:

• потребительские свойства объединяют совокупность свойств, обеспечивающих возможности производительной работы по назначению, экономичность, жизнесохранение обслуживающего персонала;

• окончательная оценка потребительских свойств однозначно ориентирована на результаты использования в конкретных условиях эксплуатации (как "момент истины") с тем, чтобы исключать ситуации неопределенности при конфликтных ситуациях между потребителем и изготовителем горного оборудования;

• используется 3-уровневый принцип оценки потребительских свойств, позволяющий на предварительных этапах (проектировании, изготовлении, при вводе в эксплуатацию) исследовать "узкие места" в конструкции горной машины;

• возможность осуществить обоснование близкой к оптимальной совокупности основных потребительских свойств и показателей их оценки, определяющих качество горной машины, а также установить зависимость между ними;

• возможность осуществить на уровне машин в целом переход от используемой в настоящее время методологии оценки качества по ограниченной совокупности единичных технико-технологических показателей назначения на этапах разработки и изготовления к методологии комплексной оценки по обобщенным технико-экономическим показателям на этапе эксплуатации.

Основные показатели качества высокопроизводительного горного оборудования

Потребительские свойства горного оборудования являются результатом реализации в процессе проведения горных работ его качества, заложенного в процессе разработки, постановки на производство и изготовлении на заводе-изготовителе. Поэтому на этапе поставки потребительские свойства, оцениваемые по характеристикам, обозначенным заводом-изготовителем в технической, эксплуатационной, ремонтной и монтажной документациях, следует считать предполагаемыми. Окончательные оценки необходимо принимать после осуществления определенного этапа эксплуатации и доказательного подтверждения потребительских свойств с учетом затрат на обеспечение этих характеристик. Продолжительность этого этапа эксплуатации может быть установлена на основе предварительного обоснования и совместной договоренности потребителя и поставщика.

Итак, оценка основных потребительских свойств горного оборудования методологически может осуществляться по показателям, подтвержденным на доказательном этапе эксплуатации. На текущий момент можно констатировать, что научными и проектно-конструкторскими организациями в области горной техники, шахтами, разрезами и рудниками создано множество инженерных методик расчета единичных показателей, характеризующих качество высокопроизводительного горного оборудования в части функционирования (назначения). Однако, по нашему мнению, заметно отставание в разработке научно-обоснованной методологии оценки основных потребительских свойств высокопроизводительных горных машин по обобщенным показателям качества, характеризующим одновременно экономичность машин.

Недостаточно анализируется опыт (прежде всего технико-экономические результаты) эксплуатации предшествующего покупному образцу высокопроизводительного горного оборудования на других шахтах, разрезах и рудниках России. Ориентируясь на общепромышленный опыт и рекомендуемые многочисленные общие методологические подходы при оценке качества различных видов общепромышленного оборудования, можно предложить для практического использования при комплексной оценке качества высокопроизводительного горного оборудования совокупность обобщенных и групповых показателей, характеризующих основные потребительские свойства (см. рис. 1), иерархическая структура которой представлена на рис. 2. При этом групповые показатели методологически (по квалиметрической классификации) являются единичными по отношению к обобщенным: $П_э(Т_э, Д, Р, МП)$; $ЭК_э$ $(Э_э, М_э, ТР_э, ЭКО_э)$; $Б(П_{тупр}, П_{туз})$, а обобщенные – единичными по отношению к комплексному $КПК_{го}(П_э, ЭК_э, Б)$. Оценки показателей по статической эксплуатационной информации представлены в табл. 1.

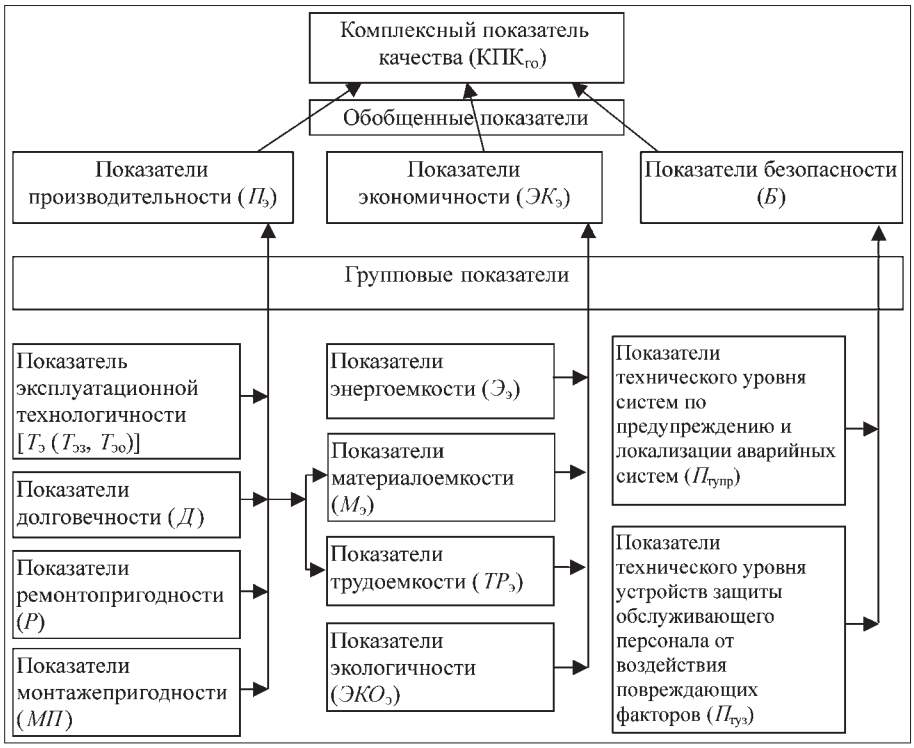


Рис. 2. Иерархическая структура показателей, используемых для комплексной оценки качества высокопроизводительного горного оборудования

Таблица 1

Основные свойства и оценки обобщенных и групповых показателей, рекомендуемые для комплексной оценки качества высокопроизводительного горного оборудования

Свойства и показатели	Оценка показателей
Эксплуатационная производительность ($П_э$)	Динамика объемов (вынимаемой, экскавируемой, транспортируемой, перерабатываемой) горной массы в конкретных горно-геологических, климатических и технологических условиях по рассматриваемым периодам эксплуатации: месяц, год, до первого капитального ремонта ($м^3$, т)
Эксплуатационная технологичность ($Т_э$):	
забойная ($Т_{эз}$)	Объем (вынимаемой, экскавируемой, транспортируемой, перерабатываемой) горной массы в конкретных технологических схемах использования за 1 ч производительной работы ($м^3$/ч, т/ч)
обслуживания ($Т_{эо}$)	Затраты времени на проведение работ по техническому обслуживанию в объеме, установленном эксплуатационной документацией завода-изготовителя (ч/$м^3$, ч/т)
Энергоемкость ($Э_э$)	Удельный (на единичный объем горной массы) расход электроэнергии по эксплуатационным периодам оценки производительности (кВт·ч/$м^3$, кВт·ч/т)
Материалоемкость ($М_э$)	Удельный (на единичный объем горной массы) расход материалов и запчастей, затрачиваемых на проведение обслуживания и ремонтов, по эксплуатационным периодам оценки производительности (руб./$м^3$, руб./т)
Трудоемкость ($ТР_э$)	Удельные (на единичный объем горной массы) затраты труда на управление, обслуживание и ремонты по эксплуатационным периодам оценки производительности (чел.·ч/$м^3$, чел.·ч/т)
Экономичность ($ЭК_э$)	Себестоимость (вынимаемой, экскавируемой, транспортируемой, перерабатываемой) горной массы в конкретных горно-геологических, климатических и технологических условиях по периодам оценки производительности (руб./$м^3$, руб./т)
Долговечность ($Д$)	Наработка по объему (вынимаемой, экскавируемой, транспортируемой, перерабатываемой горной массы за время производительной работы до первого капитального ремонта) ($м^3$, т)
Ремонтопригодность ($Р$)	Суммарная продолжительность критических путей сетевых графиков и суммарная трудоемкость проведения работ по ремонту за период первого ремонтного цикла (текущие, средние, первые капитальные ремонты) (ч, чел.·ч)
Монтажепригодность ($МП$)	Продолжительность критического пути сетевого графика и суммарная трудоемкость проведения работ по монтажу оборудования в условиях эксплуатации по технологиям, установленным заводской монтажной документацией
Экологичность ($ЭКО_э$)	Удельные (на единицу горной массы) затраты по устранению последствий экологически вредного воздействия на окружающую природную среду, в том числе на утилизацию собственных экологически вредных отходов по периодам оценки производительности (руб./$м^3$, руб./т)
Безопасность ($Б$)	Показатели технического уровня систем по предупреждению и локализации аварийных ситуаций ($П_{упр}$). Показатели технического уровня устройств защиты обслуживающего персонала от воздействия электротока, шума, вибрации, механических факторов и других повреждающих воздействий ($П_{туз}$)
Примечание. Буквами в скобках в разделе "Свойства" обозначены обобщенные и групповые показатели, характеризующие эти свойства.	

Возможность достоверной оценки обозначенных в табл. 1 свойств обеспечивается тем, что большинство показателей, характеризующих производительность, экономичность, эксплуатационную технологичность, энергоемкость, материалоемкость, монтажепригодность, ранее регулярно регистрировались в производственных отчетах о хозяйственной деятельности, а ныне могут регистрироваться и анализироваться на базе активно внедряемых информационно-аналитических систем управления производством на основе локальных компьютерных сетей.

Принципиальные отличия предложенного заключаются в следующем:

- в переходе на уровне высокопроизводительного горного оборудования от используемой методологии оценки качества по ограниченной совокупности единичных технико-технологических показателей назначения на этапе разработки к методологии комплексной

оценки по обобщенным технико-экономическим показателям с использованием результатов эксплуатации;

• в перенесении технических показателей совершенства высокопроизводительного горного оборудования для оценки его качества на уровень основных систем, подсистем, сборочных единиц и узлов с предварительным определением обобщенных и групповых из них на основе построения известных математических, функциональных, логических и других схем (моделей) зависимости показателей.

Базируясь на известных общеметодических положениях, показатель производительности ($П_э$) можно классифицировать как основной функциональный показатель, ибо этот показатель определяет основное назначение – обеспечить выемку, экскавацию, транспортирование, переработку горной массы.

Комплексный показатель качества $КПК_{го}$ зависит от совокупности основных потребительских свойств высокопроизводительного горного оборудования и может быть определен на основе обобщенных показателей качества, используемых для оценки отдельных свойств:

$$КПК_{го}(t) = f[П_э(t), ЭК_э(t), Б(t)], \quad (1)$$

где t – принятый для рассмотрения период оценки на этапе эксплуатации.

В свою очередь

$$П_э = f_1[T_{эз}(t), Д(t_{кр}), P(t), МП], \quad (2)$$

$$ЭК_э(t) = f_2[Э_э(t), M_э(t), TP_э(t), ЭКО_э(t)], \quad (3)$$

где $t_{кр}$ – период времени до первого капитального ремонта.

Детализировать зависимости и осуществить предлагаемый в настоящей методологии 3-уровневый принцип оценки потребительских свойств можно на основе математических, логических, функциональных, экономических моделей связи показателей качества в виде ориентированных графов, общая методология построения и обработки информации по которым в настоящее время отработана в математической теории графов.

Практически к настоящему времени накоплен обширный научный, методологический, учебный, материал по расчету показателей (параметров) горного оборудования и установлению функциональных зависимостей между ними, используемых при конструкторских, технологических и экономических расчетах на стадии разработки.

Учитывая, что при комплексной оценке качества высокопроизводительного горного оборудования самостоятельное значение имеют экономические показатели, то необходимым при этом становится использование известного в квалиметрии интегрального показателя качества.

Предлагается комплексную оценку качества на стадии эксплуатации проводить по следующему уравнению:

$$КПК_{го} = \frac{Q_э(t)}{З_п + З_м + З_э(t)} \sqrt{\frac{П_{тупр}}{П_{тупр(б)}} \frac{П_{туз}}{П_{туз(б)}}} \to \max, \quad (4)$$

где $Q_э(t)$ – объем (вынимаемой, экскавируемой, транспортируемой, перерабатываемой) горной массы в конкретных горно-геологических, климатических и технологических условиях в рассматриваемый период эксплуатации (t) (м^3, т);

$З_п$ – затраты на приобретение высокопроизводительного горного оборудования (руб.);

$З_м$ – затраты по доставке, хранению, монтажу, наладке к вводу в эксплуатацию (руб.);

$З_э(t)$ – затраты по эксплуатации, обслуживанию и ремонту по периодам оценки объемов горной массы (руб.);

$П_{тупр}$ – обобщенный показатель технического уровня систем по предупреждению и локализации аварийных ситуаций; $П_{тупр(б)}$ – аналогичный показатель для базового образца;

$П_{туз}$ – обобщенный показатель технического уровня устройств защиты обслуживающего персонала от воздействий повреждающих факторов; $П_{туз(б)}$ – аналогичный показатель для базового образца.

При сравнительной оценке с предшествующим или наилучшим образцом значения $З_п$, $З_м$, $З_э(t)$ определяются с учетом динамики индексов цен.

Для комплексной оценки уровня качества может использоваться отношение

$$УК_{го} = \frac{КПК_{го}}{КПК_{го(б)}}. \quad (5)$$

При этом при сравнении с предшествующим образцом $УК_{го}$ должно быть больше 1, а с наилучшим образцом $УК_{го} \le 1$.

Для определения $УК_{го}$ с использованием уровней качества, установленных для обобщенных свойств по обобщенным и групповым показателям качества, и известного математического метода определения средних взвешенных значений предлагаются следующие уравнения:

$$УК_{го} = \alpha_1 \frac{УП_э}{УП_{э(б)}} + \alpha_2 \frac{УЭК_{э(б)}}{УЭК_э} + \alpha_3 \frac{УБ}{УБ_{(б)}} \to 1, \quad (6)$$
$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1;$$

$$УП_э = \beta_1 \frac{T_{эз}}{T_{эз(б)}} + \beta_2 \frac{T_{эо(б)}}{T_{эо}} + \beta_3 \frac{P_{(б)}}{P} + \beta_4 \frac{МП_{(б)}}{МП} \to 1, \quad (7)$$
$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 1;$$

$$УЭК_э = \gamma_1 \frac{Э_{э(б)}}{Э_э} + \gamma_2 \frac{M_{э(б)}}{M_э} + \gamma_3 \frac{TP_{э(б)}}{TP_э} + \gamma_4 \frac{ЭКО_{э(б)}}{ЭКО_э} \to 1, \quad (8)$$
$$\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 = 1;$$

$$УБ = \sqrt{\frac{П_{тупр}}{П_{тупр(б)}} \frac{П_{туз}}{П_{туз(б)}}} \to 1. \quad (9)$$

В формулах: $\alpha_1...\alpha_3$ – коэффициенты весомости обобщенных показателей соответственно производительности, экономичности, безопасности; $\beta_1...\beta_4$; $\gamma_1...\gamma_4$ – коэффициенты весомости соответственно групповых показателей (обозначения см. в табл. 1); индекс "б" обозначает показатели базовых образцов.

Определение коэффициентов весомости является самостоятельной задачей и может быть осуществлено на основе анализа динамики изменения классифицированных в настоящей работе основных потребительских в процессе эксплуатации конкретных видов высокопроизводительного оборудования для предыдущих или наилучших образцов.

Значения $\alpha_1...\alpha_3$ устанавливаются известными экспертными методами с учетом определяемой заказчиком предпочтительности того или иного из основных потребительских свойств (производительности, экономичности, безопасности).

В частности для шагающих экскаваторов большой единичной мощности авторы рекомендуют принимать $\alpha_1 = 0{,}5$, $\alpha_2 = 0{,}4$, $\alpha_3 = 0{,}1$.

Значения $\beta_1...\beta_4$ – можно определить расчетным путем, так как показатели характеризуют степень влияния на производительность отдельных групповых показателей ($T_{эз}$, $T_{эо}$, P, $МП$).

По показателям $T_{эо}$, P, $МП$ можно рассчитать за период эксплуатации, включая первый капитальный ремонт, непроизводительные потери объемов горной массы от простоев в техническом обслуживании ($\Delta Q_{эо}$), в ремонтах ($\Delta Q_р$), при монтаже (перемонтаже) ($\Delta Q_{мп}$), объемы горной массы за время производительной работы $Q_{эз} = T_{эз}t_{пкр}$ ($t_{пкр}$ – продолжительность производительной работы до первого капитального ремонта), затем по следующим уравнениям определить значения показателей:

$$\beta_1 = \frac{Q_{эз}}{Q_{эз} + \Delta Q_{эо} + \Delta Q_р + \Delta Q_{мп}}, \quad (10)$$

$$\beta_2 = \frac{\Delta Q_{эо}}{Q_{эз} + \Delta Q_{эо} + \Delta Q_р + \Delta Q_{мп}}, \quad (11)$$

$$\beta_3 = \frac{\Delta Q_р}{Q_{эз} + \Delta Q_{эо} + \Delta Q_р + \Delta Q_{мп}}, \quad (12)$$

$$\beta_4 = \frac{\Delta Q_{мп}}{Q_{эз} + \Delta Q_{эо} + \Delta Q_р + \Delta Q_{мп}}. \quad (13)$$

Аналогично по степени влияния на экономичность определяют за период эксплуатации, включая первый капитальный ремонт, показатели $\gamma_1...\gamma_4$ по уравнениям

$$\gamma_1 = \frac{З_{ээ}}{З_{ээ} + З_{мэ} + З_{трэ} + З_{экоэ}}, \quad (14)$$

$$\gamma_2 = \frac{З_{мэ}}{З_{ээ} + З_{мэ} + З_{трэ} + З_{экоэ}}, \quad (15)$$

$$\gamma_3 = \frac{З_{тэ}}{З_{ээ} + З_{мэ} + З_{трэ} + З_{экоэ}}, \quad (16)$$

$$\gamma_4 = \frac{З_{экоэ}}{З_{ээ} + З_{мэ} + З_{трэ} + З_{экоэ}}, \quad (17)$$

где $З_{ээ}$, $З_{мэ}$, $З_{трэ}$, $З_{экоэ}$ – эксплуатационные затраты (руб.) соответственно по показателям $Э_э$, $М_э$, $ТР_э$, $ЭКО_э$.

Применимость и периодичность оценки предлагаемых показателей базируются на анализе динамики изменения потребительских свойств в процессе эксплуатации конкретных видов высокопроизводительного горного оборудования. На основе собственного (авторов) экспертного анализа для практического применения предлагаемой методологии целесообразно ориентироваться на следующие подходы и периоды жизненного цикла (табл. 2):

- на стадии технического задания устанавливать полную совокупность предлагаемых показателей, используя значения, определенные по базовому (лучшему) аналогу или предыдущему образцу;
- на стадии технического проекта расчетно определять значения полной совокупности предлагаемых показателей создаваемого образца;
- при заключении контракта анализировать полную совокупность предлагаемых показателей;
- после начального этапа эксплуатации оценивать значения необходимой совокупности показателей, используя данные информационно-аналитических систем управления производством.

В конфликтных ситуациях с поставщиком оборудования оцениваются отдельные показатели, выбор которых определяется характером сложившейся ситуации.

Далее по установленным отчетным периодам ежемесячно, за периоды, включая первый капитальный ремонт.

Такие подходы представляют возможность накапливать информацию, необходимую для принятия ответственного решения при оценке экономической целесообразности продолжения эксплуатации изношенной техники, а также при приобретении нового образца.

При выборе базовых образцов высокопроизводительного горного оборудования можно руководствоваться общеизвестными методологическими подходами. Для оборудования индивидуального производства рекомендуется предпочтение отдавать проектным показателям.

Подытоживая изложенное, целесообразно еще раз акцентировать внимание на следующем.

Одной из главных причин недостижения ожидаемых технико-экономических результатов горных работ при приобретении и эксплуатации нового (относительно ранее использованного) высокопроизводительного горного оборудования на шахтах, разрезах и

Таблица 2

Рекомендуемые применяемость и периодичность оценки показателей качества, характеризующих основные потребительские свойства высокопроизводительного горного оборудования

Потребительские свойства	На этапах разработки и изготовления			На этапах эксплуатации	
	Техническое задание	Технический проект	При заключении контракта на поставку	Ежемесячно	Ежегодно до первого капитального ремонта (включительно)
Эксплуатационная производительность	+	+	+	+	+
Эксплуатационная технологичность	+	+	+	+	+
Энергоемкость	+	+	+	+	+
Материалоемкость	+	+	+	+	+
Трудоемкость	+	+	+	+	+
Экономичность	+	+	+	+	+
Долговечность	+	+	+	–	–
Ремонтопригодность	+	+	+	–	+
Монтажепригодность	+	+	+	–	–
Экологичность	+	+	+	–	+
Безопасность	+	+	+	+	+

рудниках России заключается в том, что оценка их потребительских свойств осуществляется экспертным методом по группе технико-технологических показателей (показателей назначения), указанных в технической документации завода-изготовителя, когда полнота и достоверность оценок качества даже при относительно высоком уровне квалификации и большом производственном опыте руководителей и специалистов потребителя в должной степени не достигаются.

Изменить ситуацию возможно, если осуществить использование предлагаемой методологии, разработанной с использованием общих научных основ управления качеством промышленной продукции и реализующей следующие методические принципы:

переход к комплексной технико-экономической оценке совокупности потребительских свойств по комплексным, обобщенным и групповым показателям качества оборудования на стадиях жизненного цикла изделия (технического задания, технического проекта, при вводе в эксплуатацию и в последующем периодически по установленным отчетным периодам, включая первый капитальный ремонт), используя в настоящее время данные внедренных информационно-аналитических систем управления производством;

создание условий для сравнительной объективной оценки качества различных типов высокопроизводительного оборудования российского и зарубежного производства.

Применение методологии позволяет сформировать на перспективу информационные возможности для принятия ответственных решений по списанию изношенного и приобретению на замену нового высокопроизводительного горного оборудования.

УДК 621.879.002.5.658.589

А.А. Демин, д-р техн. наук, проф., **И.П. Кузнецов,** вед. науч. сотр., МГСУ, **А.Я. Савченко,** канд. техн. наук

Комплексная оценка качества забойной технологичности драглайнов большой единичной мощности

Проведен анализ существующей и предлагается новая методология комплексной оценки качества забойной технологичности драглайнов, а также определения их соответствия выбранной схеме горных работ по бестранспортной технологии.

Открытый способ добычи твердых полезных ископаемых в мире и России остается в ближайшей перспективе приоритетным направлением развития горного производства в силу его преимуществ экономического и социального характера.

При открытой добыче во всех случаях, когда позволяют горно-геологические условия, предпочтение отдается бестранспортной технологии с использованием экскаваторов-драглайнов большой единичной мощности [1].

На текущий момент основной производитель драглайнов для российских горно-добывающих предприятий ОАО "УРАЛМАШ" предлагает 12 типоразмеров машин вместимостью ковша 11...100 м^3, длиной стрелы 75...130 м, рабочей массой 840...10000 т, с установленной мощностью электрооборудования 1250...4×3600 кВт [2].

Технологическая гибкость драглайнов, обусловленная их способностью разрабатывать забои выше и ниже уровня стояния машин, вмещающие горные породы с различными физико-механическими свойствами, осуществлять селективную выемку, рекультивацию нарушенных земель, является важнейшим преимуществом по сравнению с другими типами экскавационных горных машин.

Развитие бестранспортной технологии осуществляется по пути усложнения схем перевалки горных пород, улучшения использования конструктивных возможностей драглайнов, достижения их оптимального взаимодействия при групповом применении, оптимизации высоты и схемы забойного уступа. При этом важное значение имеет забойная технологичность драглайна – свойство, характеризующее его способность выполнять производительную работу по проектной схеме ведения горных работ и в конкретных горно-геологических условиях эксплуатации.

Поэтому очевидно, что повышение достоверности и полноты оценки забойной технологичности драглайнов и их соответствия требованиям усложненных схем горных работ на этапах проектирования разрезов и при эксплуатации в изменяющихся горно-геологических условиях, несомненно, будет способствовать снижению производственных рисков и достижению более высоких технико-экономических показателей горного производства.

Решение этой задачи представляется в реализации новой методологии оценки забойной технологичности драглайнов, позволяющей осуществить переход от используемой в настоящее время дифференциальной оценки по отдельным техническим показателям назначения к обобщенной многоуровневой технико-экономической оценке с использованием научных разработок в теории рабочих процессов экскавации и практике совершенствования конструкций рабочего оборудования [3], а также прикладных научных положений квалиметрии [4].

АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМОЙ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

При разработке технологической части проектов бестранспортной технологии для разрезов типовыми технологическими схемами ведения горных работ [1] рекомендуется оценивать их экономическую эффективность по средним удельным затратам на вскрышные работы и удельным капитальным вложениям при заданной высоте отрабатываемого уступа, количественные значения которых определяются по экспериментально установленным математическим зависимостям для конкретного типоразмера драглайна. Элементы системы разработки проектируются с использованием ограниченной группы единичных показателей, характеризующих в основном назначение экскаватора, в частности максимальных радиусов черпания и разгрузки, максимальной высоты черпания, геометрической вместимости ковша, продолжительности цикла, частоты вращения поворотной платформы, а также эмпирических коэффициентов, учитывающих наполнение ковша, разрыхление экскавируемой породы, качество управления машиниста, снижение производительности от вида черпания (нижнее или верхнее) и максимальной высоты уступа.

При этом технологическое соответствие драглайна конкретной схеме ведения горных работ и горно-геологическим условиям оценивается по возможности достижения необходимой забойной производительности при соблюдении технологических показателей, обеспечивающих безопасное ведение горных работ –

ширины вскрышной заходки, устойчивых углов откоса вскрышного и добычного уступов, ширины площади на почве пласта, ширины бермы на кровле пласта.

С позиции основных положений квалиметрии горного оборудования [4] такой метод можно классифицировать как одноуровневую оценку забойной технологичности драглайнов по единичным показателям назначения.

Принципиально несовершенство указанной методологии в том, что при расчетах транспортирующую систему драглайна, представленную ковшом с грунтом, рассматривают упрощенно, как материальную точку, центр тяжести которой совпадает с центром тяжести общей транспортируемой системы без учета реальных процессов взаимодействия ковша с упряжью и подвеской при транспортировании. Реализация же драглайном своих технологических возможностей в значительной степени зависит от конструктивных параметров ковша, особенностей кинематических связей между ковшом, упряжью, подвеской и разгрузочным канатом, формирующих реальные возможности выбора машинистом линий транспортирования и разгрузки [4].

Одновременно используемые конструкторами методики расчета силовых, кинематических и энергетических показателей драглайнов, созданные на основе упрощенных схематизированных моделей процесса копания, не позволяют расчетным путем оценить эти показатели с достаточной для практики точностью.

Важно также отметить, что использование при проектировании технологических схем бестранспортных технологий в основном эмпирических зависимостей между технологическими параметрами схем и показателями назначения для конкретных типоразмеров драглайнов не только снижает точность расчетов, но и не позволяет использовать их для новых машин.

По мнению авторов, эмпиричность и упрощенность моделей расчета являются в немалой степени причиной того, что в практике нередко фактические значения параметров горных работ существенно отличаются от проектных в худшую сторону с соответствующими экономическими последствиями.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗАБОЙНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Опыт исследований и оптимизации рабочих процессов драглайнов, а также совершенствования конструкций ковша и его подвески позволил установить следующие принципиальные моменты [3 и др.].

Оценки фактической производительности и длительности рабочего цикла, которые характеризуют эффективность драглайна в конкретных горно-технологических условиях, являются пока еще, как правило, эмпирическими и устанавливаются по результатам экспериментов и наблюдений за работой машины в различных эксплуатационных условиях.

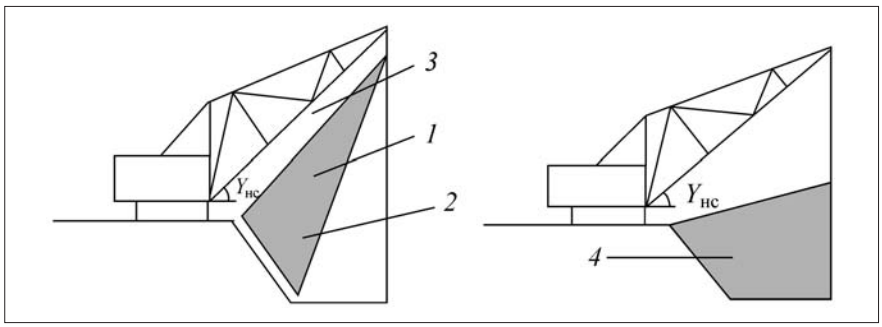


Рис. 1. Схема расположения зон рабочего поля драглайна:
1 – зона транспортирования; *2* – зона разгрузки; *3* – зона растяжки; *4* – зона копания

Фактически рабочее поле драглайна формируется зонами копания, транспортирования, растяжки и разгрузки ковша (рис. 1).

Зоной копания является совокупность точек, в которых может находиться режущая кромка ковша и из которых возможно осуществить копание при движении порожнего или частично заполненного грунтом ковша по выбранному машинистом направлению в забое.

Зоной транспортирования груженого ковша является та часть рабочего поля, в которой ковш способен находится в статическом положении (статическая зона) или перемещаться (динамическая зона), удерживая номинальный объем грунта.

Зоной разгрузки является та часть рабочего поля, где ковш в силу кинематических особенностей подвески не способен удерживать номинальный объем грунта.

Зона растяжки формируется под влиянием стопорных усилий в подъемном и тяговом канатах, которые создают предельные осевые нагрузки на стрелу, и является нерабочей зоной (см. рис. 1).

Площади рабочего поля и составляющих его зон, соотношение этих площадей, координатная привязка площадей и границ между ними к экскаватору являются важнейшими реальными характеристиками его технологических возможностей и определяются линейными параметрами рабочего оборудования.

Построение зон возможно методами физического и (по результатам последних исследований) математического моделирования. Расчетные математические модели создали возможность оценки технологичности драглайнов на самых ранних стадиях проектирования машин, а также предпосылки для проверки технологических возможностей при работе в конкретных эксплуатационных схемах ведения горных работ.

Исследованиями НИЛ мощных экскаваторов МГСУ установлены три зоны копания: конструктивная (K), технологическая (T), фактическая ($Ф$), а также соотношение площадей (F) этих зон (рис. 2):

$$F_{зф} < F_{зт} < F_{зк} . \qquad (1)$$

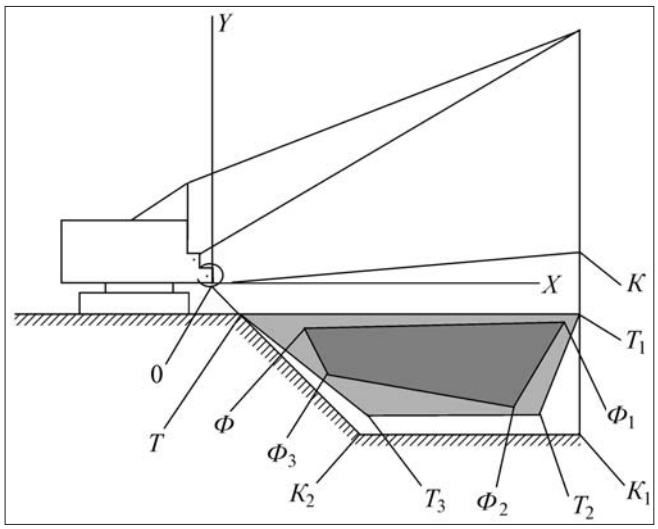


Рис. 2. Схема взаиморасположения конструктивной, технологической и фактической зон копания относительно машины:
0, K, K_1, K_2 – конструктивная зона копания; T, T_1, T_2, T_3 – технологическая зона копания; Φ, Φ_1, Φ_2, Φ_3 – фактическая зона копания

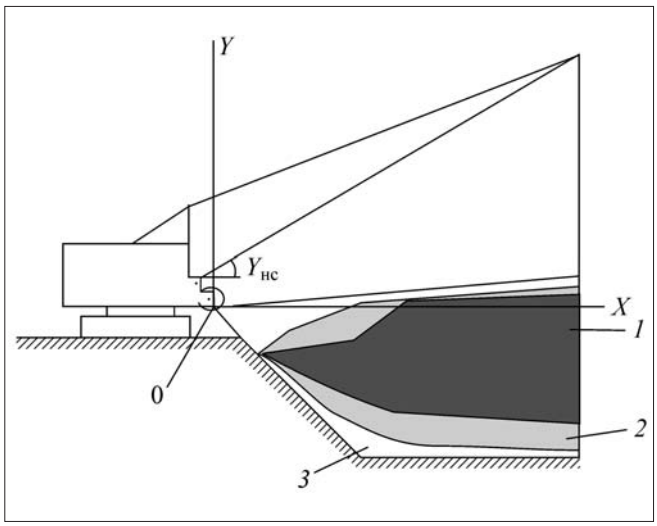


Рис. 3. Зона копания экскаватора ЭШ-10/70:
1 – стандартным ковшом; *2* – ковшом с оптимизированной компоновкой; *3* – конструктивная

Несоответствие (существенное уменьшение площади) фактической зоны копания, которую реально по конструктивным возможностям подвески ковша может реализовать драглайн, технологической (проектной) и тем более конструктивной (теоретической) зонам является одной и важных причин снижения забойной производительности и невозможности реализовать проектную схему ведения горных работ при разработке уступа.

Для расчета численных значений наиболее информативных показателей фактической зоны копания (площади зоны и координат ее центра тяжести) НИЛ мощных экскаваторов МГСУ разработаны алгоритмы и программа "ZONAK".

В информационной базе программы "ZONAK" заложены две подпрограммы:

- "POLEK", позволяющая определить массивы точек верхней, нижней, дальней и ближней границ фактической зоны копания с учетом силовых и кинематических показателей взаимодействия ковша с грунтом;
- "КОР", позволяющая определить количественные значения силовых (усилие тяги, реакцию грунта в точке опирания ковша при копании, веса грунта и ковша с грунтом и др.) и кинематических показателей (координаты центра тяжести ковша с грунтом, угол приложения тягового усилия, длину линии копания и др.).

На рис. 3 в качестве примера приведены рассчитанные по программе "ZONAK" зоны копания экскаватора ЭШ-10/70.

Размеры и форму зоны транспортирования определяют:

возможные линии транспортирования, по которым ковш после отрыва его от забоя может перемещаться к месту начала разгрузки;

особенности силовой нагруженности элементов подвески и упряжи ковша;

величины усилий в подъемном и тяговом канатах;

кинематические особенности расположения ковша на подвеске относительно машины в трансформирующейся под влиянием изменения массы и координат центра массы ковша с грунтом системе кинематических связей "ковш–упряжь–разгрузочный канат–подъемные цепи–подъемный канат".

Установлены показатели для управления транспортными возможностями драглайна: площадь зоны транспортирования ($F_{зтр}$), площадь зоны разгрузки ($F_{зр}$), площадь зоны под нижней границей зоны транспортирования ($F_{зрн}$), а также координаты центров тяжести этих площадей в рабочем поле драглайна ($x_{зтр}$, $y_{зтр}$), ($x_{зр}$, $y_{зр}$), ($x_{зрн}$, $y_{зрн}$).

Численные значения этих показателей могут быть определены с помощью разработанных НИЛ мощных экскаваторов МГСУ алгоритмов и программы "ZONAT".

Оптимизация показателей по степени влияния от большего к меньшему на максимизацию площади транспортирования осуществляется в последовательности:

длины разгрузочного каната ($L_{рк}$), тяговых ($L_{тц}$) и подъемных ($L_{пц}$) цепей;

координаты точки крепления тяговых цепей к ковшу ($x_{ктц}$, $y_{ктц}$);

рабочие длины тягового ($L_{тк}$) и подъемного ($L_{пк}$) канатов;

стопорные усилия механизмов тяги ($S_{тстоп}$) и подъема ($S_{пстоп}$);

длина ($L_с$) и угол наклона ($Y_{нс}$) стрелы;

координаты точки схода (0) тяговых канатов с блоков наводки ($x_{сн}$, $y_{сн}$);

глубина подошвы ($H_з$) и угол наклона ($Y_{нз}$) забоя.

Для оптимизации значений обозначенных конструктивных показателей ковша, его упряжи и подвески НИЛ мощных экскаваторов МГСУ разработаны алгоритмы и программа "WIRAT".

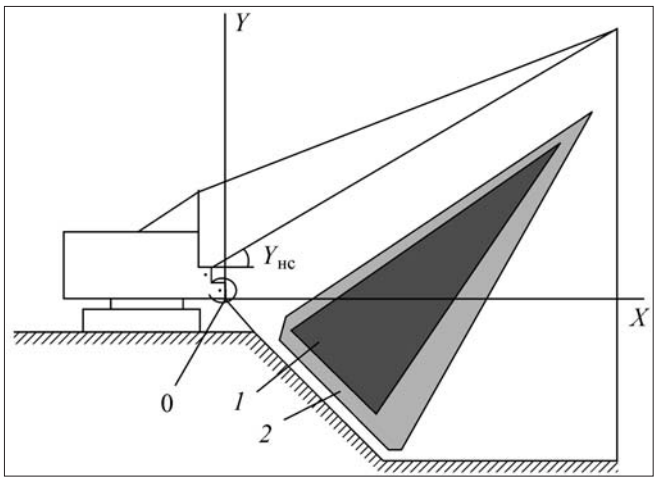


Рис. 4. Зоны транспортирования груженого ковша с традиционной подвеской:
1 – при паспортных данных всех параметров; *2* – при оптимальных значениях параметров

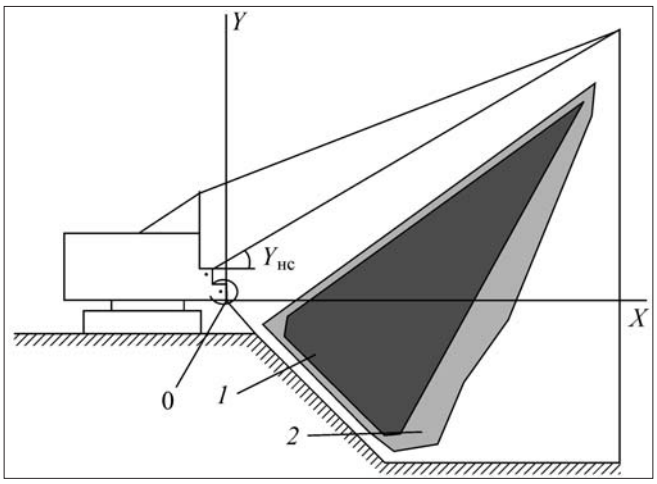


Рис. 5. Зоны транспортирования груженого ковша с полиспастной подвеской:
1 – при паспортных данных всех параметров; *2* – при оптимальных значениях параметров

На рис. 4 и 5 приведены результаты расчета по программе "WIRAT" зон транспортирования для драглайна ЭШ-10/70 при паспортных значениях конструктивных показателей ковша, его подвески и упряжи, а также при оптимальных значениях координат названных выше компоновочных точек ковша, параметров упряжи и подвески.

Представленные методологические положения анализа, расчета и оптимизации основных технологических зон рабочего поля драглайна (копания и транспортирования), в определяющей степени влияющих на технологические возможности машины, создали возможность для осуществления принципиально нового подхода к оценке качества забойной технологичности драглайнов. Конкретно реализовать переход от оценки качества забойной технологичности по единичным показателям назначения к обобщенной оценке, позволяющей оценить и сравнить уровень качества забойной технологичности полного типоразмерного ряда выпускаемых драглайнов и одновременно установить возможные направления конструктивного совершенствования рабочего оборудования.

Базируясь на представленных положениях, комплексный показатель качества забойной технологичности в общем виде можно представить функцией, в которой значение показателя качества забойной технологичности ($П_{кзт}$) определяется фактическими размерами площадей зон копания ($F_{зк}$), транспортирования ($F_{зтр}$), разгрузки ($F_{зр}$), а также фактическими значениями координат центров тяжести этих зон в рабочем поле драглайна: копания ($x_{зк}$, $Y_{зк}$), транспортирования ($x_{зтр}$, $y_{зтр}$), разгрузки ($x_{зр}$, $y_{зр}$):

$$П_{кзт} = \varphi(F_{зк},\ F_{зтр},\ F_{зр},\ x_{зк},\ y_{зк},\ x_{зтр},\ y_{зтр},\ x_{зр},\ y_{зр}). \quad (2)$$

При таком подходе решение задачи улучшения качества забойной технологичности сводится к осуществлению конструктивных мер по совершенствованию рабочего оборудования [5], обеспечивающих увеличение размеров площадей зон копания (значения $F_{зк}$), транспортирования (значения $F_{зтр}$), соответствующего уменьшения площади зоны разгрузки (значения $F_{зр}$), а также оптимизаций значений координат в рабочем поле зон: копания ($x_{зк}$, $y_{зк}$), транспортирования ($x_{зтр}$, $y_{зтр}$), разгрузки ($x_{зр}$, $y_{зр}$).

В практическом плане уравнение (2) имеет множество решений по причине многообразия горно-технологических условий применения и типоразмеров выпускаемых драглайнов.

Решение уравнения (2) можно осуществить в двухмерной системе координат, если предварительно ввести определенные, в малой степени влияющие на достоверность результатов, упрощения.

Принять условные расчетные показатели, характеризующие зоны:

копания

$$F_{узк} = F_{зк}\sqrt{x_{зк}^2 + y_{зк}^2}, \quad (3)$$

транспортирования

$$F_{узтр} = F_{зтр}\sqrt{x_{зтр}^2 + y_{зтр}^2}, \quad (4)$$

разгрузки

$$F_{узр} = F_{зр}\sqrt{x_{зр}^2 + y_{зр}^2}. \quad (5)$$

Одновременно учитывая, что:

зоны транспортирования и разгрузки имеют общую границу (см. рис. 1), а расширение зоны транспортирования приводит к уменьшению в том же размере зоны разгрузки (уменьшению продолжительности разгрузки);

время разгрузки в цикле экскавации по сравнению с временами копания и транспортирования относительно невелико,

показателем $F_{узр}$ можно практически пренебречь, а значение комплексного показателя качества забойной технологичности определять по уравнениям:

$$П_{кзт} = \varphi_1 (F_{узк}, F_{узтр}), \quad (6)$$

$$П_{кзт} = F_{узк} F_{узтр}. \quad (7)$$

При этом расчетные значения показателей определяются:

$F_{зк}$, $x_{зк}$, $y_{зк}$ – по программе "ZONAK", оптимизированные $F_{зк(опт)}$, $x_{зк(опт)}$, $y_{зк(опт)}$ – по программе "WIRAK";

$F_{зтр}$, $x_{зтр}$, $y_{зтр}$ – по программе "ZONAT", оптимизированные $F_{зтр(опт)}$, $x_{зтр(опт)}$, $y_{зтр(опт)}$ – по программе "WIRAT";

$F_{узк}$, $F_{узтр}$, $F_{узк(опт)}$, $F_{узтр(опт)}$ – по уравнениям (3) и (4).

В соответствии с основными положениями квалиметрии [4] и уравнением (6) показатели $F_{узк}$, $F_{узтр}$ являются единичными показателями качества в отношении комплексного показателя $П_{кзт}$.

Поэтому уровень качества забойной технологичности ($y_{кзт}$) может быть оценен по уравнению:

$$y_{кзт} = y_{кзк} y_{кзтр}, \quad (8)$$

где $y_{кзк} = F_{узк}/F_{узк(опт)} \le 1$ – уровень качества технологичности копания (большее значение соответствует лучшему качеству);

$y_{кзтр} = F_{узтр}/F_{узтр(опт)} \le 1$ – уровень качества технологичности транспортирования (большее значение соответствует лучшему качеству).

Хотя оптимизированные зоны копания и транспортирования для каждого типа драглайна собственные, однако уравнение (8) может быть использовано для сравнительной оценки качества забойной технологичности разнотипных драглайнов полного выпускаемого типоразмерного ряда экскаваторов как оценка степени приближения фактических зон копания и транспортирования к аналогичным собственным оптимизированным зонам.

При проектировании и выборе конкретных схем ведения горных из множества типовых вариантов бестранспортных технологий должны расчетно определяться необходимые технологические зоны копания по показателям – $F_{зк(техн)}$, $x_{зк(техн)}$, $y_{зк(техн)}$ по конфигурации и месторасположению вскрышного уступа, а также необходимые зоны транспортирования по показателям – $F_{зтр(техн)}$, $x_{зтр(техн)}$, $y_{зтр(техн)}$ с учетом возможностей выработанного пространства и конкретного установочного положения драглайна.

Соответствие выбранного драглайна схеме ведения горных работ (соотношение технологических и фактических зон) предлагается оценивать по критериям:

операций копания – $F_{зк(техн)} < F_{зк}$ при $x_{зк(техн)} = x_{зк}$, $y_{зк(техн)} = y_{зк}$;

операций транспортирования – $F_{зтр(техн)} < F_{зтр}$ при $x_{зтр(техн)} = x_{зтр}$, $y_{зтр(техн)} = y_{зтр}$.

При несоблюдении соотношений проектируемые схемы ведения горных работ необходимо корректировать, ибо только при соблюдении этих условий гарантируется с высокой вероятностью достижение наилучших показателей забойной производительности.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

При решении задачи улучшения качества забойной технологичности основным направлением, как следует из вышеизложенного материала, является совершенствование конструктивных решений рабочего оборудования, конкретно конструкции ковша, подвески, установки блоков наводки.

Показатели, характеризующие качество конструктивных решений для операций копания

Определенная фактическая вместимость ковша ($E_{кф}$);

полнота заполнения ковша грунтом в конце операции копания, измеренная в продольном по длине ковша сечении ($F_{гк}$);

объем ($Q_{гк}$) и масса ($M_{гк}$) грунта в ковше;

координаты центров тяжести грунта ($x_{гк}$, $y_{гк}$) и ковша ($x_к$, $y_к$);

коэффициент наполнения ковша в транспортном положении ($K_{нтр}$);

расчетное усилие тяги на линии копания ($S_{т(лк)}$);

время копания ($t_к$).

Обобщенный показатель уровня качества конструктивных решений рабочего оборудования предлагается оценивать по уравнению:

$$y_{кк} = \frac{E_{кф}}{E_{к(опт)}} + \frac{F_{гк}}{F_{гк(опт)}} + \frac{Q_{гк}}{Q_{гк(опт)}} + \frac{M_{гк}}{M_{гк(опт)}} + \frac{\sqrt{x_{гк}^2 + y_{гк}^2}}{\sqrt{x_{гк(опт)}^2 + y_{гк(опт)}^2}} + \frac{\sqrt{x_к^2 + y_к^2}}{\sqrt{x_{к(опт)}^2 + y_{к(опт)}^2}} + \frac{K_{нтр}}{K_{нтр(опт)}} + \frac{S_{т(лк)(опт)}}{S_{т(лк)}} + \frac{t_{к(опт)}}{t_к}. \quad (9)$$

Количественные значения показателей, используемых в уравнении, определяются на промежуточных этапах при расчете зоны копания по вышеобозначенным программам "ZONAK" и "WIRAK". Большее количественное значение показателя $y_{кк}$ соответствует лучшему качеству конструктивных решений.

Показатели, характеризующие качество конструктивных решений для операций транспортирования

Для обоснования и выбора показателей, характеризующих качество конструктивных решений, использованы расчетные модели транспортной системы (ковш–упряжь–подвеска) при операции транспортирования, позволяющие определить величины подъемных и тяговых усилий, а также координат компоновочных точек ковша.

Показатели, определяющие формирование зоны транспортирования:

величины усилий подъемного ($S_п$), тягового ($S_т$) и разгрузочного ($S_р$) канатов;

вес ковша с грунтом ($G_{кг}$);

координаты центра тяжести ковша с грунтом ($x_{цткг}$, $y_{цткг}$);

координаты компоновочных точек крепления: подъемных цепей к ковшу ($x_а$, $y_а$), разгрузочного каната к арке ковша ($x_б$, $y_б$), тяговых цепей к ковшу ($x_в$, $y_в$), подъемного каната к упряжи ($x_{пку}$, $y_{пку}$), тягового каната к упряжи ($x_{тку}$, $y_{тку}$);

время транспортирования ($t_{тр}$).

Используя из обозначенных отдельные показатели, которые в наибольшей степени влияют на формирование зоны транспортирования, можно предложить обобщенную оценку уровня качества технологичности транспортирования осуществлять по уравнению:

$$y_{ктр} = \frac{S_{п(опт)}}{S_п} + \frac{S_{т(опт)}}{S_т} + \frac{S_{р(опт)}}{S_р} + \frac{G_{кг}}{G_{кг(опт)}} + \frac{\sqrt{x_а^2 + y_а^2}}{\sqrt{x_{а(опт)}^2 + y_{а(опт)}^2}} + \frac{\sqrt{x_{б\,2}^2 + y_б^2}}{\sqrt{x_{б(опт)\,2}^2 + y_{б(опт)}^2}} + \frac{\sqrt{x_в^2 + y_в^2}}{\sqrt{x_{в(опт)\,2}^2 + y_{в(опт)}^2}} + \frac{\sqrt{x_{тку\,2}^2 + y_{тку}^2}}{\sqrt{x_{тку(опт)}^2 + y_{тку(опт)}^2}} + \frac{t_{тр(опт)}}{t_{тр}} \quad (10)$$

при $x_{пку} = x_{пку(опт)}$, $y_{пку} = y_{пку(опт)}$.

Количественно значения показателей, используемых в уравнении, определяются на промежуточных этапах расчета и оптимизации зоны транспортирования по вышеобозначенным программам.

ВЫВОДЫ

1. Анализ проектирования и ведения горных работ показывает, что выбор и оценка соответствия драглайна технологическим условиям разрабатываемого забоя, осуществляемые по группе паспортных показателей назначения, снижают достоверность оценок по причине упрощенности используемых расчетных методов.

2. Улучшить ведение горных работ по бестранспортной технологии возможно, если использовать для оценки качества забойной технологичности драглайнов и их соответствия выбранной схеме ведения горных работ методологии расчета и оптимизации зон копания, транспортирования и разгрузки драглайна, которые по конструктивным особенностям могут быть реализованы конкретным типоразмером машины.

Методология расчета, построения и оптимизации этих зон разработана НИЛ мощных экскаваторов МГСУ с использованием усложненных более точных расчетных моделей и реализована в виде вычислительных программ.

3. Предлагаемая методология комплексной оценки качества забойной технологичности и ее соответствия установленной схеме ведения горных работ по бестранспортной технологии создает условия для:

- более полной реализации конструктивных возможностей драглайнов в конкретных горно-технических условиях эксплуатации;
- определения направлений конструктивного совершенствования рабочего оборудования, обеспечивающих условия более производительной разработки установленных забоев;
- улучшения технико-экономических показателей выемки и транспортирования горных пород драглайнов, уменьшения производственных рисков при приобретении машин.

4. Предложенные рекомендации могут быть полезны конструкторам, проектировщикам и эксплуатационному персоналу горно-добывающих предприятий, использующих бестранспортную схему горных работ.

Список литературы

1. **Типовые** технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. Челябинск: НИИОГР, 1991.

2. **Горное** оборудование Уралмашзавода. Коллектив авторов. Ответственный редактор-составитель Бойко Г.Х. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2003.

3. **Демин А.А., Кузнецов И.П., Кабанов В.И.** Совершенствование рабочего оборудования драглайнов. М.: ЦНИЭИуголь, 1990.

4. **Солод Г.И.** Основы квалиметрии: Учебное пособие. М.: МГИ., 1991.

5. **Демин А.А., Кузнецов И.П.** Энергосберегающее рабочее оборудование экскаваторов-драглайнов // Горные машины и автоматика. 2001. № 3.

Издательство "Новые технологии", редакция и редакционная коллегия журнала "Горное оборудование и электромеханика" сердечно поздравляют с праздником 8 Марта члена редакционной коллегии д-ра техн. наук

Людмилу Ивановну АНДРЕЕВУ

и зам. гл. редактора канд. техн. наук

Юлию Андреевну ЛАГУНОВУ.

УДК 658.562

Б.К. Мышляев, д-р техн. наук, ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, **И.В. Титов,** инж., МГУС

О качестве очистного оборудования

Обосновывается необходимость повышения роли национальных стандартов и правил как доказательной основы разрабатываемого "Технического регламента создания и эксплуатации очистного оборудования на шахтах РФ" при производстве современной российской очистной техники.

Предлагается расширить функции Технического комитета по стандартизации "Горное дело" при ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского в направлении проведения научно-исследовательских работ по горно-шахтному оборудованию.

Исследования немецких специалистов производственных процессов на шахтах Германии и Великобритании показывают, что главную роль в обеспечении их эффективности и создании безопасных условий труда шахтеров играют очистные работы и очистное оборудование.

От уровня технологии и техники ведения очистных работ на 70...80 % зависят основные технико-экономические показатели шахты и решение социальных проблем.

В работе [1] показано, что недостаточная надежность работы горно-шахтного оборудования (ГШО), его отказы являются прямыми или косвенными причинами таких опасных проявлений окружающей среды, как пожары, взрывы метана и угольной пыли.

Концентрация метана от 5 до 15 % образует мощную взрывоопасную метановоздушную смесь, способную инициировать от малейшего источника воспламенения – например, искры во время ремонтных работ [2]. Если взрыв метана уже является катастрофой, то опасность многократно увеличивается при воспламенении угольной пыли.

Оценка качества ГШО должна производиться на этапах разработки документации, изготовления и эксплуатации этого оборудования [3].

Одним из основных направлений обеспечения качества на всех этапах является разработка "Технического регламента создания и эксплуатации очистного оборудования на шахтах РФ" в соответствии с положениями Федерального закона "О техническом регулировании".

В соответствии с дополнением к этому закону в качестве основы для разработки технических регламентов должны использоваться международные стандарты, кроме случаев, когда международные стандарты являются неэффективными, например, из-за фундаментальных технологических проблем [4]. Это исключение напрямую относится к условиям эксплуатации очистного оборудования на шахтах РФ, которые значительно сложнее, чем в европейских странах, а также в США и Австралии.

В связи с этим разработке Технического регламента должна предшествовать разработка национальных стандартов по основному оборудованию: очистным комбайнам, забойным конвейерам и перегружателям, струговым установкам и механизированным крепям. Эти стандарты должны обязательно учитывать требования к качеству оборудования, т.е. к затратам на поддержание его в работоспособном состоянии в течение срока службы. Данные требования отсутствуют в существующих ГОСТах, а также в известных международных стандартах. Однако в новой трактовке Госстандарта РФ требования национальных стандартов выполняются на добровольной основе. С такой трактовкой согласиться нельзя. До принятия в действие технических регламентов требования национальных стандартов, связанных с безопасностью работ, должны быть обязательными для их выполнения всеми – и производителями, и потребителями.

В последние годы введены новые документы по стандартизации – "своды правил". У стандартизаторов появилось предложение об использовании существующих документов, которые ранее устанавливали обязательные требования к продукции и процессам, в качестве "свода правил". К таким "сводам правил" могут быть отнесены строительные нормы и правила (СНиПы), санитарные правила и нормы (СанПиНы) и др.

По нашему мнению, к таким "сводам правил" могут быть отнесены и "Нормативы по безопасности забойных машин, комплексов и агрегатов", которые, безусловно подлежат корректировке.

В новой версии закона о техническом регулировании указано, что кроме национальных стандартов, в качестве доказательной базы при разработке технических регламентов могут быть использованы и своды правил, требования которых до ввода в действие технических регламентов нельзя трактовать как добровольные для их выполнения.

Закон уточнил и принцип использования национальных стандартов и свода правил в качестве доказательной базы. Это так называемый принцип презумпции соответствия – предположение, признаваемое истинным, пока не доказано обратное. Данный принцип широко используется в европейском сообществе. И стандарты, и своды правил могут использоваться в качестве доказательной базы, но их неиспользование не является основанием считать это *невыполнением* требований технических регламентов.

Наказать за невыполнение требований национальных стандартов и сводов правил на добровольной основе *после ввода в действие технических регламентов нельзя*. Однако это уточнение закона в настоящее время отсутствует.

В СССР госстандарты (ГОСТы) были обязательными для всех предприятий и организаций. Они являлись одним из основных средств обеспечения выпуска качественной продукции и важным средством внедрения новой техники.

Разработка национальных стандартов на продукцию базировалась на анализе опыта создания и внедрения современного отечественного оборудования с учетом применения современного оборудования передовых зарубежных фирм в условиях отечественной практики. При этом использовались научно-исследовательские, экспериментальные работы и предложения НИИ и ПКИ по перспективам развития техники в данном направлении. Работы финансировались из бюджета. До 2003–2004 гг. финансирование работ в незначительных объемах обеспечивало Минпромэнерго РФ.

В последние годы, когда добыча угля в РФ ведется за счет частного капитала, когда все НИИ и ПКИ, работавшие на угольную промышленность, из-за отсутствия финансирования практически потеряли свое значение, когда все отечественные заводы по выпуску очистного оборудования (кроме "Анжеромаша") существенно уменьшили объемы производства, Российская Федерация превращается в поставщика на экспорт еще одного вида сырья – угля, добываемого необоснованно во все бо́льших объемах импортной техникой.

Однако последние выступления руководства "Газпрома" и РАО ЕЭС о дефиците, начиная с 2007 г., газа в России на внутренние нужды страны, что не позволяет наращивать мощности электростанций на газе из-за нехватки топлива, а также их предложения поднять в 2 раза внутренние цены на газ для промышленных целей, позволяют обоснованно ставить вопрос о пересмотре отношения к углю.

Учитывая дефицит газа для внутреннего потребления, целесообразно все новые мощности тепловых электростанций увеличивать за счет соответствующего увеличения добычи угля. Для выполнения задачи увеличения производства электроэнергии на 2/3 к 2020 г., поставленной Президентом РФ В.В. Путиным в Послании Федеральному Собранию Российской Федерации на 2007 г., годовая добыча угля в 2020 г. должна увеличиться практически в 2 раза.

Развитие угольной промышленности РФ как долговременной базы стратегически важного сырья для топливно-энергетического комплекса, черной металлургии и химии страны настоятельно потребует *улучшения безопасных и комфортных условий эффективной разработки угольных месторождений, особенно подземным способом*.

Анализ результатов работы отечественной и импортной очистной техники на шахтах РФ [1] показывает следующее:

- результаты работы импортного оборудования на шахтах РФ из-за более сложных условий эксплуатации снижаются в 1,5 раза и более по сравнению с проектными показателями;
- применение более дорогого импортного оборудования приводит к потерям шахтами до 30 млн руб. на каждый миллион тонн угля, добытого этой техникой, и требует на его техобслуживание затрат в 1,5–2,0 раза более высоких по сравнению с применением отечественного оборудования;
- одновременно использование импортной техники приводит к годовой потере 120...150 рабочих мест в российском машиностроении на каждый миллион тонн добытого угля;
- использование в 2005 г. на шахте "Полосухинская" только отечественной очистной техники позволило обеспечить среднемесячную зарплату шахтеров в 1,4 раза более высокую по сравнению с шахтами, где применялась отечественная и импортная техника, и более чем в 2 раза выше по сравнению с шахтами, где применялась только импортная техника при близкой себестоимости добычи угля.

Все это подтверждает необходимость создания и выпуска современной отечественной очистной техники.

В сложившихся условиях для обеспечения выпуска качественной продукции на основе качественной нормативной документации (национальных стандартов, сводов правил, технических регламентов) целесообразно на воссозданный Технический комитет по стандартизации "Горное дело" (ТК269) при ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского возложить дополнительно такие функции, как *разработка направлений развития угольной промышленности РФ, ведение научно-исследовательских, экспериментальных и задельных работ по горно-шахтному оборудованию* с обеспечением их финансирования из бюджета на уровне 50 млн руб. в год, учитывая, что подземная добыча угля в РФ относится к числу наиболее опасных для жизни и наиболее вредных для здоровья человека [5].

По нашему мнению, это позволит избежать трагедий, подобных случившимся на шахтах "Ульяновская" и "Юбилейная".

В СССР велась активная работа в международных организациях по стандартизации по горным проблемам, в том числе в ИСО – "International Organization for Standardization". В РФ эти работы, за редким исключением, не ведутся.

Для возобновления и ведения указанных выше работ целесообразно при подкомитетах, входящих в состав ТК269, создание постоянно действующих рабочих групп из специалистов НИИ, ПКИ, КБ фирм–поставщиков ГШО и основных угольных компаний.

Выводы

1. Одним из основных направлений повышения качества очистной техники на всех этапах является разработка "Технического регламента создания и эксплуатации очистного оборудования на шахтах РФ".

2. Разработке "Технического регламента" должна предшествовать разработка национальных стандартов

и сводов правил по очистному оборудованию как доказательной базы регламента.

3. До введения в действие "Технического регламента" требования национальных стандартов и сводов правил, связанных с безопасностью работ, должны быть обязательными для выполнения производителями и потребителями.

4. Одновременно с разработкой национальных стандартов и сводов правил необходимо выходить на европейский уровень для последующей гармонизации основных требований по очистному оборудованию.

5. Для обеспечения выпуска качественной нормативной документации целесообразно на воссозданный Технический комитет по стандартизации "Горное дело" (ТК269) при ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского возложить дополнительные функции по разработке направлений развития угольной промышленности, угольного машиностроения, угольных НИОКР с обеспечением финансирования на уровне 50 млн руб. в год, учитывая, что угольная промышленность в ближайшие годы должна превратиться в промышленность стратегического развития энергетики РФ и что в настоящее время подземная добыча угля в РФ относится к числу наиболее опасных для жизни и наиболее вредных для здоровья человека.

Список литературы

1. **Мохначук И.И., Титов С.В.** Качество очистного оборудования – основа безопасности и эффективности работы комплексно-механизированных забоев // Уголь. 2006. № 10. С. 7–10.
2. **Фукс Э., Бласгуде Х.Г.** Стандарты по защите от взрывов в горной промышленности – безопасность, экономичность, охрана окружающей среды // Глюкауф (русский перевод). 2006. № 1(2). С. 56–64.
3. **Титов С.В., Мышляев Б.К.** О критериях качества и конкурентоспособности очистного оборудования // Горные машины и автоматика. 2005. №1. С. 25–30.
4. **Алешин Б.С.** Стандартизация и бизнес неразделимы // Стандарты и качество. 2002. № 10. С. 1–6.
5. **Мохначук И.И.** Охрана труда и промышленная безопасность в угольной промышленности России // Уголь. 2003. № 8. С. 35–38.

УДК 622.022:681.3

Ю.Ф. Набатников, канд. техн. наук, доц., **Е.И. Сизова,** инж., МГГУ

Моделирование процесса сборки соединений машин на ЭВМ

Представлены научно-методологические основы моделирования процессов сборки соединений машин на ЭВМ, разработанные кафедрой ТМР Московского государственного горного университета в целях повышения качества сборки.

При проектировании и внедрении технологических процессов изготовления горно-шахтного оборудования очень важно как можно ближе к реальным условиям производства рассчитать основные технико-экономические показатели, технические параметры и уровень качества конечной продукции. Например, качество шарошечных долот существенно зависит от величины натягов в соединениях твердосплавных вставок с отверстиями и для его обеспечения необходима селективная сборка, позволяющая гарантировать требуемую величину натяга.

Оптимизация технологических параметров изготовления и сборки деталей, обеспечивающих требуемое качество соединений, является весьма сложной задачей, учитывая случайный процесс формирования их размеров.

Для решения подобных задач целесообразнее всего использовать метод математического моделирования как процессов изготовления элементов соединений, так и их сборки. Известно, что значения фактических размеров деталей при изготовлении подчиняются определенным закономерностям – законам распределения. В общем случае вид и характер распределений могут быть различными [1], так как они зависят от множества факторов. Если на первоначальном этапе исследования закон распределения не известен, то можно воспользоваться общемашиностроительными рекомендациями [2] и принимать: для единичного и мелкосерийного производства – равномерный закон распределения; для крупносерийного и массового производства – нормальный закон, а для серийного – закон Симпсона (треугольника). Количественно эти закономерности описываются функцией плотности вероятности $\varphi(x)$ и интегральной функцией распределения $F(x)$.

Для конкретных исследований закон распределения действительных размеров деталей соединения необходимо установить, обработав соответствующим образом статистику измерения размеров деталей в реальных производственных условиях.

Действительные законы распределения размеров деталей соединения, как правило, несимметричны. При изготовлении валов центр группирования размеров обычно смещается в сторону исправимого брака, т.е. в сторону больших валов, а при изготовлении отверстий – в сторону меньших значений. Поэтому при моделировании необходимо учесть коэффициент от-

носительной ассимметрии (α), который определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\overline{X} - \Delta}{IT/2},$$

где $\overline{X}$ – среднее значение размера; Δ – координата середины поля допуска; IT – допуск на размер.

При моделировании действительных размеров деталей используется датчик случайных чисел, равномерно распределенных в интервале от 0 до 1. При этом действительный размер i-й детали для различных законов распределения с учетом коэффициента относительной асимметрии определяется по формулам:

$$x_i = (x_{\max} - x_{\min})RND(1) + x_{\min} + \alpha\frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2}$$

– для равномерного распределения;

$$x_i = (x_{\max} - x_{\min})\frac{[RND(1) + RND(1)]}{2} + x_{\min} + \\ + \alpha\frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2}$$

– для закона Симпсона;

$$x_i = \left(\frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}\right) + \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{6}S + \\ + \alpha\frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2}$$

– для нормального закона,

где $x_{\min}$, $x_{\max}$ – соответственно нижнее и верхнее предельные отклонения номинального размера; $S = \left[\sum_{1}^{12} RND(1) - 6\right]$, $i = \vec{1}, n$, n – количество моделируемых размеров, RND – оператор для получения случайных чисел на ЭВМ.

Если задан реальный закон распределения размеров отверстия и вала, то перед моделированием в поле исходных данных программы вводится уравнение кумулятивной кривой, полученное в результате обработки статистических данных по результатам измерения размеров в реальных производственных условиях. Значения $x_{\max}$ и $x_{\min}$ являются соответственно верхним и нижним предельными отклонениями размера отверстия или вала, а их разность определяет допуск размера (ITA или ITB).

Задавшись законами распределения размеров отверстия и вала, а также значениями предельных отклонений номинальных размеров, можно моделировать на ЭВМ процесс их изготовления и сборки. В результате получим "действительные" размеры отверстий и валов после их "изготовления" в соответствии с заданными конструктором полями допусков. Далее моделируется процесс сборки соединений в зависимости от метода достижения точности, и определяются фактические значения зазоров или натягов. Так, при использовании метода полной взаимозаменяемости из соответствующих массивов случайным образом выбираются размеры деталей, рассчитываются и формируются массивы зазоров или натягов в соединениях.

При использовании классического метода групповой взаимозаменяемости поля допусков отверстия и вала делятся на соответствующие группы, определяются их размерные границы, осуществляется селективная сборка и рассчитывается объем незавершенного производства. При этом при увеличении групп сортировки зазоры (натяги) в группах стремятся к среднему зазору (натягу), значение которого определяется заданным полем допуска отверстия и вала. Для обеспечения, например, высокого качества соединения "вставка–отверстие" в шарошечном долоте необходимо иметь натяг как можно ближе к его верхнему допустимому значению. В связи с этим был разработан специальный алгоритм, позволяющий получать результаты в соответствии с заданными требованиями.

Для реализации рассмотренного метода на кафедре ТМР МГГУ разработан комплекс программ моделирования зазоров и натягов в соединениях деталей машин. Основными исходными данными для моделирования являются: количество изготовляемых изделий в партии; номинальный размер соединения; предельные отклонения отверстия (EIA; ESA); предельные отклонения вала (eib; esb); максимальный и минимальный допустимые зазоры или натяги в соединении; количество отверстий данного номинала в одном изделии ($n_о$); количество валов, поступающих на сборку ($n_в$); законы распределения размеров отверстия и вала (нормальный, Симпсона, равной вероятности или фактический закон, имеющий место в условиях конкретного производства). При необходимости учитываются коэффициенты относительной асимметрии. В зависимости от используемого метода достижения точности в соединениях на вход программ могут поступать и некоторые дополнительные исходные данные в соответствии с предложенным алгоритмом метода сборки. Исходные данные вводятся с экрана дисплея путем заполнения соответствующих шаблонов (рис. 1).

В результате моделирования пользователю предоставляются следующие основные расчетные данные: массив фактических размеров валов и массив фактических размеров отверстий; величина зазора или натяга в каждом соединении и его уровень качества; средний зазор или натяг; распределение сборочных единиц по разным группам, количество сортировочных групп. Результаты моделирования оформляются в виде таблиц и графиков.

Изменяя исходные данные, можно оперативно получать на ЭВМ не только величину зазоров или натягов в соединениях, но и уровни их качества, а также исследовать влияние изменения различных параметров на конечные результаты, что обеспечивает предпосылки для оптимизации конструктивных и технологических решений.

В качестве иллюстрации использования метода математического моделирования рассмотрим следующую задачу. Для цилиндрического соединения отвер-

стия с валом, собираемого методом селективного подбора, важно определить влияние количества размерных групп (n) на натяги в соединениях и объем незавершенного производства ($V_н$). Предельно допустимые натяги равны: N_{min} = 40 мкм, N_{max} = 100 мкм, а предельные отклонения отверстия – EIA = 0, ESA = = 60 мкм. Количество соединений в одном изделии – $n_о$ = 20 шт.; количество валов, поступающих на сборку – $n_в$ = 1000 шт.; количество изделий в партии – 50 шт. Действительные размеры отверстия и вала распределены по нормальным законам. Асимметрия отсутствует.

Задачу решаем методом математического моделирования на ЭВМ. Для получения искомой зависимости изменяем количество групп сортировки n от n = 2 до n = = 32. Для каждого значения n фиксируем объем незавершенного производства и средний натяг ($N_{ср}$), определенные программой. Искомые зависимости представлены на рис. 2.

Практическое значение зависимостей рис. 2 в том, что уже на начальном этапе процесса сборки по завершении селективного размерного группирования можно оценить конечные результаты производственного процесса, а именно объем незавершенного производства ($V_н$), а также качество сборки по среднему значению натяга ($N_{ср}$).

В заключение отметим, что с использованием предложенного метода математического моделирования и соответствующего программного обеспечения для ЭВМ могут быть определены оптимальные параметры технологического процесса сборки, в том числе для шарошечных долот типа "отверстие–твердосплавная вставка", повышающие уровень качества соединений.

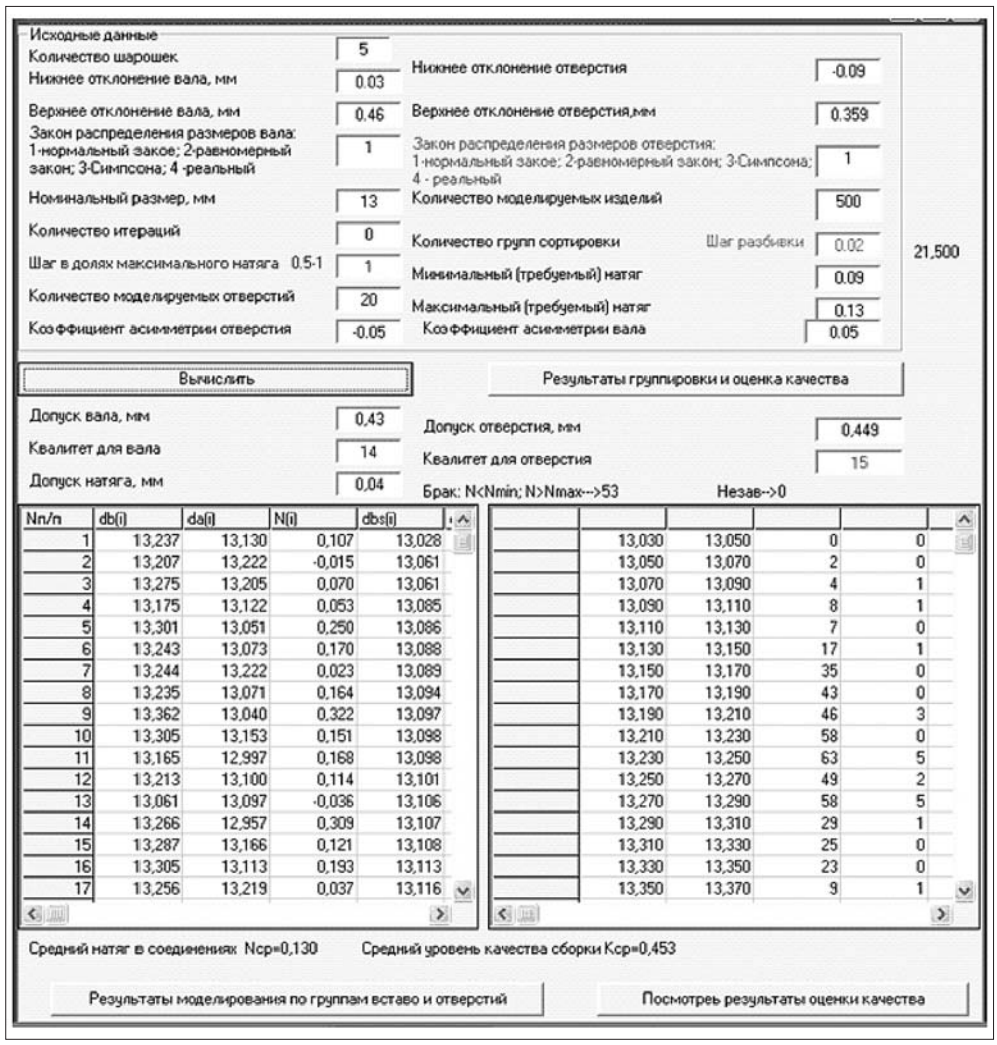


Рис. 1. Исходные данные для моделирования

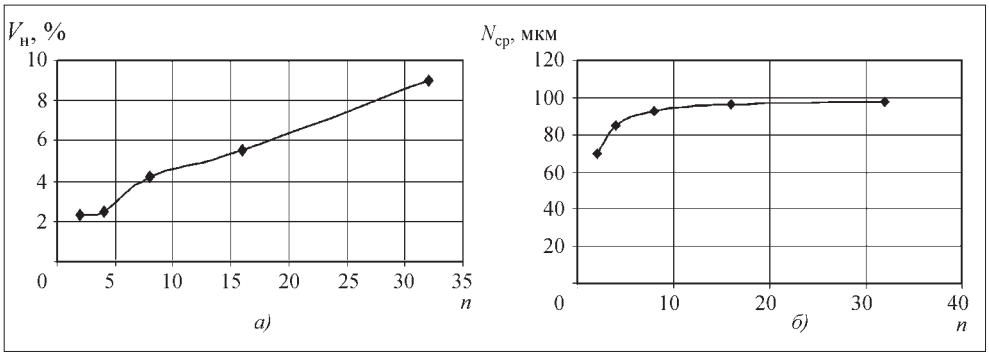


Рис. 2. Зависимости объема незавершенного производства $V_н$ (*а*) и среднего натяга в соединениях $N_{ср}$ (*б*) от количества размерных групп *n*

Список литературы

1. **Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И.** Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов. М.: Изд. МГГУ, 2003.

2. **Допуски** и посадки. Справочник. В 2-х ч. В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982.

УДК 622.022:242

Ю.Ф. Набатников, канд. техн. наук, доц., **Е.И. Сизова,** инж., МГГУ

Обеспечение качества соединений "твердосплавная вставка–отверстие" шарошечных буровых долот

Предложен метод повышения качества соединений шарошечных долот типа "отверстие–твердосплавная вставка", которое достигается за счет обеспечения натягов, близких по величине к максимально допустимому значению, что повышает однородность, прочность и ресурс соединения. Доказывается эффективность метода по сравнению с известными методами полной и групповой взаимозаменяемости.

Известно, что качество соединений "твердосплавная вставка–отверстие" шарошек во многом зависит от величины натягов, получаемых в результате сборки. При этом желательно реализовать натяг в соединении как можно ближе к максимально допустимому натягу по техническим условиям. Более того, натяги во всех соединениях должны иметь по возможности одинаковые (или близкие) значения, что обеспечит равноресурсность соединений.

Рассмотрим решение данной задачи на примере соединений твердосплавных вставок с отверстиями в корпусах шарошечных долот. По техническим условиям натяги в соединении должны находиться в пределах $N_{min} = 90...N_{max} = 130$ мкм.

Сборку таких соединений осуществляют с использованием метода групповой взаимозаменяемости. Известно, что при увеличении количества размерных групп (n) наибольшие натяги в соединениях уменьшаются, а наименьшие увеличиваются, стремясь к среднему значению [2]. Поэтому теоретически (при количестве групп сортировки $n \to \infty$) во всех соединениях можно получить натяги, равные только среднему значению натяга $N_{ср} = 0{,}5(N_{max} + N_{min})$. Но увеличение количества групп сортировки приводит к существенному усложнению процесса сборки и увеличению незавершенного производства, а в конечном счете – к увеличению стоимости инструмента.

Как уже отмечалось, более высокое качество соединений обеспечивается при натягах ближе к максимально допустимому его значению, что невозможно при использовании классического метода групповой взаимозаменяемости. В связи с этим на кафедре ТМР МГГУ разработан метод достижения точности в соединениях деталей машин, суть которого сводится к следующему [1].

В процессе сборки соединений шарошек участвуют значительные количества твердосплавных вставок ($n_в$) и отверстий ($n_о$), а их действительные размеры изменяются в пределах, границы которых задаются соответствующими полями допусков (*ITA* для отверстий и *ITB* для вставок). Поэтому с определенной вероятностью можно предположить, что во множестве вставок найдется такая, которая, будучи запрессованной в конкретное отверстие корпуса, обеспечит наибольший натяг в соединении, не выходящий за предельно допустимые значения (N_{max}, N_{min}).

На первом этапе измеряется диаметр определенного отверстия шарошки и фиксируется его действительное значение ($D_ф$). Так как сборка должна обеспечивать натяг, близкий по величине к максимально допустимому натягу (N'_{max}), то расчетный размер твердосплавной вставки

$$d_р = D_ф + N'_{max}. \quad (1)$$

Далее из множества вставок по значению ($d_р$) необходимо выбрать такую вставку с действительным размером ($d_ф$), для которой выполняется условие:

$$N_{min} \le d_ф - D_ф = N_ф \le N'_{max}. \quad (2)$$

Если из множества вставок не удается подобрать вставку с размером, удовлетворяющим данному условию, то отверстие можно считать неукомплектованным и следует зафиксировать наличие незавершенного производства по данному отверстию.

Для практической реализации данного метода необходимо, чтобы размеры твердосплавных вставок были отсортированы в порядке возрастания. Затем размеры вставок необходимо распределить по определенным размерным группам в соответствии с величиной размерного интервала (Δ). Количество размерных групп $n = \dfrac{ITB}{\Delta}$.

Задавшись нижним предельным отклонением размера вставки (eib), определим предельные значения размерного интервала (Δ), при котором гарантируется отсутствие брака в соединениях, т.е. выполняется неравенство (2). Предположим, что расчетный размер вставки ($d_р$) попал в n-ю размерную группу, имеющую левую границу $ЛГ = eib + (n - 1)\Delta$ и правую $ПГ = eib + n\Delta$. Будем считать, что из этой размерной группы случайно выбрана вставка с размером $d_ф = eib + n\Delta$. Допустим также, что расчетный размер вставки $d_р = eib + (n - 1)\Delta = D_ф + N'_{max}$. Тогда фактический размер отверстия $D_ф$, обеспечивающий требуемое качество,

должен быть равен: $D_ф = eib + (n-1)\Delta - N'_{max}$. Фактический натяг в таком соединении:

$$N_ф = d_ф - D_ф = N'_{max} + \Delta.$$

При этом величина натяга будет удовлетворять условиям:

$$N_ф = N'_{max} + \Delta \le N_{max} \text{ и } N_ф = N'_{max} + \Delta \ge N_{min}.$$

Складывая и вычитая эти два неравенства, получим соответственно: $N_{max} - N_{min} = ITN \ge 0$, что очевидно и $\Delta \le \frac{(N_{max} + N_{min})}{2} - N'_{max}$. При $N'_{max} = N_{max}$ $\Delta < 0$, что не имеет смысла, а при $N'_{max} = N_{min}$ $\Delta \le \le \frac{(N_{max} - N_{min})}{2} = \frac{ITN}{2}$.

Рассмотрим другой крайний случай. Пусть расчетный размер вставки ($d_р$) совпал с правой границей n-й размерной группы, т.е. $d_р = eib + n\Delta = ПГ$, а размер вставки, случайно выбранной из этой группы, совпал с левой границей, т.е. $d_ф = eib + (n-1)\Delta = ЛГ$. В этом случае получим: $N_ф = N'_{max} - \Delta \le N_{max}$ и $N_ф = N'_{max} - \Delta \ge N_{min}$.

Складывая эти неравенства и вычитая второе из первого, получим: $N_{max} - N_{min} = ITN \ge 0$ при сложении и $N'_{max} - \frac{N_{max} + N_{min}}{2} \ge \Delta$ при вычитании. При $N'_{max} = N_{max}$ $\Delta \le \left(\frac{N_{max} - N_{min}}{2}\right) = \frac{ITN}{2}$, а при $N'_{max} = N_{min}$ $\Delta \le -\left(\frac{N_{max} - N_{min}}{2}\right) = -\frac{ITN}{2}$, что не имеет смысла. Таким образом, величина размерного интервала (Δ) не должна превышать половину допуска натяга, т.е. $0 < \Delta \le \frac{ITN}{2}$.

Величина N'_{max} влияет на величину натягов ($N_ф$) и уровень качества (k_c) соединений и может быть определена из выражения:

$$N'_{max} = \delta N_{max} = \left(1 - \frac{\Delta}{N_{max}}\right) N_{max}, \quad (3)$$

а значения параметров соединений рассчитываются по формулам:

$N_{ф\,max} = \delta N_{max} + \Delta = N_{ср} + \Delta$ – максимальный групповой натяг; (4)

$N_{ф\,min} = \delta N_{max} - \Delta = N_{ср} - \Delta$ – минимальный групповой натяг; (5)

$N_{ф\,ср} = \left(\frac{N_{ф\,max} + N_{ф\,min}}{2}\right) = \delta N_{max}$ – средний групповой натяг; (6)

$ITN_ф = N_{ф\,max} - N_{ф\,min} = 2\Delta$ – допуск группового натяга; (7)

$\Delta = \frac{ITB}{n} \le \left(\frac{N_{max} - N_{min}}{2}\right) = \frac{ITN}{2}$ – величина размерного интервала для вала. (8)

Известно, что технологически более трудно обеспечить точность отверстия, чем вала. Поэтому за расчетную базу при проектировании технологических процессов следует принять точность отверстия. Из логики рассматриваемого метода следует, что при заданных предельных отклонениях размеров отверстия (EIA и ESA), предельные отклонения размеров вставки (eib и esb), обеспечивающие требуемое качество соединений, должны определяться по формулам:

$$eib \le EIA + \delta N_{max}; \; esb \ge ESA + \delta N_{max}. \quad (9)$$

Уровень качества соединения с натягом при этом определяется по формуле [1]:

$$k_i = 1 - \frac{(N_{max} - N_i)^2}{(ITN + \omega)^2}, \quad (10)$$

где ITN – допуск натяга ($ITN = N_{max} - N_{min}$); N_i – действительное значение натяга в i-м соединении; N_{min} – минимальное (по чертежу) значение натяга; N_{max} – максимальное (по чертежу) значение натяга в i-м соединении; ω – погрешность измерения.

В частном случае, при $ITA = ITB$; $n = 1$; $ITA + ITB = ITN$ и $\Delta = \frac{ITN}{2}$ в процессе сборки реализуется метод полной взаимозаменяемости, а при $n > 1$ и $ITA + ITB > ITN$ – метод групповой взаимозаменяемости. Таким образом, методы полной и групповой взаимозаменяемости являются частными случаями рассматриваемого метода. Отметим, что разработанный метод может быть использован для повышения качества соединений с зазором.

Для оценки возможностей метода рассмотрим численный пример. В цилиндрическом соединении отверстия с валом заданы предельные натяги $N_{min} = 30$ мкм и $N_{max} = 80$ мкм, а также предельные отклонения размера отверстия $EIA = 0$ и $ESA = 180$ мкм. Допуск отверстия ($ITA = 180$ мкм) назначен исходя из экономической и технологической целесообразности. Изделие содержит 12 соединений данного вида. Необходимо разработать предложения по организации технологического процесса изготовления и сборки, обеспечивающего во всех соединениях натяги больше среднего значения ($N_ф > 55$ мкм), и оценить уровень качества соединения.

Задача решается в следующем порядке.

1. Определяем минимальное количество размерных групп (n) для селективной сборки: $n \ge 2ITA/ITN = 2 \cdot 180/(80 - 30) \ge 8$.

2. Для различных значений n находим средний ($N_{ф\,ср}$), минимальный ($N_{ф\,min}$), максимальный ($N_{ф\,max}$) групповые натяги, допуск натяга ($ITN_ф$) и величину размерного интервала (Δ):

$N_{ф\,max} = N_{max} = 80$ мкм – максимальный групповой натяг;

$N_{ф\,min} = N_{ф\,ср} - \Delta$ – минимальный групповой натяг;

$N_{ф\,ср} = N_{max} - ITA/n$ – средний групповой натяг;
$ITN_ф = N_{ф\,max} - N_{ф\,min}$ – допуск натяга;
$\Delta = ITA/n$ – величина размерного интервала.
Результаты расчетов сводим в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Значения				
n	8	9	12	18	36
$N_{ф\,ср}$	57,5	60	65	70	75
$N_{ф\,min}$	35	40	50	60	70
$N_{ф\,max}$	80	80	80	80	80
Δ	22,5	20	15	10	5

3. По формуле (10) для двух методов достижения точности определяем уровень качества соединения ($k_{ср}$) при различных n и натяге, равном $N_{ф\,ср}$. Результаты расчетов сводим в табл. 2.

Таблица 2

Метод достижения точности	Уровень качества соединения $K_с = f(N_{ф\,ср}, n)$				
	Количество групп сортировки n				
	8	9	12	18	36
Метод групповой взаимозаменяемости	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Предлагаемый метод	0,734	0,831	0,893	0,953	0,988

4. Строим зависимости: $N_{ф\,ср} = f(n)$; $N_{ф\,min} = f(n)$; $N_{ф\,max} = N_{max}$; $k_{ср} = f(n)$.

Из данных зависимостей (рис. 1) следует, что заданное условие выполняется для $n = 15$. При $n = 15$ значения параметров соединений будут равны: $N_{ф\,min} = 56$ мкм; $N_{ф\,max} = 80$ мкм; $N_{ф\,ср} = 68$ мкм; $ITN_ф = 24$ мкм; $\Delta = 12$ мкм. Предельные отклонения для размеров вала, обеспечивающие требуемое качество, равны: $eib = EIA + N_{ф\,ср} = 0 + 68 = 68$ мкм; $esb = ESA + N_{ф\,ср} = 180 + 68 = 268$ мкм.

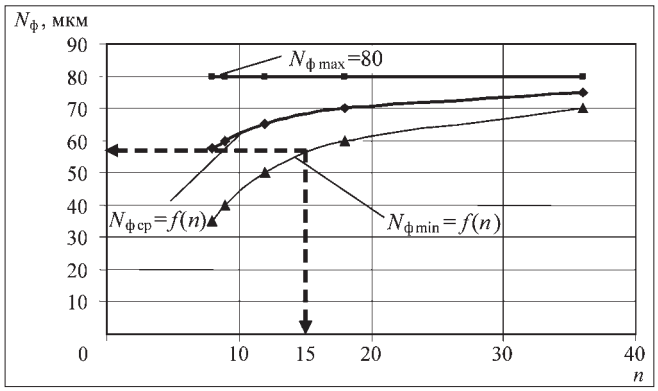


Рис. 1. Зависимость групповых натягов в соединениях ($N_ф$) от количества размерных групп (n) при предлагаемом методе селективной сборки

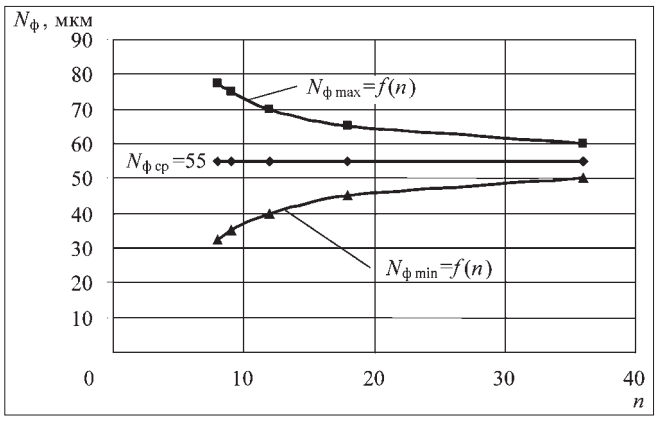


Рис. 2. Зависимость групповых натягов в соединениях ($N_ф$) от количества размерных групп (n) при методе групповой взаимозаменяемости

При использовании классического метода групповой взаимозаменяемости при аналогичных условиях получаем следующие значения групповых натягов (рис. 2).

Из зависимостей (см. рис. 1) следует, что с увеличением количества размерных групп натяг приближается к максимально допустимому значению, обеспечивая повышение уровня качества соединения (рис. 3). При использовании метода групповой взаимозаменяемости натяг стремится к среднему значению (см. рис. 2), а уровень качества соединения не изменяется (см. рис. 3). Из этого следует эффективность предлагаемого метода достижения точности в соединениях.

Применительно к соединениям шарошечных долот технологический процесс сборки может быть организован следующим образом:

1. Задаются средним натягом ($N_{ф\,ср}$), который необходимо обеспечить в соединениях твердосплавных вставок с отверстиями в корпусе шарошки. Чем ближе величина $N_{ф\,ср}$ к N_{max}, тем больше натяги в соединениях, тем меньше их разновеликость и выше уровень качества. Значение $N_{ф\,ср}$ вводится в память измерительно-распределительного механизма.

2. По величине $N_{ф\,ср}$ и полю допуска отверстия (вставки) определяют величину размерного интервала вставок (Δ), количество размерных групп (n) и их

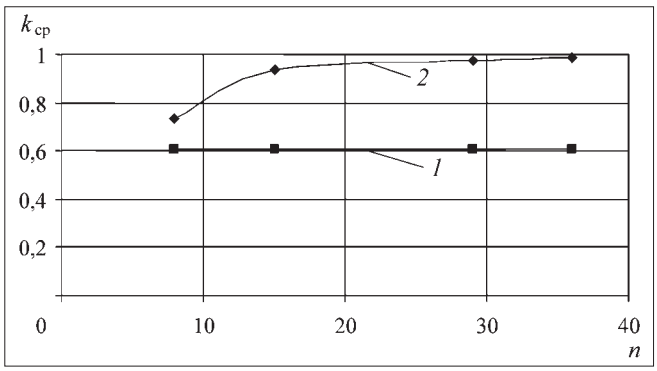


Рис. 3. Зависимость уровня качества соединений ($k_{ср}$) от количества размерных групп (n):
1 – метод групповой заменяемости; *2* – предлагаемый метод

границы. Проводят сортировку вставок в зависимости от действительных размеров и помещают их в соответствующие отделения накопителя.

3. Перед сборкой измерительно-распределительный механизм определяет отклонение размера конкретного отверстия от номинального значения, складывает его с $N_{ф\,ср}$ и выдает команду распределителю на выдачу из соответствующего отделения накопителя вставки.

4. Выбранная вставка запрессовывается, и процесс повторяется (с п. 3) для других отверстий корпуса шарошки.

Учитывая значительный объем производства шарошечных долот в России, создание и использование измерительно-распределительного механизма с рассмотренными функциями является, на наш взгляд, весьма перспективным направлением совершенствования технологии их сборки.

Список литературы

1. **Радкевич Я.М.** Оценка качества изготовления деталей // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 1. С. 26–29.

2. **Допуски** и посадки. Справочник. В 2-х ч. В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982.

УДК 622.002.5:658.526

К.И. Шахова, канд. техн. наук, доц., МГГУ

Оценка качества сталей горного оборудования по составу и механическим свойствам

Предложена методология количественной оценки качества материалов по единичным и обобщенным показателям, характеризующим состав и механические свойства. Приведены примеры реализации методологии при оценке качества сталей, наиболее широко применяемых в горном машиностроении.

Качество машин во многом определяется материалом, из которого изготовлены детали машины.

Состав материала является основной характеристикой, определяющей его технологические и эксплуатационные свойства.

Регламентация состава и свойств материалов осуществляется соответствующими ГОСТами и ТУ.

Анализ действующих стандартов на металлургическую продукцию показывает, что все они оговаривают содержание как основных элементов, входящих в состав сплава, так и вредных примесей.

Качество сплавов можно оценивать как по стандартам РФ, так и по зарубежным стандартам.

Под качеством материала по составу компонентов следует понимать совокупность его компонентов, обуславливающих получение требуемых свойств материала в изделии.

Под уровнем качества будем понимать степень соответствия компонентного состава данного материала базовому $b_{баз}$, обеспечивающему наиболее высокий уровень полной совокупности свойств, определяющих качество изготовленного из материала изделия.

Предлагается для сравнения в качестве эталонного образца материала использовать условный материал, состав которого соответствует среднему содержанию всех компонентов, за исключением вредных примесей, содержание которых принимается минимальным.

Таким образом,

$$b_{баз} = \frac{b_{max} + b_{min}}{2}, \qquad (1)$$

где b_{max}, b_{min} – максимальное и минимальное содержание компонента по регламентирующему документу.

Как правило, материал базового состава является фактическим только в немногочисленных частных случаях.

Уровень качества q_{ij} по единичным показателям оценивается как отношение базового содержания каждого компонента к его фактическому содержанию

$$q_{ij} = \frac{b_{базj}}{b_{базj} + \Delta}, \qquad (2)$$

где $\Delta = |b_{ij} - b_{базj}|$.

Величина q_{ij} всегда безразмерная и меньше единицы, она может быть равна единице только в случае $\Delta = 0$, когда содержание компонента соответствует среднему по регламентирующему документу.

В соответствии с методологией, приведенной в работе [1], по определенным уровням качества по единичным показателям (q_{ij}) ведется расчет с использованием коэффициента участия y_{ij} комплексного уровня качества по составу:

$$K_i = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_{ij}q_{ij})^2}, \qquad (3)$$

Таблица 1

Уровни качества улучшаемых марок стали

Марка стали	q_C	q_{Mn}	q_{Si}	q_{Cr}	q_{Ni}	K_i
35	0,835	0,746	0,537	–	–	0,723
40	0, 837	0,746	0,537	–	–	0,728
45	0,838	0,746	0,537	–	–	0,729
40Х	0,833	0,746	0,537	0,76	–	0,735
40ХН	0,833	0,746	0,537	0, 570	0,76	0,737
40ХНМА	0,833	0,746	0,537	0,570	0,78	0,743

где коэффициент y_{ij} характеризует влияние каждого единичного показателя на значение комплексного показателя (см. нижеприведенные формулы (4–7)); n – число единичных показателей, для сталей $n = 5$ в соответствии с количеством основных химических элементов (C, Mn, Si, Cr, Ni), определяющих состав сталей.

Конкретные значения в составе стали единичных показателей (процентного содержания), необходимых для расчетов уровней качества по единичным показателям (q_C, q_{Mn}, q_{Si}, q_{Cr}, q_{Ni}) и комплексного показателя, приняты в соответствии с действующими российскими стандартами на стали. Однако необходимо иметь в виду, что при реальных поставках стали по причине технологического разброса параметров плавки, проката и термообработки эти значения, а соответственно и прочностные характеристики сталей, могут существенно отличаться.

Выбор совокупности сталей для расчета приоритетно ориентирован на марки, широко используемые для горного оборудования, технические характеристики которых приведены в работе [2].

Результаты расчета приведены в табл. 1, 2.

Зависимость комплексного уровня качества от уровня качества по единичным показателям может быть аппроксимирована прямой:

$$K_i = c + q_{ij},$$

где показатель c характеризует положение кривой в координатах q–K.

Зависимости для некоторых компонентов, входящих в состав стали, приведены ниже:

$$K_C = 0{,}377 + 0{,}5q_C; \quad (4)$$

$$K_{Mn} = 0{,}346 + 0{,}5q_{Mn}; \quad (5)$$

$$K_{Cr} = 0{,}634 + 0{,}125q_{Cr}; \quad (6)$$

$$K_{Ni} = 0{,}506 + q_{Ni}. \quad (7)$$

Влияние содержания вредных примесей, определяемого технологией переплава, было рассчитано для стали 12ХН3МА с использованием данных по ней, приведенных в работе [3].

В зависимости от способа переплава изменялось количество вредных примесей, таких как S, P-газы. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, самый высокий уровень качества по составу (соответственно наименьшее содержание вредных примесей) имеет сталь электронно-лучевого переплава. Близкие по содержанию примесей стали вакуумно-дугового и электрошлакового переплава имеют практически совпадающие значения комплексного показателя качества.

Таблица 2

Уровни качества цементуемых марок стали

Марка стали	q_C	q_{Mn}	q_{Si}	q_{Cr}	q_{Ni}	$q_{Mo,Ti,W}$	K_i
18ХГТ	0,727	0,760	0,574	0,793	–	0,660	0,680
30ХГТ	0,727	0,760	0,574	0,793	–	0,600	0,680
20ХГР	0,727	0,739	0,574	0,752	–	0,538	0,682
20ХН3А	0,759	0,529	0,574	0,714	0,776	–	0,704
25Х2ГНТА	0,780	0,818	0,538	0,789	0,733	0,600	0,715
18Х2Н4ВА	0,739	0,574	0,574	0,833	0,913	0,714	0,735

Инструментальные испытания образцов стали на усталость и практика ремонтов горного оборудования убедительно доказали, что способ выплавки стали существенно влияет на появление и распространение трещин. Сталь, имеющая высокий уровень качества (комплексный показатель качества), обладает высокой сопротивляемостью появлению трещин, следовательно, и детали из такой стали имеют высокие показатели надежности.

Как уже было отмечено выше, по причине разброса параметров технологических режимов изготовления и термообработки реально поставляемые и используемые в конструкциях стали одной марки имеют различный состав и, следовательно, отличающиеся прочностные характеристики.

Таблица 3

Уровень качества стали 12ХН3МА различных способов выплавки

Способ выплавки (переплав)	K
Электродуговой	0,870
Электрошлаковый	0,885
Вакуумно-дуговой	0,887
Электронно-лучевой	0,945

В целях анализа этой ситуации автором были построены зависимости комплексного показателя качества по составу (K_c) и механических характеристик, характеризующих прочностные свойства ($\sigma_т$ – предел текучести, $\sigma_в$ – предел прочности, δ – относительное удлинение, ψ – относительное сжатие) для стали 25Г2 по совокупности реальных поставок (рис. 1) (фактическое положение каждой поставки по составу и свойствам отмечено на кривых). Такие зависимости могут быть получены для каждой марки стали.

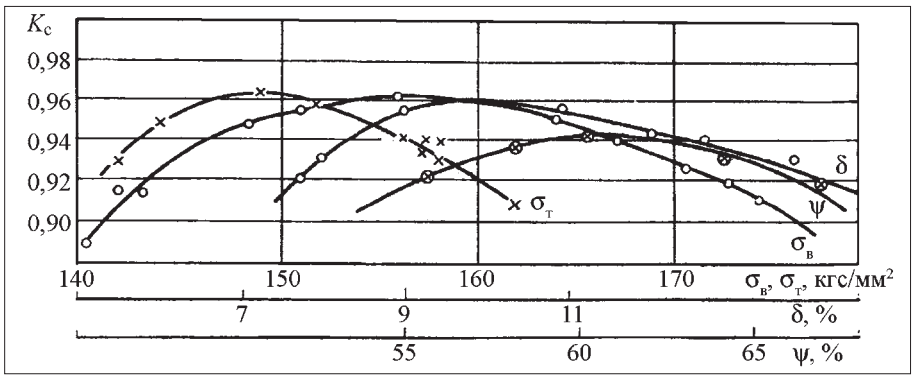


Рис. 1. Изменение комплексного показателя уровня качества по составу при изменении механических свойств

Максимум кривой (наибольшее значение комплексного показателя качества) соответствует оптимальному составу компонентов стали. Режимы термообработки (падающие ветви кривых) улучшают прочностные характеристики сталей, одновременно снижая величину комплексного показателя качества. Поэтому оценка качества по комплексному показателю K_c является недостаточной, и после оценки уровня качества по составу необходимо проводить методологически аналогичную оценку качества по механическим характеристикам.

Практическая значимость кривых рис. 1 в том, что, зная требования конструктора по прочностным характеристикам ($\sigma_т$, $\sigma_в$, δ, ψ), можно по ним определить значения показателя K_c и, используя его, установить требуемый состав стали по химическим компонентам.

Выбор критерия, по которому оценивается прочность, является одной из наиболее сложных задач. Существующие критерии хорошо действуют в области хрупкого разрушения, но с развитием пластической деформации они дают существенные погрешности и использование их в качестве критерия оценки прочностных характеристик конструкционных материалов не всегда возможно.

В качестве критерия оценки можно выбрать удельную работу или мощность разрушения.

Анализ данных по удельной работе разрушения, часто определяемой по ударной вязкости ($a_р$), показывает, что эта работа, определенная различными методами, имеет различные по абсолютной величине значения.

Ударная вязкость, которая легко и с достаточной точностью измеряется, собственно сама может быть использована в качестве критерия прочности. Она является интегральной характеристикой, определяющей работу зарождения и распространения трещин.

Стали имеют различные дефекты металлургического, технологического или сварочного характера. Но наиболее важным является способность металла сопротивляться распространению трещины. Существует ряд методик разделения ударной вязкости [4] на работу зарождения и распространения трещины.

Приняв за функциональный критерий, предложенный в работе [1], ударную вязкость, можно проводить оценку качества материала по механическим свойствам. При этом в качестве базовых использовать такие показатели, которые должны [1]:

- иметь возможность определения их стандартными методами;
- исключать экспертные способы назначения показателей;
- определяться с достаточной точностью;
- совершенствоваться по мере разработки новых материалов и способов упрочнения.

В качестве таких показателей можно использовать механические свойства, определяемые как в исходном состоянии, так и после соответствующих методов упрочнения.

Используя значения механических свойств материалов и ударную вязкость в качестве функционального критерия, можно рассчитать удельные значения:

$$X_{ij} = \frac{P_{ij}}{KCU},$$

где KCU – значение ударной вязкости при U-образном надрезе образца.

Имея удельные значения величин X_{ij}, можно составить матрицу:

$$\{X_{ij}\} = \begin{Vmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & .. & . & . & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & .. & . & . & X_{2n} \\ . & . & . & .. & . & . & . \\ X_{i1} & X_{i2} & X_{i3} & .. & . & . & X_{in} \end{Vmatrix}.$$

Строка матрицы относится к одной марке материала, имеющей определенный уровень механических свойств после соответствующей обработки; столбец – удельные значения каждого показателя, характеризующего прочностные свойства стали.

Используя матрицу, по минимальным значениям удельных величин устанавливаем базовое значение:

$$\{X_{баз}\} = \| X^{\sigma_в}_{баз1}, X^{\sigma_т}_{баз2}, X^{\delta}_{баз3}, X^{\psi}_{баз4}, X^{\sigma^{-1}}_{баз5} \|.$$

Таблица 4

Уровни качества стали по механическим свойствам

Улучшаемые стали		Цементуемые стали		Другие стали	
Марка стали	K_i	Марка стали	K_i	Марка стали	K_i
40	0,701	20Х	0,664	25Г2	0,757
45	0,703	18ХГТ	0,749	26Г2С	0,875
40Х	0,859	30ХГТ	0,753	30ХМА	0,955
40ХН	0,863	20Х2Н4А	0,952	25ХГНМА	0,989
40ХНМ	0,901	20ХГНР	0,796		
40ХНМА	0,998	25Х2ГНТА	0,817		

Совокупность значений $\{X_{баз}\}$ используется в качестве динамического фиктивного материала, обладающего наилучшим комплексом механических свойств, достигнутых в настоящее время.

Используя формулу (3), был проведен расчет уровней качества по механическим свойствам для улучшаемых и цементуемых марок стали (табл. 4).

Для сталей, используемых при изготовлении тяговых цепей горных машин, проведена оценка уровней качества для различных марок стали (табл. 5).

Наивысший уровень качества $K = 0{,}989$ имеет термически обработанная сталь 25ХГНА при $\sigma_в = 1100$ МПа, $\sigma_т = 1000$ МПа, $\delta = 12$ %, $\psi = 60$ %.

Для назначения режима термообработки (температуры отпуска), обеспечивающего получение наивысшего уровня качества по механическим свойствам, была выбрана в качестве модельной сталь 26Г2, хотя эта же методика может быть распространена на любую из используемых марок стали. Уровень качества по химическому составу для этой стали $K_{х.с} = 0{,}937$, механическим свойствам $K_{м.с} = 0{,}892$.

Таблица 5

Уровни качества сталей по механическим свойствам

Марка стали	Уровни качества				
	$q_{\sigma_в}$	$q_{\sigma_т}$	q_δ	q_ψ	K_i
25Г2	0,333	0,336	0,501	0,407	0,398
26Г2С	0,751	0,760	0,752	0,820	0,737
30ХМА*	0,873	0,950	0,752	0,910	0,875
30ХМА	0,352	0,333	0,625	0,507	0,464
3ХМА	0,935	0,360	0,503	0,455	0,422
25ХГНТА	0,393	1,0	0,917	0,965	0,955
25ХГНТА	0,611	0,400	0,602	0,546	0,490
25ХГНТА	0,826	0,580	0,800	0,729	0,817
25ХГНА	1,0	0,961	1,0	1	0,989
25ХГНА	0,698	0,640	0,83	0,952	0,791

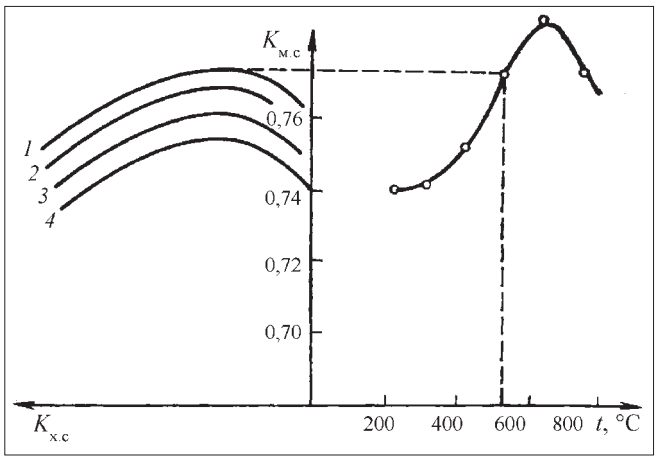


Рис. 2. Номограмма для назначения температур отпуска

Для определения температуры отпуска, обеспечивающего самый высокий уровень качества по механическим свойствам, необходимо иметь номограмму (рис. 2), построенную по результатам входного контроля состава. При этом рассчитываются уровни качества по отдельным элементам и обобщенный уровень качества.

Проведенные механические испытания по влиянию температуры отпуска позволяют рассчитать обобщенный уровень качества по механическим свойствам в зависимости от температуры отпуска. Как видно из приведенных на рис. 2 данных, связи $K_{м.с}$–$t_{отп}$, и $K_{х.с}$–$K_{м.с}$ имеют экстремальный характер. Кривые *1–4* соответствуют уровню качества по составу компонентов для различных поставок этой стали.

Имея уровень качества по составу, назначают температуру отпуска, обеспечивающего максимально возможный уровень качества по механическим свойствам и наивысшие эксплуатационные показатели.

Использование определенных режимов отпуска дает возможность сократить разброс в механических свойствах деталей и повысить качество детали.

Предлагаемая методология оценки качества стали по составу и механическим характеристикам позволяет машиностроителям осуществлять обоснованный выбор своих конструкционных материалов.

Список литературы

1. **Солод Г.И.** Основы квалиметрии М.: МГИ, 1991. 83 с.
2. **Конструкционные** материалы / под ред. А.Т. Туманова М.: Советская энциклопедия, 1969. 369 с.
3. **Журков А.В.** Влияние методов выплавки на качество стали 12ХН3А. М. Металлургия, 1976. Т. 1. С. 15–17.
4. **Георгиев М.Н., Попова Л.В.** Сравнение методов разделения ударной вязкости // Заводская лаборатория. 1960. № 5. С. 605–610.

УДК 621.879

П.Ю. Голощапов, гл. механик, **А.П. Данилов,** гл. специалист, канд. техн. наук, ООО "Компания "Востсибуголь"

Существующая система организации ремонтов и направления ее совершенствования

Проведен анализ существующей системы организации ремонтов и ремонтообеспеченности угольных разрезов компании. Изложены предложения по совершенствованию организации ремонтов в направлении расширения сервисного обслуживания и улучшения качества ремонтов.

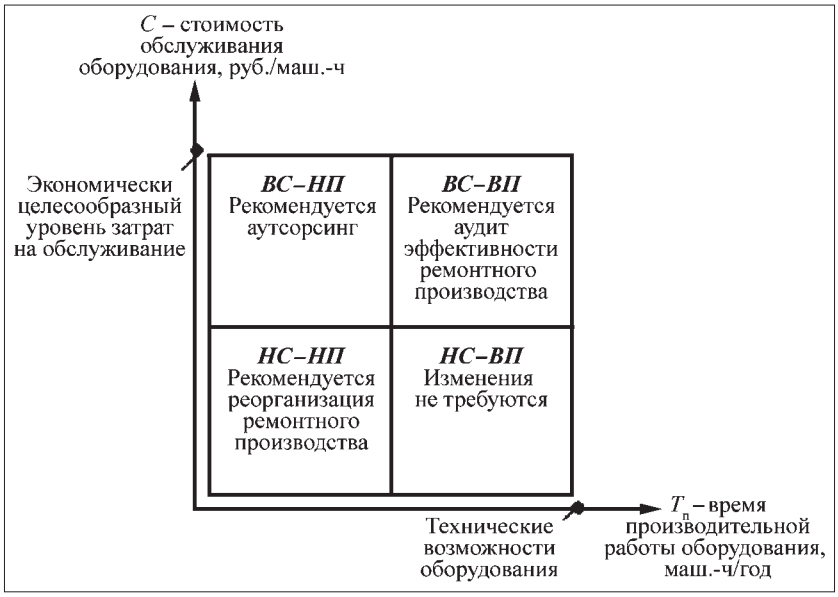
Переориентация производства компании "Востсибуголь" на коммерческую деятельность в условиях конкуренции и возрастания ценности ресурсов для собственников предприятий требует принципиально нового подхода к обеспечению надежности, эффективности и безопасности эксплуатации горно-транспортного оборудования (ГТО). Поддержание экономически целесообразного уровня работоспособности оборудования становится фактором, в значительной степени определяющим конкурентоспособность предприятий. Из шести угледобывающих предприятий компании самая низкая себестоимость на Восточном и Черемховском разрезах.

В компании не происходит плановой замены экскаваторного парка, возрастает его старение и износ. Это приводит к тому, что на разрезах происходит снижение надежности горно-транспортного оборудования. В связи с этим требуется принципиально новый подход к совершенствованию системы планово-предупредительных ремонтов на основе организации производства ремонтных работ по фактическому состоянию оборудования с учетом наработки и повышения качества ремонтов с использованием инструментального технического диагностирования.

К сожалению, подготовленное ОАО "НТЦ-НИИОГР" для компании "Методическое положение о планово-предупредительных ремонтах основных средств для ОАО "СУЭК" (открытые горные работы) практически ничем не отличается от "Положения о ППР оборудования открытых горных работ на предприятиях угольной промышленности СССР" и, кроме нового термина "диагностика", не вносит требуемой реновации в ремонтный процесс, в частности для конкретной организации производства ремонтных работ по фактическому состоянию оборудования.

Достаточно научно обоснованно в предложенной ОАО "НТЦ-НИИОГР" методологии ремонтного процесса изложены критерии эффективности системы технического сервиса горно-транспортного оборудования, представленные на рисунке.

Существующая система технического обслуживания и ремонта горно-транспортного оборудования компании характеризуется собственной ре-



Критерии эффективности системы технического сервиса горно-транспортного оборудования:
НС–ВП – низкая стоимость обслуживания и высокая производительность; *НС–НП* – низкая стоимость обслуживания и низкая производительность; *ВС–ВП* – высокая стоимость обслуживания и высокая производительность; *ВС–НП* – высокая стоимость обслуживания и низкая производительность

Использование календарного фонда рабочего времени экскаваторного парка предприятиями ООО "Компания "Востсибуголь" в 2006 г.

Разрез	Общий фонд рабочего времени, ч		Плановые ремонты, ч		Аварийные простои	% простоя в ремонтах от общего ФРВ	
	План	Факт	План	Факт		План	Факт
Черемховский	144144	136720	24432	24108	1237	16,9	18,5
Мугунский	90124	105204	23688	19992	240	26,2	19,2
Азейский	37708	40112	10416	8396	127	27,6	21,2
Тугнуйский	100488	98637	24312	20304	7069	24,2	27,7
Восточный	18640	33008	5064	7437	1805	27,1	28,0
Харанорский	53796	46098	3984	5168	3439	7,4	18,6

монтной базой шести угледобывающих предприятий и трех механических заводов. Одновременно по заказам участвует в монтажном и ремонтном процессе специализированное ОАО "Востсибэнергоуголь".

В таблице показаны результаты использования календарного фонда рабочего времени экскаваторным парком компании.

Из таблицы видно, что за 2006 г. наиболее предпочтительные относительно плановых показатели у Мугунского и Азейского разрезов. По Мугунскому разрезу низкий уровень аварийных простоев объясняется двумя причинами – это относительно новое оборудование и низкий уровень производственной напряженности (при возможной высокой производительности экскаваторного парка снижены объемы по добыче угля), наличие ремонтной базы, находящейся на балансе Азейского разреза. Все это в равной степени относится и к Азейскому разрезу, которому на экскаваторном парке с истекшим сроком эксплуатации также уменьшены объемы горных работ.

Наилучшие условия по ремонтным возможностям на Черемховском разрезе, который имеет собственные ремонтно-механические мастерские – РМЦ, территориальную близость Черемховского и Свирского ремонтных заводов, а также монтажно-наладочного участка ОАО "Востсибэнергоуголь", которые своим участием поддерживают ремонтообеспеченность разреза.

В неблагоприятных условиях по ремонтообеспеченности находится восточное крыло компании, где размещены Восточный и Тугнуйский разрезы. Из таблицы видно, что экскаваторный парк этих предприятий достаточно длительно простоял в аварийных ремонтах. Харанорский разрез, занизив плановую ремонтную программу, компенсировал ее за счет существенного увеличения аварийных простоев по устранению отказов и неполадок, хотя данное предприятие имеет собственную солидную ремонтную базу и относительную близость Черновских ЦЭММ.

Восточный разрез имеет трудности в реализации своей ремонтной программы из-за наличия старой экскаваторной техники, работающей на высокоабразивных грунтах, а также отсутствия высокооснащенной собственной ремонтной базы.

В самых сложных условиях по ремонтообеспеченности находится Тугнуйский разрез, который равно удален как от Черемховского ремонтного завода, так и от Черновских ЦЭММ. На разрезе снижена оперативность восстановления узлов и механизмов, электрических машин, низкая квалификация ремонтного персонала, слабая ремонтная база. Все эти объективные и субъективные причины повлияли на тот факт, что разрез в 2006 г. простоял почти одну треть календарного фонда рабочего времени в плановых и предупредительных ремонтах.

На основе этого краткого анализа, опираясь на критерии оценки эффективности системы технического сервиса горно-транспортного оборудования по НИИОГРу, наши предприятия можно отнести к следующим группам: Черемховский разрез – *НС–ВП*; Мугунский разрез – *НС–ВП*; Азейский разрез – *НС–ВП*; Харанорский разрез – *НС–ВП*; Восточный разрез – *НС–НП*; Тугнуйский разрез – *ВС–НП*.

Основываясь на этих оценках, можно констатировать: Черемховский разрез – изменения ремонтного производства на данном этапе не требует; Мугунский разрез – необходима реорганизация ремонтного производства; Азейский разрез – необходима реорганизация ремонтного производства; Харанорский разрез – изменения ремонтного производства на данном этапе не требует; Восточный разрез – необходима реорганизация ремонтного производства; Тугнуйский разрез – рекомендуется проведение аутсорсинга.

Для компании большую проблему составляет удаленность угледобывающих предприятий от основной ремонтной базы, расположенной в г. Черемхово. Удаленность от нее в сторону запада – 390 км, востока – 1650 км. Азейский и Мюгунский разрезы имеют свои проблемы в части ремонта электрических машин, восстановления барабанов лебедок главных приводов, изготовления вантовых навесок.

Основные проблемы ремонтного производства угледобывающих предприятий, выявленные ОАО "НТЦ-НИИОГР" в период 1995–2006 гг. для большинства российских угледобывающих предприятий, имеют место и в нашей компании:

- невыполнение технологических регламентов технического обслуживания и ремонта горно-транспортного оборудования;
- планирование ремонтов, исходя из фактического технического состояния, а не с учетом наработки горно-транспортного оборудования;

• неиспользование технической диагностики в период эксплуатации при определении остаточного технического ресурса горных машин (основой инструментальной диагностики по-прежнему остаются штангенциркуль и зубомер);

• низкий уровень организации ремонта – 1/3 рабочего времени оперативного персонала составляет повторная и непроизводительная работа;

• слабая оснащенность рабочих мест оперативного ремонтного персонала механизированным инструментом и приспособлениями, в результате доля ручного труда составляет 75...80 %;

• неэффективная система нормирования материальных и трудовых ресурсов для ремонта (планирование осуществляется не по наработке горно-транспортного оборудования, а по наличию финансовых средств, выделенных для проведения ремонтов, планировать нормативы в пределах одной компании сложно, так как это зависит от условий и сроков эксплуатации оборудования, подготовки персонала, квалификации менеджмента и т.д.);

• низкое качество исполнения функций службы снабжения компании (ликвидация централизованного склада МТС и сервисного накопления запчастей, передача основных снабженческих функций в головной офис, отсутствие качественного входного контроля на поступающие материалы);

• отсутствие необходимой подготовки оперативного персонала для проведения ремонтов (отсутствует подготовка слесарей по ремонту ГТО, влияние демографических факторов);

• мотивация персонала определяется объемом выполненных ремонтных работ, а не обеспечением уровня работоспособности ГТО после ремонта;

• принципы формирования бюджета ремонтной службы – "лучшее достижение отчетного периода – плановая норма на следующий год";

• у обслуживающего персонала не сформировано представление о системе технического сервиса горных машин;

• разобщенность производственной (горное производство) и технической (ремонтная служба) эксплуатации ГТО;

• отсутствие методики перехода ремонтной службы к эффективным формам взаимодействия структурных подразделений предприятия;

• наличие существенных различий в оценках качества управления горным бизнесом с точки зрения реального собственника и персонала предприятия.

Нельзя не остановиться на диагностике состояния экскаваторов, проработавших нормативный срок службы. Как известно, в соответствии с Положением об аттестации данного оборудования, она должна проводиться независимой организацией, аттестованной Ростехнадзором РФ. Оценку технического состояния экскаватора целесообразно проводить постоянно в режиме компьютерного слежения за состоянием всех узлов и механизмов. Важно создать компьютерную программу, которая могла бы следить за работой подшипников, изоляцией электрических цепей и механизмов, состоянием канатов, смазки, питающим напряжением (Информационно-диагностическую систему "ИДС").

Касаясь определения модного слова "аутсорсинг", можно безошибочно утверждать, что это слово повторяется в разных интерпретациях – это и сервисное обслуживание, и услуги ремонтного предприятия, когда понятия друг друга дополняют и перекрывают. И к какому бы из них содержанию понятия мы не придем – оно все равно остается видом ремонта. Или это аутсорсинг, или сервисное обслуживание, или это услуги ремонтного предприятия. Все это фактически означает оказание ремонтных услуг с отторжением ремонтно-механических служб разрезов в сторону аутсорсинговой компании.

Аутсорсинг представляет собой передачу непрофильных активов и процессов предприятия в управление внешним подрядчикам или аутсорсинговым компаниям.

Необходимая составляющая деятельности любого предприятия – это затраты не только на основной бизнес, но и на *управление непрофильными активами*, которые не приносят прибыли, но жизненно необходимы для нормальной работы любой компании. И чем они крупнее, тем значительнее затраты, штат сотрудников, а также нагрузки на управленческий персонал, связанные не с основной деятельностью.

В то же время внедрение аутсорсинговой модели ведения бизнеса может дать положительные результаты, так как внешний подрядчик благодаря своему опыту и высоким технологиям способен обеспечить развитие и оптимизацию переданных непрофильных активов на более высоком и качественном уровне. Период активного внедрения модели аутсорсинга в мире пришелся на 1990-е гг., когда широкое признание получила идея деления функций на основные и второстепенные и передачи последних специалисту в данной области.

При промышленном или производственном аутсорсинге предприятие передает подрядчику свою производственную цепочку или ее часть в тех случаях, когда процесс производства собственными силами обходится предприятию дороже, чем привлечение аутсорсера.

Предметом аутсорсинга могут быть все бизнес-процессы. Однако согласно традиционному подходу, при котором бизнес-процессы разделяются на "основные" и "вспомогательные", подрядчикам в основном передаются нестратегические или незначимые процессы.

Весь комплекс производственных процессов можно разделить на три группы по степени значимости для компании (предприятия). Каждая группа процессов может стать предметом аутсорсинга либо сегодня, либо в перспективе. Актуальность и вероятность использования аутсорсинга зависят именно от значимости конкретной группы процессов.

Значимые не ключевые процессы: учет, управление поставками, администрирование, управление претензиями, билинг (выставление счетов).

Вероятность использования аутсорсинга в данной группе процессов на сегодняшний день умеренна, но с течением времени возрастает.

Незначимые неключевые процессы: уборка, содержание территорий, питание, прачечная (химчистка).

Процессы данной группы сегодня чаще всего передаются на аутсорсинг и нет оснований предполагать, что эта тенденция изменится в будущем.

Значимые ключевые процессы: управление брендами и маркетингом, клиентские отношения, продажи, стратегия, патенты и технологии.

Для того чтобы аутсорсинг не превратился в примитивную покупку услуг, необходимо определиться с тем, какие его компетенции являются для компании ключевыми в настоящее время или станут ключевыми в будущем.

Для нашей компании ключевыми вопросами являются добыча угля, его переработка и, как следствие этих процессов, поддержание в работоспособном состоянии техники, связанной с добычей и переработкой угля.

Для того чтобы заниматься аутсорсингом в компании, нам нужно определиться, какое оборудование передать: экскаваторы, буровые станки, обогатительное и дробильно-размольное оборудование, бульдозерное, автомобильное, подвижной состав, транспортные сосуды, грузоподъемные механизмы.

Кто может выступить сервисантом для компании "Востсибуголь"?

- Единая сервисная компания (ЕСК) ОАО "СУЭК".
- Один из трех ремонтно-механических заводов.
- ОАО "Востсибэнергоуголь".
- Заводы-изготовители оборудования.
- Другая подрядная организация.
- Сам разрез.

В качестве примера рассмотрим обслуживание экскаватора или его узлов: опорно-поворотное устройство, редуктор, электрические машины и трансформаторы, н/в токосъемник, освещение, электрические цепи, цепь в/в электроснабжения (приключательный пункт, питающий кабель, в/в ввод и токосъемник), гидравлическая система, устройства смазки, рабочий орган, упряжь и канатная подвеска, пневматическая система и тормоза, система контроля работы экскаватора и диагностики узлов и механизмов, система аварийного освещения и связи.

Традиционно разрез следит за наработкой экскаватора, планирует и определяет последовательность ремонта, дефектует его, определяет подрядчика на ремонт, составляет договор на ремонт экскаватора, устанавливает границы ответственности ремонта.

Если, например, экскаватор передать на обслуживание ремонтно-механическому заводу, он должен создать круглосуточную службу наблюдения за работой экскаватора (тогда как на разрезе есть собственная диспетчерская служба), его ремонтом и наладкой. В этом случае машинист экскаватора становится оператором. Место помощника машиниста экскаватора ликвидируется. Сервисант на принципах аутсорсинга должен держать в смене двух слесарей с правом допуска для работы в в/в установках IV и Ш групп. Кто должен допускаться для работы в электроустановках? Оператор экскаватора должен иметь IV группу допуска. Все зависит от менеджмента ремонтного предприятия.

В настоящее время уже действует система аварийного и сервисного обслуживания с привлечением ОАО "Востсибэнергоуголь" для наладки и сезонного обслуживания электроприводов экскаваторов. В чистом виде, если поручить ему ревизию коммутационной аппаратуры и регулярное обслуживание электроприводов, то это можно отнести к аутсорсингу.

В настоящее время в основе планирования ремонтов компании лежат нормативы системы ППР – виды ремонтов, ремонтные циклы, величины наработок, объемы ремонтных воздействий и т. д. – Методические указания НИИОГРа.

Возможные направления повышения качества ремонта разных видов оборудования компании

1. Совершенствование организации ремонта собственными силами.

Для экскаваторного парка предусмотрены следующие виды ремонтов: капитальный (К), средний (С), текущий (Т).

Техническое обслуживание автосамосвалов по периодичности, перечню и трудоемкости выполняемых работ подразделяется на виды:

- техническое обслуживание при эксплуатационной обкатке;
- ежесменное техническое обслуживание (ЕО) через 8...10 мото-ч;
- первое техническое обслуживание (ТО-1) через 50...100 мото-ч;
- второе техническое обслуживание (ТО-2) через 250...500 мото-ч;
- третье техническое обслуживание (ТО-3) через 1000 мото-ч;
- сезонное техническое обслуживание (СО) 2 раза в год;
- капитальный ремонт.

В основу стратегии проведения ремонтов автосамосвалов уже закладывается агрегатно-узловой метод. Для организации работы по данному методу на каждом предприятии вне зависимости от списочного состава автосамосвалов создается необходимое количество и номенклатура оборотного фонда агрегатов и узлов.

Капитальный ремонт агрегатов карьерного автотранспорта производится на специализированных заводах в соответствии с единой системой конструкторской документации, предусмотренной действующими стандартами. Капитальный ремонт предусматривает полную разборку, дефектовку, восстановление, замену или ремонт всех составных частей машины, сборку, комплексную проверку, регулировку и испытание. Данный вид ремонта карьерных самосвалов и тракторно-бульдозерной техники, имея недоиспользованный производственный ресурс Свирского ремонтного завода, целесообразно организовать в цехах этого завода. Система технического обслуживания и ремонта локомотивов в ООО "КВСУ" сохраняется и предусматривает следующие виды планового технического обслуживания и ремонта: техническое обслуживание ТО-1...ТО-5, текущий

ремонт ТР-1...ТР-3, средний ремонт СР, капитальный ремонт КР.

Очевидна дополнительная потребность создания Инженерно-технического центра по диагностике и ремонту ГТО компании "Востсибуголь", который функционально вошел бы в *Сервисную Компанию «СУЭК»* и которым решались бы вопросы планирования, нормирования, разработки документации, диагностики, ремонтов, определения ремонтных подрядчиков, организация сервисного обслуживания, лабораторных исследований использования канатов.

2. Организация сервисного обслуживания подрядным способом, в том числе на принципах аутсорсинга.

3. Организация зон сервисного обслуживания (территориально, предприятия) и программы их развития в рамках 5-летнего плана инвестиционной деятельности.

4. Разработка предложений по системе оценки качества сервисного обслуживания. При этом следует предусмотреть в перечне показателей основным стоимость затрат на единицу оборудования.

5. Подготовка предложений по содержанию соглашений (договоров) о сервисном обслуживании между ремонтным производством и предприятиями (какое оборудование, какие виды обслуживания), а также замечаний и предложений к Положению о взаимоотношениях между ремонтным производством и предприятиями на принципах аутсорсинга.

6. Разработка предложений по повышению эффективности работ по технической диагностике:

- совершенствованию материальной базы подразделений технической диагностики;
- централизации управления подразделениями технической диагностики.

7. Создание единой сервисной компании в ОАО "СУЭК".

Изложенные направления совершенствования технического обслуживания и ремонта горно-транспортного оборудования компании составляют основу технической политики, проводимой ее электромеханическим управлением в области повышения качества эксплуатации горной техники.

УДК 621.671

А.С. Леоненко, канд. техн. наук, **Д.Е. Махно,** д-р техн. наук, **С.С. Леоненко,** канд. техн. наук, ИрГТУ

Улучшение эксплуатационных показателей горной техники на основе повышения управляемости процессов использования и ремонта

Повышение эффективности эксплуатации и поддержания ресурса горной техники рекомендовано осуществлять за счет минимизации влияния человеческого фактора при управлении техникой, перехода на планово-диагностическую систему технического обслуживания и организации ремонта оборудования с обязательной проверкой качества ремонта под нагрузкой в режимах, приближенных к эксплуатационным. Предложены конкретные электрические схемы решения задач.

Горные машины и установки являются сложными электромеханическими комплексами, работающими в тяжелых условиях горного производства. Технический ресурс их исчерпывается прежде всего за счет накопления усталостных повреждений в деталях машин, термовибромеханического износа электрооборудования. Поэтому проблема поддержания эксплуатационных показателей на высоком уровне в условиях слабой замены устаревшего парка машин и механизмов является чрезвычайно важной.

Известно, что эксплуатация любой техники включает в себя использование ее по назначению, техническое обслуживание и ремонт. Следовательно, решение проблемы повышения эксплуатационных показателей следует искать в системном подходе к оценке работы оборудования на всех стадиях.

Использование техники по назначению является основной стадией ее жизненного цикла. Повышение эффективности эксплуатации на этом этапе возможно за счет решения ряда управленческих технических задач, основными из которых являются повышение качества управляемости, выбор более рациональных алгоритмов управления, минимизация отрицательного влияния человеческого фактора (низкой квалификации персонала), снижение динамической нагруженности в узлах электромеханических систем (ЭМС) машины. Рассмотрим проблемы на примере экскаватора.

Экскаваторы в общем случае можно считать манипуляторами. Из многочисленных работ по теории электрофицированных роботов и манипуляторов известно, что для обеспечения максимального быстро-

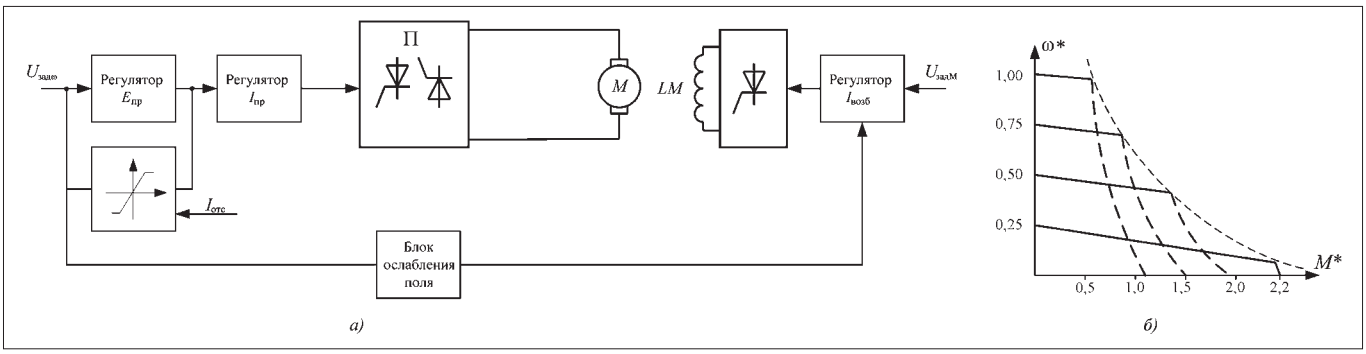


Рис. 1. Функциональная схема управления электроприводом экскаватора (*а*) и механические характеристики привода при двухканальном управлении (*б*)

действия электроприводы должны иметь статические механические характеристики типа эллипса. Реальные механические характеристики экскаваторов формируются с помощью "отсечек" двумя или тремя участками, позволяющими приблизить их форму к эллипсу.

При работе экскаваторов в условиях низких температур для поддержания технического ресурса приоритетным становится критерий минимума динамических нагрузок в электромеханической системе (ЭМС) экскаваторов. Этого можно добиться формированием гиперболического характера механических характеристик с поддержанием заданной потребляемой мощности двигателей.

Одним из возможных решений этой задачи является переход на двухканальное управление электроприводов подъема, напора (тяги) экскаваторов. По одному каналу предусматривается осуществлять с участием машиниста управление технологическим процессом экскавации, по второму – управление потоком расходования мощности независимо от машиниста экскаватора. В существующих приводах экскаваторов при одноканальном управлении мощность, потребляемая электроприводами, определяется нагрузкой, которая имеет случайный характер со всеми вытекающими последствиями: перегрузками, стопорениями и опрокидываниями. При двухканальном же управлении мощность, расходуемая на процессы экскавации, можно устанавливать независимо от технической мощности двигателей приводов, что особенно важно при эксплуатации в условиях низких температур, когда необходимо из-за повышения хладоломкости металла снижать механические нагрузки. На рис. 1 представлена предлагаемая упрощенная схема двухканального управления электроприводом постоянного тока главных механизмов экскаватора (*а*), реализующая закон постоянства мощности, потребляемой двигателем (*б*) (ω^* и M^* – частота вращения и момент двигателя в относительных единицах). На этот способ и устройство получен патент [1].

На рис. 1, *а* канал управления технологическим процессом экскавации с участием машиниста обеспечивается регуляторами ЭДС $E_{пр}$ и тока $I_{пр}$ преобразователя, канал управления, обеспечивающий без участия машиниста поддержание постоянство потребляемой мощности (см. рис. 1, *б*), реализуется блоком ослабления поля и регулятором возбуждения $I_{возб}$ двигателя.

Как показали проведенные нами с использованием математического моделирования исследования (рис. 2), двухканальное управление позволяет существенно уменьшить динамические нагрузки при пуске (*а*) и стопорении (*б*) в кинематических цепях ЭМС, за счет снижения величины упругих колебаний момента ($M_у$) снизить влияние человеческого фактора при управлении горной машиной.

Предложенный двухканальный способ и система управления могут быть использованы в приводах постоянного и переменного тока горных машин, работающих не только в условиях низких температур, но также в приводах с высоким уровнем динамической нагруженности, что позволит повысить надежность работы горной техники за счет уменьшения числа поломок и простоев на ремонт.

Важной составляющей эксплуатации горной техники является ее техническое обслуживание. Традиционными методами технического обслуживания являются: первый – эксплуатация до отказа и второй – планово-предупредительное обслуживание по календарным срокам или наработке (объемам выполненных работ), исчерпавшие, по нашему мнению, свои возможности. В ряде отраслей промышленности осуществляется переход на систему обслуживания эксплуатируемых машин, используя мониторинг и техническую диагностику по таким параметрам, как вибрация, шумы, температура, состояние смазочных масел и др., определяющих техническое состояние объекта. Поэтому разработка методов определения диагностических текущих параметров ЭМС является важной задачей решения проблемы управления параметрической надежностью в процессе использования горной техники, а следовательно, и ее техническим ресурсом.

В настоящее время ИрГТУ разработаны диагностические методы и алгоритмы определения динамических параметров ЭМС [2, 3]. Суть методов заключается в том, что если система электропривода находится в квазиустановившемся режиме, то обязательно найдутся характерные точки, в которых система ведет себя как статическая. В эти моменты времени можно

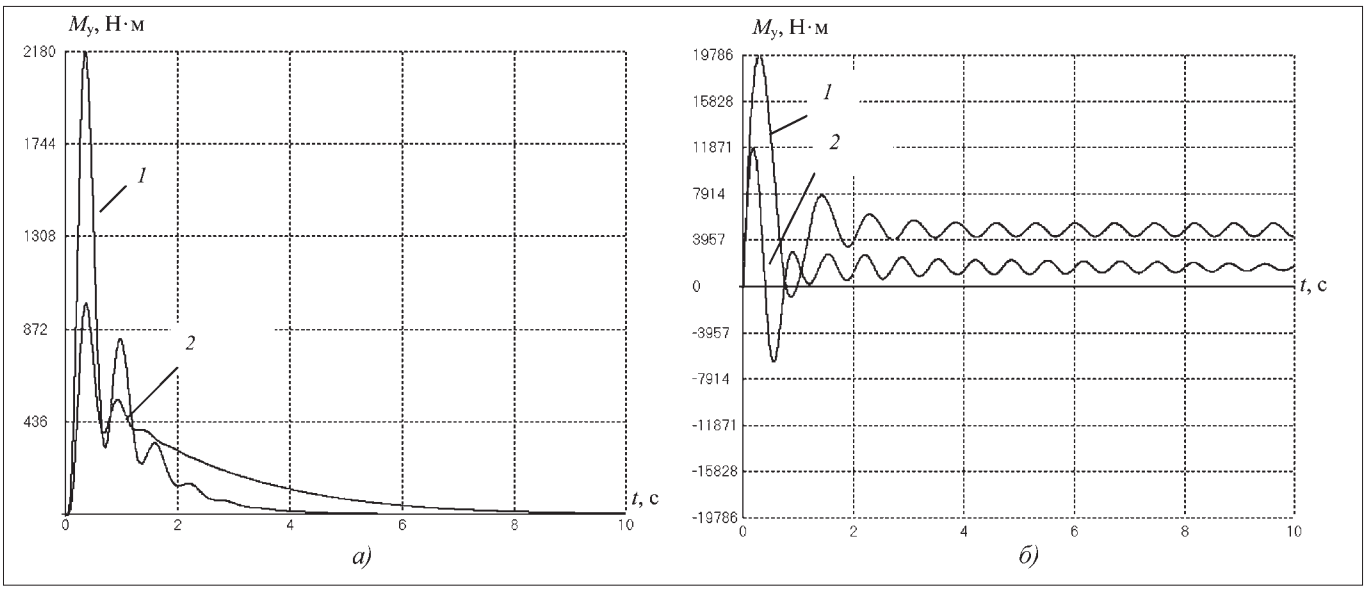


Рис. 2. Характер переходных процессов упругого момента $M_у$ в приводе при пуске с $M_{нагр} = 0,1M_{ном}$ (*а*) и стопорении (*б*) двухмассовой системы:
1 – в системе привода с одноканальным управлением; *2* – в системе привода с двухканальным управлением

определить недоступные диагностические динамические параметры ЭМС, а по ним – текущее состояние ЭМС. По завершению проводимой в настоящее время процедуры оформления патента на данный способ и устройство его реализации авторы опубликуют детальную информацию.

Этапом эксплуатации является ремонт оборудования, который должен быть контролируемым и управляемым. Поэтому оценка качества выполняемых работ как в межоперационные периоды ремонта, так и после сборки узлов оборудования является важным мероприятием, и может быть реализована, как известно, только на специальных испытательных стендах, позволяющих проводить послеремонтные испытания основных элементов ЭМС (прежде всего двигателей и редукторов) в режимах, приближенных к эксплуатационным режимам нагружения.

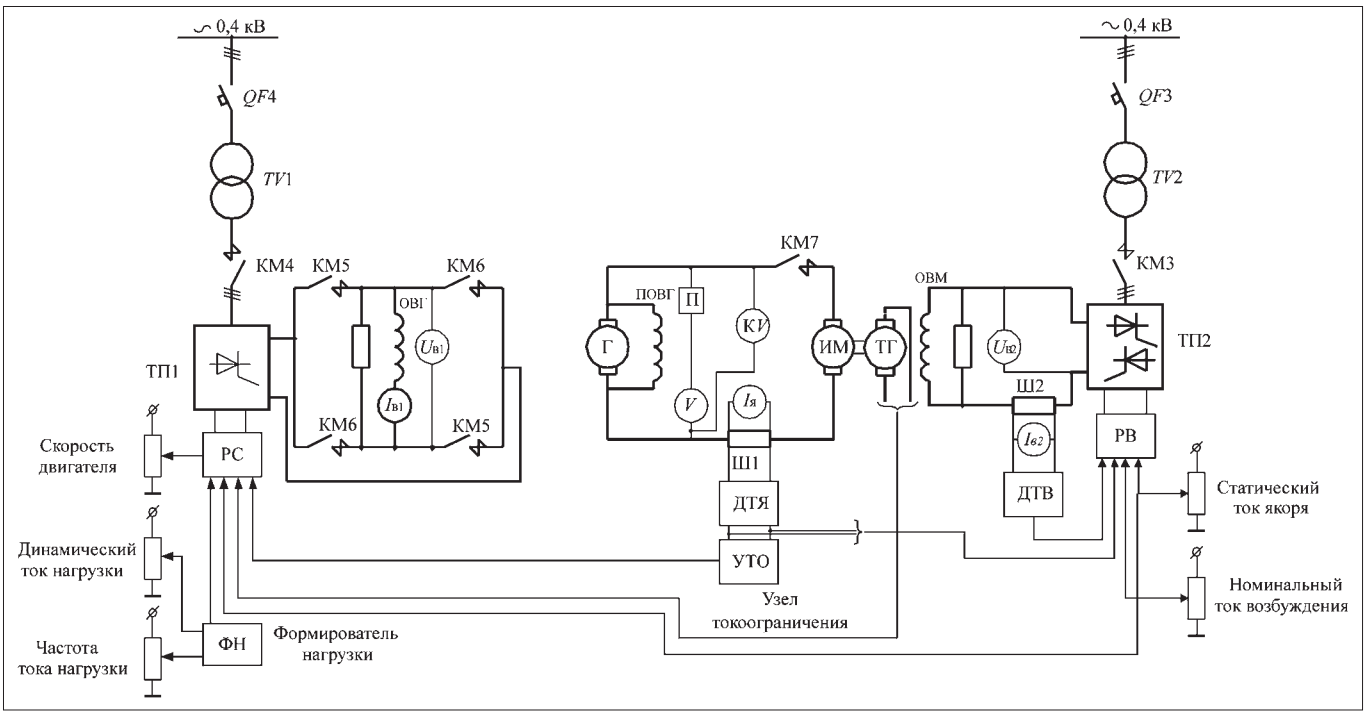


Рис. 3. Функциональная схема испытательного стенда для двигателей постоянного тока

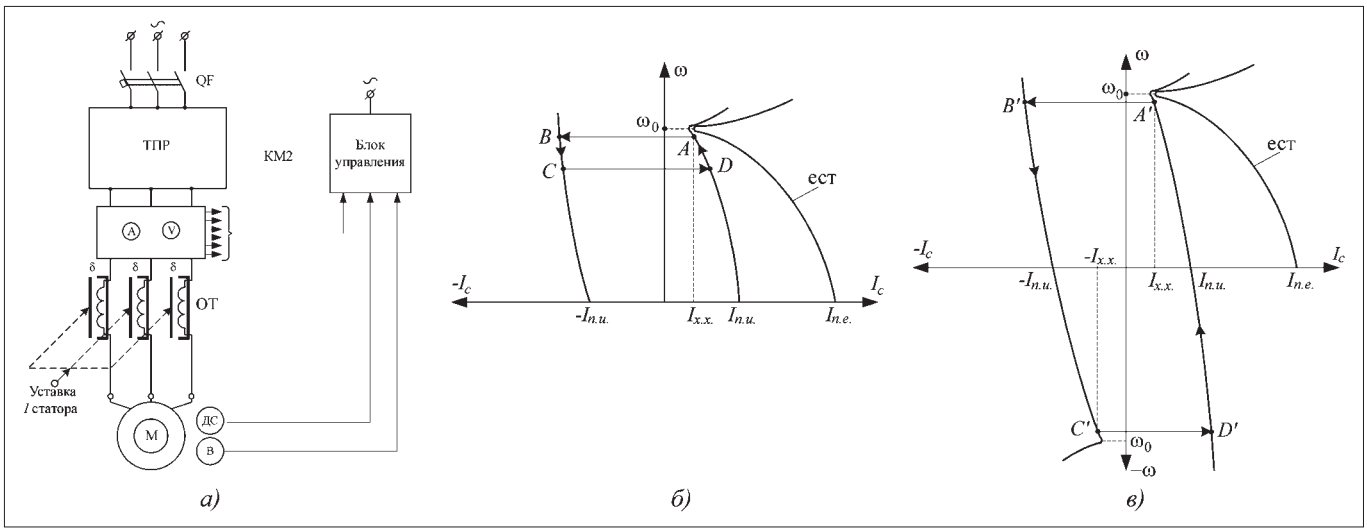


Рис. 4. Схема стенда для испытания и оценки фактических послеремонтных характеристик асинхронных двигателей (*а*) в режиме наброса нагрузки (*б*) и реверсирования (*в*)

В настоящее время на основных ремонтных заводах послеремонтные испытания двигателей и редукторов, как правило, проводят только в режимах холостой обкатки. Разработанный авторами стенд для послеремонтных испытаний крупных машин постоянного и переменного тока и мощных редукторов, электрическая схема которого приведена на рис. 3, позволяет осуществить в период испытаний близкие к эксплуатационным режимам нагружения. Например, стенд для послеремонтного испытания машин постоянного тока позволяет проводить испытания двигателей (ИМ) в динамических режимах пуска, наброса нагрузки, реверсирования и торможения, а также статическое токовое нагружение с заданием любой скорости и тока в пределах допустимых.

Стенд смонтирован на рудоремонтном заводе г. Черемхово и находится в эксплуатации уже 2 года. На способ и устройство испытательного стенда также получен патент [4, 5].

В разработанном стенде по испытанию асинхронных двигателей для ремонтного предприятия "Энергоремонт" АК "Алроса", электрическая схема которого приведена на рис. 4, реализована идея токового динамического нагружения статора. Тиристорный реверсивный пускатель (ТПР) позволяет нагружать двигатель во всех четырех квадрантах, реализуя пуск, реверсирование, наброс и сброс нагрузки (см. кривые *б, в* на рис. 4). Регулирование нагрузки (тока статора) производится с помощью индуктивного ограничителя тока. Уставка тока статора выставляется вручную перед началом испытаний. Ограничитель тока (ОТ) представляет собой три катушки с регулируемым воздушным зазором (рис. 5). На устройство также получен патент [6, 7].

Выполнены работы по исследованию работоспособности разработанного авторами стенда для послеремонтной обкатки редукторов, электрическая схема которого приведена на рис. 6, осуществляющий пуск, реверсирование, торможение, нагружение по требуемому закону.

В стенде реализован метод взаимной нагрузки двух электрически и механически связанных нагрузочных машин, управляемых от тиристорных преобразователей *ТП1*, *ТП2*, *ТП3*. Испытываемый редуктор (РЕД) соединяется с помощью карданных валов с нагрузочной машиной *НМ2* и вариатором *ВАР*, который соединен с нагрузочной машиной *НМ1*. Система регулирования замкнутая с обратными связями по скорости и току (моменту). Система позволяет независимо управлять скоростью обкатки и током нагрузки.

В процессе обкатки предполагается проводить вибродиагностику редукторов и оценивать тем самым качество ремонта и сам процесс обкатки. При этом время обкатки существенно сокращается, что чрезвычайно важно при большом объеме работ.

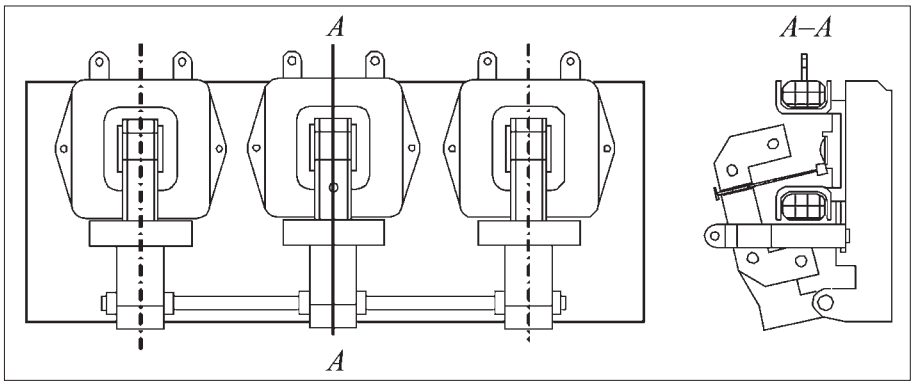


Рис. 5. Устройство для динамического нагружения асинхронных двигателей

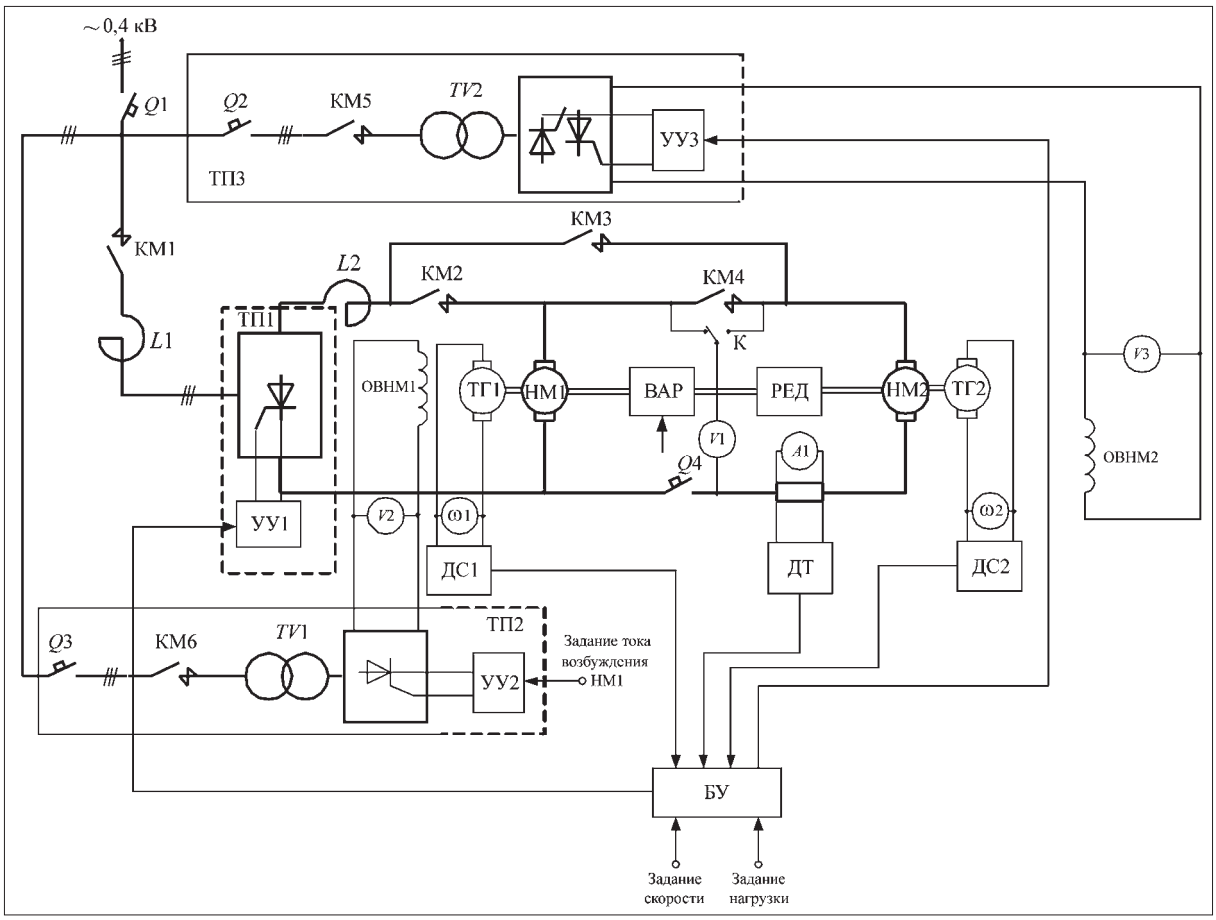


Рис. 6. Функциональная схема испытательного стенда для послеремонтной обкатки редукторов

В заключение важно еще раз подчеркнуть, что предложенные методы и технические средства позволят эксплуатировать горную технику на более высоком техническом уровне и снизить эксплуатационные затраты в периоды использования по назначению, а также повысить качество ремонтных работ.

Список литературы

1. **Пат. 2255184 Россия, E 05 F 9/20, H 02 P 5/00.** Способ управления электроприводом постоянного тока одноковшового экскаватора и устройство для его осуществления / С.С. Леоненко, А.В. Сорокин, Д.Е. Махно, А.С. Леоненко, М.В. Павлов – №2004114678/03; заявлено 13.05.2004; опубл. 27.06.2005, Бюл. изобретений № 18.

2. **Леоненко С.С., Леоненко А.С., Чемезов А.В.** Алгоритмы определения недоступных параметров одномассовых систем горных машин / Проблемы развития минеральной базы Восточной Сибири. Сб. научн. тр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. Вып. 3. С. 207–210.

3. **Леоненко А.С., Прокопьев А.Ю.** Методы и средства повышения эксплуатационных показателей горной техники / Проблемы развития минеральной базы Восточной Сибири. Сб. научн. тр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. Вып. 6. С. 174–176.

4. **Пат. 2133044 Россия, G 01 R 31/34, E 21 C 31/04.** Способ испытания электрической машины постоянного тока и устройство для его осуществления / С.С. Леоненко, А.В. Сорокин, Е.В. Чудогашев, А.С. Леоненко, Е.А. Дмитриев. № 98104883/03; заявлено 23.03.98; опубл. 10.07.99, Бюл. изобретений № 19.

5. **Леоненко С.С., Сорокин А.В., Леоненко А.С.** Способ статического и динамического нагружения электрических машин постоянного тока при послеремонтных испытаниях // Тр. IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу "Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития". Ч. 1. Магнитогорск, 2004. С. 169–171.

6. **Пат. 2126197 Россия, H 02 P 7/36, 7/40.** Устройство для ограничения динамических нагрузок в механизмах с сухим или граничным трением / Д.Е. Махно, С.С. Леоненко, А.С. Леоненко. № 97118190/09; Заявлено 03.11.97; Опубл. 10.02.99, Бюл. № 4.

7. **Леоненко А.С.** Испытательная станция для оценки эксплуатационных свойств асинхронных двигателей при послеремонтных испытаниях / Вестник ИрГТУ. 2004. № 2. С. 14–16.

УДК 621.671

С.Ю. Красноштанов, канд. техн. наук, доц., **А.П. Макаров,** канд. техн. наук, доц., ИрГТУ

Хрупкое разрушение и восстановление крупногабаритных деталей горного оборудования карьеров

Приведены примеры и проведен анализ причин хрупкого разрушения крупногабаритных узлов горного оборудования импортного и отечественного производства, эксплуатируемого в условиях холодного климата. Предложены и осуществлены рекомендации по повышению уровня их работоспособности.

Эффективность эксплуатации горного оборудования определяется множеством факторов, одним из которых является обеспечение производства качественными и долговечными узлами и деталями.

Уровень качества деталей и машины в целом формируется на всех стадиях разработки, изготовления, сборки (монтажа) и тщательно выверенном технологическом процессе обкатки (испытания). В дальнейшем качество машины поддерживается своевременным техническим обслуживанием, включающим замену смазочных и эксплуатационных материалов строго в соответствии с инструкцией завода-изготовителя (фирмы).

Наиболее важной и актуальной задачей горного машиностроения следует считать производство крупногабаритных узлов и частей заданного уровня качества. Особенно это относится к основным деталям отечественных карьерных экскаваторов, погрузчиков и буровых станков.

Многие крупногабаритные узлы рабочего оборудования горных машин изготавливаются литьем и сваркой, а это наиболее трудоемкие процессы, требующие высокотехнологичного производства. Нестабильность качества поступающих на горные предприятия крупногабаритных деталей и узлов горного оборудования приводит к длительно аварийным простоям машин, травматизму, большому потоку актов-рекламаций, работе комиссий и экспертов.

Аварийные отказы металлоконструкций карьерных экскаваторов требуют их тщательного изучения в целях выявления причин и факторов, при которых произошло разрушение. Для этого в АК "АЛРОСА" на Айхальском ГОКе совместно с кафедрой горных машин и рудничного транспорта ИрГТУ была разработана форма "Акта технического расследования причин инцидента", содержащая все необходимые сведения об отказе. Для всестороннего и объективного заключения о причинах аварии в Акте содержатся сведения о дате и времени отказа, сроке эксплуатации и режиме работы, обстоятельствах инцидента и экологических последствиях. Указываются причины инцидента и лица, допустившие нарушения или неквалифицированные действия, а также меры по предупреждению подобных инцидентов. К участию в комиссионном обследовании привлекаются представители независимых организаций. Все это помогает получить от поставщиков новые качественные детали и оборудование.

Горная промышленность является наиболее сложным потребителем запасных частей ввиду уникальности, крупногабаритности, специфичности и большой номенклатуры комплектующих деталей. В настоящее время парк карьерного оборудования АК "АЛРОСА" на 80 % состоит из импортных машин, поставка запчастей к которым связана с длительностью транспортировки и соответствующим удорожанием.

У дистрибьюторов и на складах представителей фирм, в организациях сервисного обслуживания стоимость быстроизнашивающихся деталей значительно выше стоимости деталей, установленных на машине.

В этих условиях горные предприятия в целях экономии средств пытаются организовать собственными силами выпуск новых и реставрацию изношенных деталей импортного оборудования. Недостаточные производственные мощности ремонтных баз, отсутствие специального оборудования и технологии изготовления приводят к выпуску некачественных деталей. На рис. 1 показан ковш погруз-

Рис. 1. Хрупкое разрушение ковша погрузчика L-1100

Рис. 2. Упрочнение конструкции коромысла ковша экскаватора ЭКГ-15 накладными пластинами

Рис. 3. Хрупкое разрушение стрелы погрузчика R-570C

чика L-1100, изготовленный на Орловском механическом заводе. При осмотре поступившего ковша специалистами Айхальского ГОКа были обнаружены дефекты и трещины в околошовной зоне сварных швов из-за нарушения технологии сварки толстостенных деталей. Были выявлены отклонения линейных размеров подвески, многочисленные трещины в местах присоединения адаптеров и сегментов к днищу рабочей кромки ковша. Боковой отбойник был выполнен не в литом, а в сварном исполнении, что в свою очередь привело к ускоренному разрушению данного узла из-за невыполнения условий цельности конструкции. Выполненный комплекс работ, включающий подготовку, разделку трещин, сварку и механическую обработку не позволил добиться требуемого качества конструкции. Применение несоответствующих марок сталей на адаптере (Ст 40) и днище (сталь "Хардокс"), нарушение технологии сварки при изготовлении ковша не позволили обеспечить его дальнейшую эксплуатацию. За 800 маш.-ч работы погрузчика ковш был разрушен до состояния, не подлежащего восстановлению.

Низкое качество поставляемых запчастей заставляет горные предприятия модернизировать и усовершенствовать конструкции узлов и деталей в целях снижения эксплуатационных затрат, особенно значительных при хрупких разрушениях металлоконструкций в условиях холодного климата Сибири и Севера РФ. На рис. 2 представлена усовершенствованная конструкция коромысла ковша экскаватора ЭКГ-15. Многолетний опыт эксплуатации показал, что коромысло ковша, изготавливаемое на заводах по чертежам КБ Ижорского завода, не обеспечивает в полной мере длительной эксплуатации. При циклических нагрузках и больших амплитудах колебаний температуры проушины крепления ковша подвергаются периодическому разрушению. При осмотре и анализе поверхностей излома в большинстве случаев не наблюдается дефектов литья и сварки, что дает основание предполагать о занижении коэффициентов запаса прочности при конструкторских расчетах. В целях увеличения долговечности одного из важнейших узлов рабочего оборудования предложено усилить конструкцию рядом накладок специального исполнения (см. рис. 2). Для этого с внутренней стороны изгиба коромысла торцом приварены две пластины толщиной 30 мм из стали 09Г2С. С наружной стороны изгиба коромысла приварена накладка толщиной 40 мм (сталь 09Г2С). Сварочный шов выполняется непрерывным по всему периметру накладок за исключением верхнего участка. Если приварить в этом месте накладки, то возникнут дополнительные напряжения, ослабнет металл околошовной зоны и возникнет риск излома коромысла выше накладок. Модернизированная конструкция опробована в эксплуатации и показала надежную, долговечную работу. На основе полученных результатов отправлены рекомендации заводам-изготовителям по усилению конструкции коромысла ковша.

Наряду с низким качеством литых и сварных металлоконструкций отечественных карьерных экскаваторов оставляют желать лучшего и детали рабочего оборудования импортных экскаваторов и погрузчиков. На рис. 3 отчетливо видна трещина на стреле погрузчика R-570C, находящегося в эксплуатации всего 2 месяца. При осмотре трещины были обнаружены шлаковые включения, поры и сильная коррозия, что позволяет сделать вывод о заводском браке.

В целом из-за низкого качества поставляемых запчастей карьерные экскаваторы простаивают в ремонте 30 % от общей продолжительности ремонтных работ.

Для деталей, подверженных внезапным отказам по причине хрупких разрушений, необходимо предусматривать страховой запас на складах потребителя. Для более полного вовлечения в технологический оборот запчастей, имеющихся у производителей, большое значение приобретают различные формы гарантированного снабжения на основе договоров. Гарантия на деталь или узел, выдаваемая заводом-изготовителем, потребует более качественного технологического цикла производства запчастей.

УДК 574

Ю.А. Лужков, преподаватель, Черемховский государственный горно-технический колледж,
С.С. Тимофеева, д-р техн. наук, проф., ИрГТУ

Влияние технологических процессов и горно-транспортного оборудования добычи угля на экологическую нагрузку Черемховского района

Проведен анализ динамики суммарных выбросов пыли и вредных газов при различных технологических процессах добычи угля на Черемховском разрезе Иркутской области. Предложены общие мероприятия по сокращению пылегазовой нагрузки на горных машинах.

В многочисленных научных работах качество горных машин, как правило, исследовалось с отрывом от экологических факторов, таких как пылегазообразование, шумово-вибрационные поля, электромагнитные излучения.

Однако проведенные нами исследования влияния технологических процессов добычи угля на "Черемховском" разрезе Иркутской области на экологическую нагрузку района убеждают в необходимости рассмотрения качества горных технологических процессов и горных машин с учетом их экологичности. При этом с увеличением объемов производства повышается значимость такого подхода.

Рассмотрим какое из горного оборудования процессов добычи угля вносит наибольший отрицательный вклад в окружающую среду и как ухудшают технологические процессы общую экологическую обстановку района.

Бурение скважин буровыми шарошечными станками, используемыми на разрезе, сопровождается выделением пыли в количестве до 10 т/год (рис. 1). На практике часто выходят из строя по причине разрушения резины пылеприемники, и машинисты буровых станков не используют пылеулавливающую установку в работе, хотя это является нарушением требований техники безопасности.

Немаловажное значение для уменьшения пылеобразования при бурении скважин может иметь конструкция шарошечного инструмента. Во-первых, более эффективен процесс вымывания пыли из скважин вместо удаления ее воздухом; во-вторых, создания таких конструкций шарошечного долота, которые бы использовали процесс резания горной породы, а не истирание ее [2].

Пылегазообразование при взрывных работах, как известно, определяется количеством взорванного взрывчатого вещества, объемом и развалом взорванной массы, используемым методом взрывания, а также маркой и текущим состоянием взрывчатого вещества. Для уменьшения пылегазообразования необходимо соблюдать технические требования к составу и хранению взрывчатого вещества, технологии взрыва и способу взрывания. На рис. 2 и 3 приведены гистограммы, характеризующие влияние на экологию разреза пылегазовыделения за 5-летний период работы.

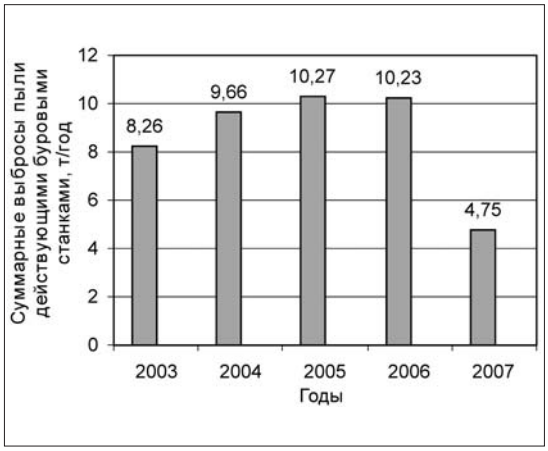


Рис. 1. Динамика пылеобразования при бурении скважин шарошечными станками

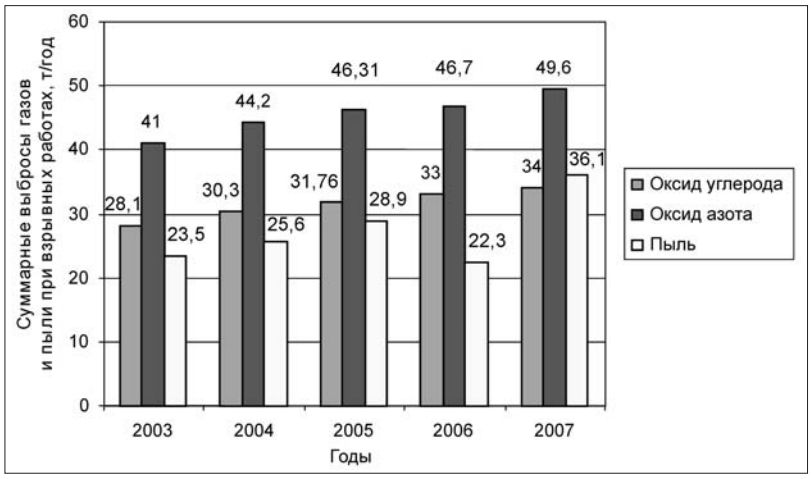


Рис. 2. Динамика пылегазовыделения из облака при взрывных работах

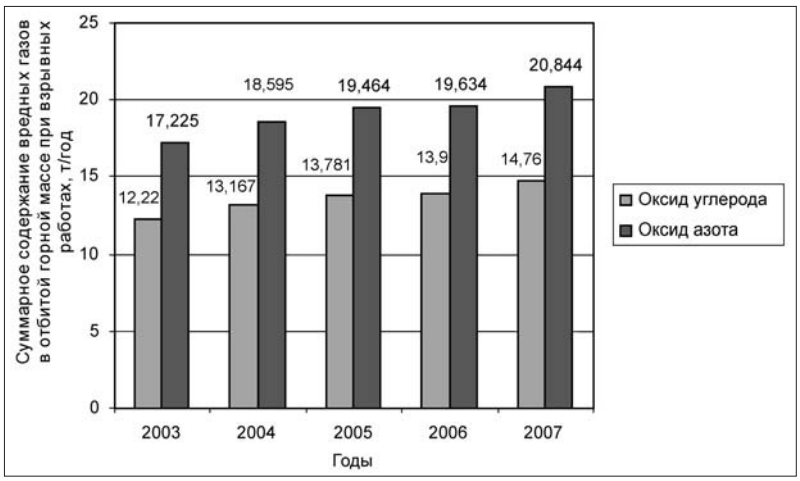


Рис. 3. Динамика газовыделения из отбитой горной массы при взрывных работах

Одним из известных эффективных направлений разрыхления и разрушения горных массивов являются специальные разупрочняющие технологии с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ). Такие разработки уже существуют, но на разрезе они не применяются, хотя эффект по улучшению экологической обстановки на разрезе может быть.

Следующий очень важный технологический процесс по добыче угля – это вскрышные работы, отвалообразование и добыча угля (рис. 4 и 5), где применяются мощные экскаваторы-драглайны и экскаваторы-мехлопаты. Именно на этом технологическом процессе наиболее мощное пылевыделение на разрезе [4]. На один драглайн в среднем приходится пыли за год до 77 т (80...100 т пыли в год), суммарные выбросы пыли по разрезу за год от экскаваторов-драглайнов составляют в среднем порядка 700 т.

Несколько меньшее количество пыли выделяется при погрузке угля в автосамосвалы и железнодорожные вагоны экскаваторами-мехлопатами.

На одну мехлопату в среднем приходится порядка 2 т пыли в год, это намного меньше, чем на драглайн, но в этом случае расстояние от зоны погрузки до места нахождения персонала намного меньше, поэтому пылевая нагрузка на человека не только не уменьшается, а увеличивается, если учитывать еще и периодичность пылеобразования (время цикла мехлопаты ≈ 0,5 мин).

Принимая во внимание цикл экскавации и технические параметры экскаваторов, можно сделать заключение о том, что, с точки зрения пылеобразования, при экскавации горных пород предпочтение следует отдавать драглайнам с удлиненными стрелами.

Транспортирование горной массы занимает особое место при добыче угля. Этот процесс характеризуется непостоянством загрязнения вредными и опасными веществами в пространстве и времени (рис. 6). Однако и с такими загрязняющими веществами следует считаться из-за ядовитости оксидов азота и сернистого газа и опасном воздействии на людей оксида углерода и углеводородов.

Из приведенного анализа основных экологических последствий следует, что при ведении горных работ открытым способом наибольшая концентрация экологически вредного влияния наблюдается в источниках устойчивого образования неорганической пыли (до 750 т/год) с содержанием двуоксида кремния не ниже 20 %, образуемого из алевролитов плотных, аргиллитов средней плотности, песчаников и суглинков. Несколько меньшую экологическую опасность имеют вредные газы (до 120 т/год), в том числе в пылегазовом облаке массовых взрывов в среднем до 84 т/год (см. рис. 2), и находящиеся и выделяющиеся из отбитой горной породы порядка 36 т/год. Это оксид углерода и оксид азота (см. рис. 3).

При транспортировании горной массы автотранспортом загрязняющих веществ поступает в атмосферу порядка 4 т / год. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания имеют достаточно сложный состав.

Негативное влияние горных машин не исчерпывается показателями пылегазовыделения. Им характерны также энергетические воздействия, например, шу-

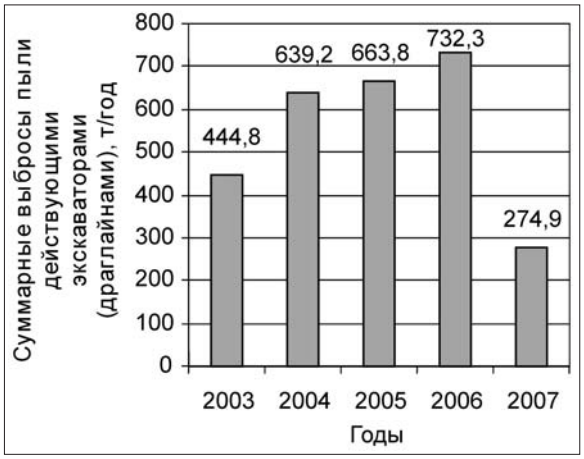
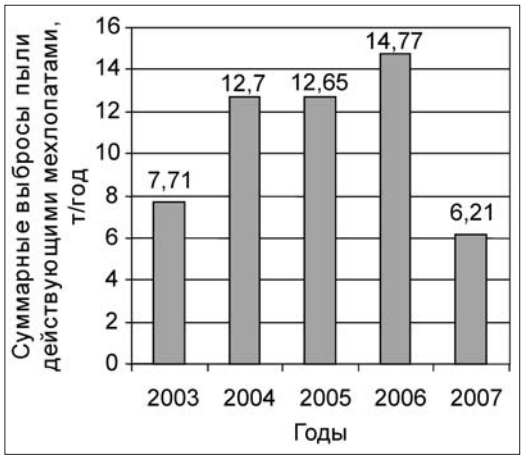


Рис. 4. Динамика выбросов пыли при вскрыше и отвалообразовании драглайнами

←

Рис. 5. Динамика выбросов пыли при добычных и погрузочных работах мехлопатами

→



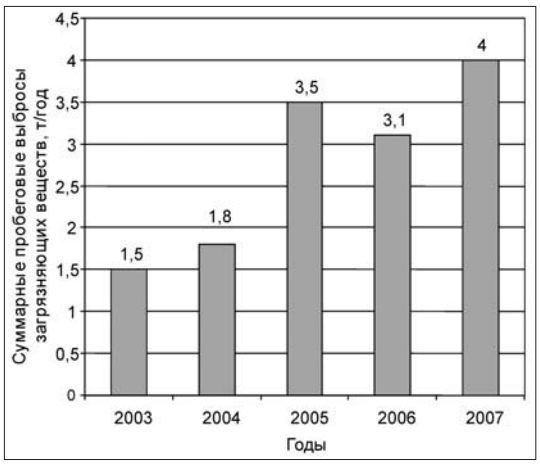


Рис. 6. Динамика суммарных выбросов при транспортировании горной массы автотранспортом

ма, вибрации, электромагнитных полей и других излучений.

На многих рабочих местах на органы слуха горнорабочего воздействуют шумы повышенной громкости. На разрезе "Черемховский" за период 2000–2007 гг. зарегистрировано четыре случая профессионального заболевания – тугоухости. В основном – это машинисты экскаватора и машинисты бульдозера.

Исследования, проведенные автором [4], показали, что только на экскаваторах ЭКГ-5У и ЭКГ-5А уровни шума превышают нормативные значения при частотах 300...2000 Гц (ЭКГ-5У) и 100...1000 Гц (ЭКГ-5А). У экскаваторов ЭКГ-4У, ЭШ-20/90, ЭШ-10/70 уровень шума в пределах норм.

На горных машинах проблема вибрации стоит очень остро. Большое разнообразие циклических нагрузок, действующих на отдельные системы горных машин, вызывает значительные колебания как самой горной машины, так и ее элементов. За период 2000–2007 гг. было выявлено шесть случаев виброзаболеваний машинистов экскаваторов, буровых станков и бульдозеров. Эта группа работников наиболее подвержена риску профессионального заболевания – виброболезни.

Исследованиями также было установлено, что частота собственных колебаний механической системы экскаватора порядка 3 Гц. В момент переходных процессов при повороте поворотной платформы экскаватора частота вынужденных колебаний тоже составляет порядка 3 Гц. Такое совпадение частот в определенном интервале и во времени приводит к резонансным явлениям. Это наиболее опасный момент в работе механической системы. Исследования подтверждают, что во время резонанса амплитуда вынужденных колебаний значительно увеличивается, а вибрации поворотной платформы существенно возрастают.

Виброактивность механической системы экскаватора повышается из-за зубцовых возмущений при повторном зазорообразовании в зубчатых зацеплениях при их износе. В приводе поворота участвуют 12 зубчатых пар, и суммарный износ может достигать значительной величины. Кроме того, в результате износа увеличивается зазор в центральной цапфе, возможен изгиб вал-шестерен.

Колебательные процессы имеют негативное влияние на обслуживающий персонал. Рассматривая внутренние органы человека, как колебательные системы с упругими связями, и принимая во внимание, что собственная частота внутренних колебаний органов человека 3...6 Гц, собственная частота колебаний головы человека 20...25 Гц, получим совпадение собственных частот внутренних колебаний органов человека и отдельных частей тела с частотой вынужденных колебаний экскаватора. Такое положение приводит к резонансу, когда амплитуда колебаний органов человека резко возрастает и это может привести к механическим повреждениям и даже разрыву связок и повреждению органов человека.

На разрезе "Черемховский" силами завода-изготовителя и эксплуатационного персонала удалось достигнуть снижения виброактивности механической системы и увеличения сопротивления возмущающим силам. Посредством увеличения массы стрелы экскаватора ЭШ-15/90А (перевода конструкции стрелы из вантовой на более жесткую и тяжелую трехгранную форму), а также увеличения мощности четырех электродвигателей привода поворотной платформы с 210 до 220 кВт. Одновременно была увеличена масса контргруза экскаватора. Отрицательное влияние колебательных процессов в динамических режимах при повороте поворотной платформы было сведено к минимуму.

Одним из возможных способов уменьшения уровня шума и вибрационных колебаний экскаваторов может быть применение частотно-регулируемого привода. Впервые на практике этот электропривод был применен в Иркутской области на разрезе "Сафроновский" в 1989 г. Таким устройством был оснащен шагающий экскаватор ЭШ-20/90 № 36.

Испытания показали значительное уменьшение вибраций и шума экскаватора вследствие повышения плавности работы машины.

В заключение представляется важным сформулировать основные направления эффективного снижения, по мнению авторов, экологических последствий на угольном разрезе и в Черемховском промышленном районе.

Оснащение буровых станков высокоэффективными, малогабаритными и удобными в эксплуатации пылеулавливающими установками.

Применение разупрочняющих составов для разрыхления горных пород вместо взрывных работ.

Максимальное внедрение частотно-регулируемых приводов на горных машинах.

Создание и применение горных машин, заменяющих при разрушении процесс истирания горных пород процессом резания (или крупного скола).

Применение транспортных средств на электрической тяге.

Применение бурового инструмента, максимально использующего процесс резания горных пород.

Список литературы

1. **Методика** расчета вредных выбросов сбросов для комплекса оборудования открытых горных работ. Люберцы.: Минтопэнерго РФ. ННЦ ГП-ИГД им. А.В. Скочинского, 1999. 59 с.

2. **Лужков А.А., Лужков Ю.А.** О рациональной поперечной форме зубков шарошечного долота // Химическое и нефтяное машиностроение. 1977. № 5. С. 5–7.

3. **Щадов И.М.** Совершенствование технологии взрывных работ на разрезах Черемховского месторождения. Восточно-Сибирское книжное издательство. Иркутск. 1992. 214 с.

4. **Лужков Ю.А.** Исследование шума при работе экскаваторов больших и малых параметров на разрезе "Черемховский" // Безопасность труда в промышленности. 2006. № 3. С. 16–17.

5. **Лужков Ю.А.** Исследование и анализ колебательных процессов, возникающих при работе привода поворотной платформы шагающего экскаватора // Безопасность труда в промышленности. 2006. № 9. С. 59–62.

6. **Методика** расчета количества отходящих, уловленных и выбрасываемых в атмосферу вредных веществ предприятиями по добыче и переработке угля. Пермь, 1989.

7. **Методика** проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий, утвержденная заместителем Министра транспорта РФ 28.10.1998 г.

8. **Методическое** пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов, загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб., 2002.

9. **Единые** правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, утвержденные Постановлением Гостехнадзора России от 09.09.2002 г., № 57.

УДК 622.242

А.И. Косолапов, д-р техн. наук, проф., Сибирский федеральный университет, **В.К. Совмен,** генеральный директор, ЗАО "Полюс"

Исследование временной динамики производительности буровых станков и экскаваторов в условиях карьера "Восточный"

Представлены результаты статистического анализа динамики производительности буровых станков и экскаваторов карьера с использованием методологии оценки обобщенного показателя (процентного снижения производительности) при воздействии факторов "старения" горного оборудования и совокупного влияния условий эксплуатации.

Карьером "Восточный" ведется разработка Олимпиадинского золоторудного месторождения, которое расположено в Северо-Енисейском районе Красноярского края и служит основной сырьевой базой ЗДК "Полюс".

Характерной особенностью месторождения является наличие линейной зоны выветривания, которая прослеживается вдоль разломов. Ее ширина варьируется от одного до нескольких десятков метров, увеличиваясь в узлах сочленения разломов до сотни метров. По глубине рыхлые отложения прослежены скважинами до глубины +200 м.

Объектом отработки карьера служит рудное тело № 4. В его составе запасы выделены и подсчитаны отдельно по окисленным и первичным рудам, причем последние составляют 75 % от всего объема руд.

В настоящее время горные работы производят, применяя углубочную кольцевую систему разработки с вывозкой вскрышных пород автомобильным транспортом во внешние отвалы и добытой руды в спецотвалы окисленной и первичной руды.

Основные параметры системы разработки: высота рабочего уступа 10 м, нерабочего в предельном положении 20 м, угол откоса рабочего уступа 80...75° в коренных породах и 60° в слабых выветренных породах. Ширина рабочих площадок варьирует от 30 до 80...100 м. Угол откоса рабочего борта карьера составляет в направлении Юг–Север 26...28°, в направлении Запад–Восток–28...30°.

Разработку месторождения осуществляют в условиях высокой интенсивности наращивания производственной мощности и ограниченной продолжительности разработки отдельных этапов (продолжительность первого этапа – пять лет, второго – семь, а третьего – завершающего – 22 года). В этих условиях ввод нового оборудования необходим для ликвидации диспропорции между отдельными производственными процессами. Поэтому важно уметь правильно решать задачи формирования комплексов оборудования, а также оценивать эффективность новых машин в тех или иных критических ситуациях. Для этого необходимы сведения, позволяющие прогнозировать производительность буровых станков и экскаваторов с учетом временной динамики и условий разработки. Эти сведения можно получить лишь на основе статистических данных и их анализа за большой промежуток времени в сопоставимых условиях. Для решения этих задач карьер "Восточный" благоприятен по следующим причинам:

- менее чем за десять лет глубина карьера выросла на 300 м;

• в отдельные периоды в работе одновременно находились более 30 уступов;

• среднее расстояние транспортирования увеличилось с 1,7 до 6,5 км;

• средняя грузоподъемность автосамосвалов изменилась с 30 до 73 т (в настоящее время одновременно эксплуатируют автосамосвалы грузоподъемностью 30, 40, 90 и 136 т), а их количество – с 26 до 117;

• средняя емкость ковша выросла с 5 до 9 м^3;

• количество взрывов в год составляет более 270;

• карьер расположен в суровых климатических условиях;

• в течение разработки площадь рабочей зоны карьера изменяется в несколько раз и иногда ограничивается одним или двумя уступами;

• в настоящее время горные работы ведутся в границах второго завершающего и третьего этапов в сложных организационных и горно-технических условиях (заваливание нижних уступов, увеличение частоты взрывов и сейсмического действия их на здания и сооружения и, как следствие, уменьшение коэффициента использования оборудования и т.п.). Это именно те условия, в которых будет происходить в ближайшее время освоение крупнейших золоторудных месторождений России.

Анализ работы экскаваторов при погрузке горной массы в автосамосвалы свидетельствует о том, что наибольшие потери времени связаны с перегоном экскаваторов с уступа на уступ, массовыми взрывами, ожиданием транспортных средств и другими причинами. Наибольшее время простоев экскаваторов вызвано ожиданием транспортных средств, которое в отдельных случаях достигает 50...60 % общего времени простоев.

Поэтому одним из главных условий стабильной работы выемочно-погрузочного оборудования является обеспечение постоянного числа (стабильности грузопотока) автосамосвалов в карьере в течение смены. Это условие не соблюдается из-за высокой аварийности автосамосвалов и потерь времени в начале и конце смены при выезде из гаража и заезде в него.

Одновременно на эффективность использования погрузочно-транспортного оборудования оказывают взаимообусловленное влияние горно-геологические, гидрогеологические, организационно-технические, технологические и другие факторы. Наибольшее значение из них имеют организационно-технические и технологические факторы.

В общем случае для оценки эффективности использования горно-транспортного оборудования на карьерах применяют различные показатели. Множество оценочных единичных показателей затрудняет поиск однозначного результата и нередко приводит к несопоставимым и противоречивым оценкам. Поэтому при оценке эффективности использования оборудования предпочтение целесообразно отдавать обобщенным показателям, учитывающим совокупное влияние старение оборудования, горно-геологических, гидрогеологических, организационно-технических и технологических условий эксплуатации.

В ходе проведенных нами исследований предложено использовать в качестве такого обобщенного показателя уровень снижения производительности в оцениваемый период времени эксплуатации:

$$У = (Q_т - Q_ф)/Q_т \cdot 100,\ \%, \qquad (1)$$

где $Q_ф$ – фактическая производительность оборудования за оцениваемый промежуток времени;

$Q_т$ – максимально-возможная (теоретическая) производительность оборудования за тот же промежуток времени.

Использование предлагаемого обобщенного показателя создает более благоприятные условия для прогнозирования производительности оборудования на последующих этапах разработки месторождения. При этом целесообразно полную совокупность ранее отмеченных факторов, характеризующих условия эксплуатации, сгруппировать по влиянию на два обобщенных показателя:

• $У_t$ – учитывающего снижение производительности по причине старения оборудования с увеличением сроков его эксплуатации;

• $У_м$ – учитывающего снижение производительности (сменной, месячной) в течение года по совокупному влиянию горно-геологических, гидрогеологических, технологических и организационно-технических условий эксплуатации.

С учетом этого эксплуатационную производительность для рассматриваемого временного интервала можно рассчитать по формуле

$$Q_э = Q_т\,(1 - У_t/100)(1 - У_м/100), \qquad (2)$$

где $У_t$ – уровень снижения производительности в связи с увеличением срока эксплуатации оборудования, %;

$У_м$ – уровень снижения производительности в течение года, %.

Показатель $У_t$ фактически характеризует процентную долю потерь производительности от возрастающих простоев в ремонтах оборудования по причине его старения с увеличением сроков эксплуатации. В общепринятой практике старение горно-транспортного оборудования, как правило, оценивается динамикой коэффициента технической готовности $K_г$ и рассчитываемой с его использованием фактической технической производительности по известному уравнению

$$Q_{техн} = Q_{теор}\,K_г\,. \qquad (3)$$

Поэтому составная часть уравнения (2)

$$Q_{теор}\,(1 - У_t/100) \equiv Q_{техн}\,,\ 1 - У_t/100 \equiv K_г\,.$$

При статистическом анализе характер изменения $У_t$ объективно идентичен динамике $K_г$. Этим объясняется наличие в представленных ниже результатах обработки статистических данных по карьеру динамики коэффициента технической готовности, так же как и $У_t$, характеризующего тенденции изменения времени простоев в ремонтах оборудования. Вместе с тем все-таки основное

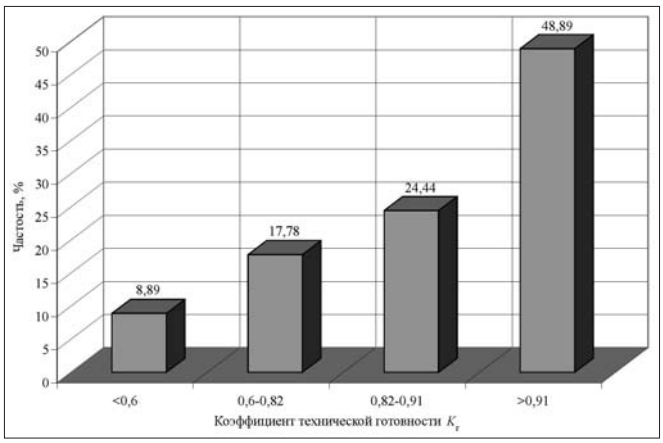


Рис. 1. Гистограмма распределения коэффициента технической готовности экскаваторов ЭКГ-10

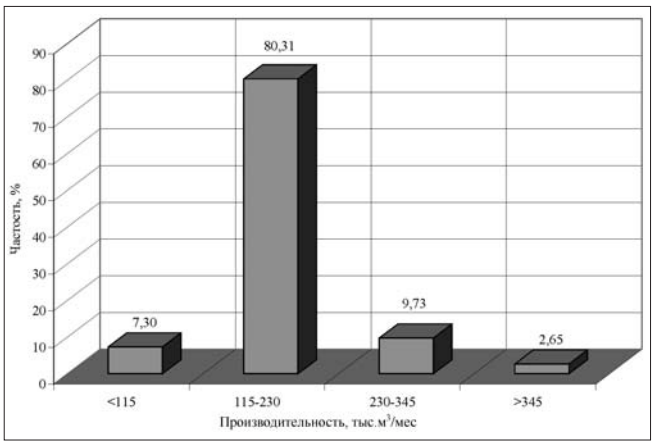


Рис. 2. Гистограмма сменной производительности экскаваторов ЭКГ-10

предпочтение следует, по нашему мнению, отдавать оценкам показателя $У_t$ через построение зависимостей уровня снижения производительности оборудования от сроков его эксплуатации.

Для проверки правильности предлагаемого методологического подхода обработаны соответствующие статистические данные по карьеру "Восточный"с 1997 г., когда начали использоваться экскаваторы ЭКГ-10, автосамосвалы Komatsu (HD785-5), Caterpillar (777D) и с 2006 г. – Terex-Mining (MT-3300).

С этого момента времени до проведения анализа в среднем работали 8 экскаваторов ЭКГ-10 с ковшом вместимостью 10 м^3 со сроками эксплуатации от 3 до 9 лет.

Для установления зависимостей были обработаны месячные рапорты о производительности экскаваторов. В результате было установлено, что коэффициент их технической готовности $K_г$ в среднем составил 0,75 при варьировании в диапазоне, представленном на рис. 1.

На рис. 2 приведена гистограмма динамики месячной производительности экскаваторов ЭКГ-10 за анализируемый период эксплуатации. При сравнении характерных особенностей ее изменения с гистограммой распределения коэффициента технической готовности $K_г$ (см. рис. 1) можно отметить противоположные тенденции, а именно при относительно высоких значениях $K_г$ (0,82 и выше при частости 73,3 %), преобладающая месячная производительность (частость 80,3 %) находится в диапазоне 115...230 тыс. м^3/мес, что соответственно в 3 и 1,5 раза ниже максимально достигнутой – 345 тыс. м^3/мес (противоположные тенденции изменения математических ожиданий гистограмм). Это дает основание предполагать, что в рассматриваемый период преобладающее влияние на снижение производительности оказывало не старение экскаваторов (показатель $У_t$), а реально складывающиеся условия эксплуатации (сокращение и углубление рабочей зоны, возрастающие простои от проветривания карьера, гололеда, тумана, нестабильность работы большегрузного автотранспорта и др.) (показатель $У_м$).

Для оценки одновременного влияния времени года и сроков эксплуатации на производительность экскаваторов ЭКГ-10 имеющиеся статистические месячные данные были сгруппированы по срокам эксплуатации экскаваторов (всего свыше 800 данных). Результаты их обработки показаны на рис. 3. Коэффициент достоверности аппроксимации данных уравнениями алгебраических полиномов четвертого порядка превышает 0,94.

Характер изменения графиков, представленных на рис. 3, обнаруживает следующие важные моменты:

- устойчивость динамики сезонного изменения производительности экскаваторов для различных сроков их эксплуатации (выраженная параллельность кривых);

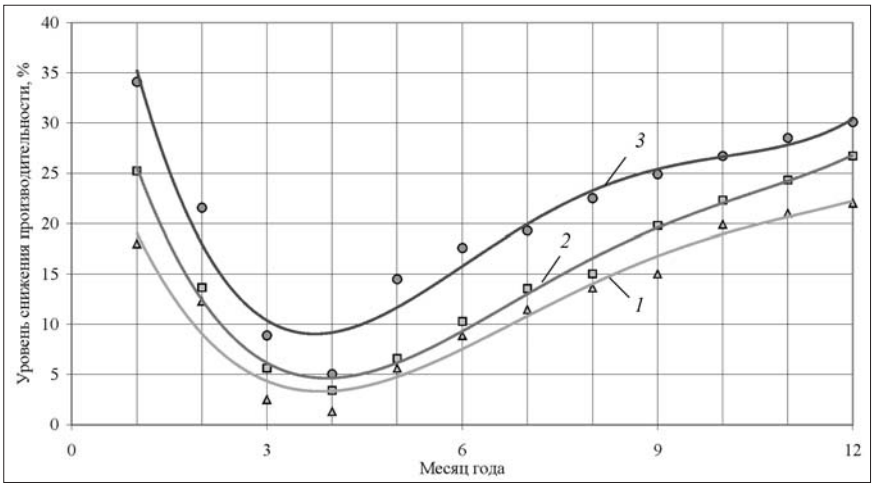


Рис. 3. Динамика уровня снижения производительности экскаваторов ЭКГ-10 в течение года в зависимости от срока эксплуатации:
1 – 5 лет; *2* – 7 лет; *3* – 9 лет

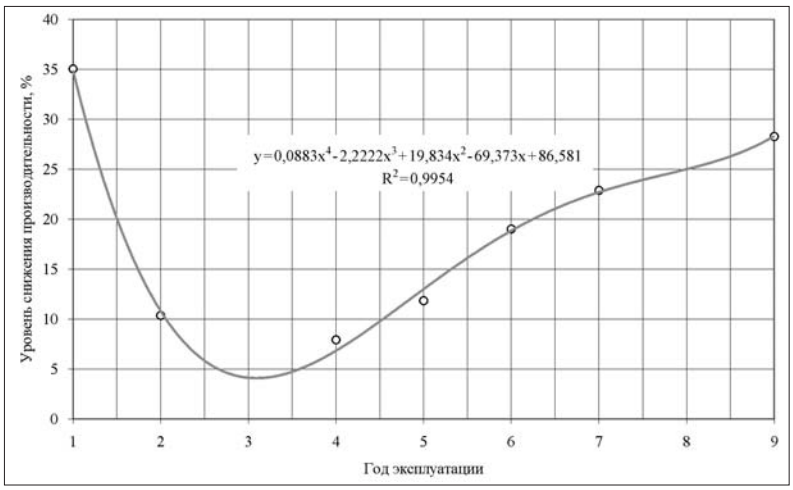


Рис. 4. Зависимость уровня снижения производительности экскаваторов ЭКГ-10 от срока его эксплуатации

- влияние сроков эксплуатации приводит к практически параллельному смещению кривых вверх по оси абсцисс с увеличением длительности, что подтверждает наличие и устойчивое воздействие фактора "старения" экскаваторов;
- техническая сложность по совокупности сезонных кривых получения количественных оценок динамики производительности экскаваторов в течение времени их эксплуатации.

В результате с использованием метода усреднения множества аппроксимированных кривых изменения сезонной динамики производительности по совокупности экскаваторов по каждому году эксплуатации был построен график (рис. 4), с помощью которого можно прогнозировать годовую производительность экскаваторов ЭКГ-10 и его модификаций при использовании их в условиях, близких к карьеру "Восточный".

Характер изменения кривой рис. 4 соответствует образу аналогичных кривых, предлагаемых другими исследователями для анализа общих закономерностей "старения" экскаваторов в эксплуатации. В частности, отчетливо просматривается разбиение на известные периоды эксплуатации: приработки (падающая часть кривой); стабильной производительной работы (нижняя часть кривой); устойчивого "старения" (поднимающая часть кривой).

На основе использованных для экскаваторов методологических подходах были проведены исследования коэффициента технической готовности и временной динамики сменной производительности 14 буровых станков СБШ-250 со сроками эксплуатации от 1 до 9 лет. Станки использовались для бурения пород в полном диапазоне их свойств, характерных для Олимпиадинского месторождения. При обработке статистических материалов сменных, суточных и месячных рапортов (несколько десятков тысяч наблюдений) были построены гистограммы распределения коэффициента технической готовности (рис. 5) и сменной производительности (рис. 6).

Широкий диапазон варьирования коэффициента технической готовности (как показателя надежности) указывает на неравномерный характер расходования ресурса буровых станков по причине использования их в разнообразных горно-геологических условиях (бурение разнопрочных пород в значительной части с режимами предельного нагружения).

Сравнение гистограмм коэффициента технической готовности (диапазон частости 68 % при значениях $K_г \geq 0,76$) и сменной производительности (преобладающее значение 103 м/см, в 1,5 раза ниже максимально достигнутой 155 м/см) позволяет утверждать, что наиболее существенное отрицательное влияние на производительную работу станков оказывают технологические факторы (периоды подготовки горизонтов, проходки траншей, стесненность рабочей зоны при излишней концентрации горного оборудования, проведение взрывных работ), а также сезонность работ.

Последнее явно выраженно подтверждают закономерности изменения гистограмм сменной производительности (рис. 7) (наиболее высокие показатели в период май—август) и уровня снижения сменной про-

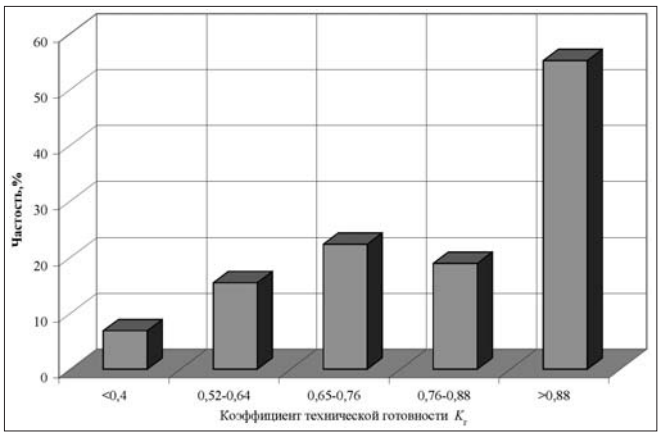


Рис. 5. Гистограмма распределения коэффициента технической готовности буровых станков на карьере "Восточный"

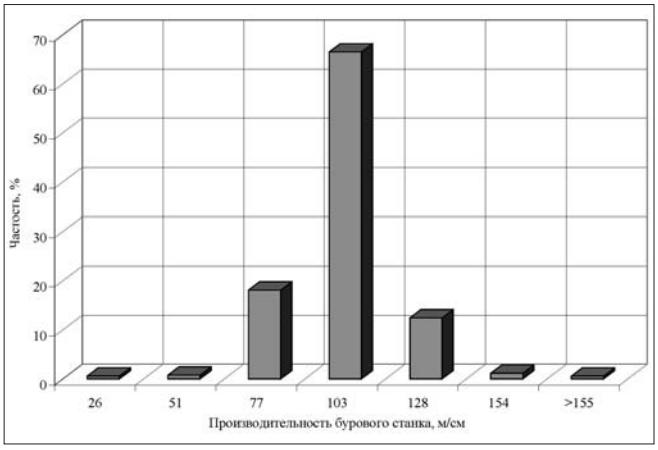


Рис. 6. Гистограмма распределения сменной производительности буровых станков на карьере "Восточный"

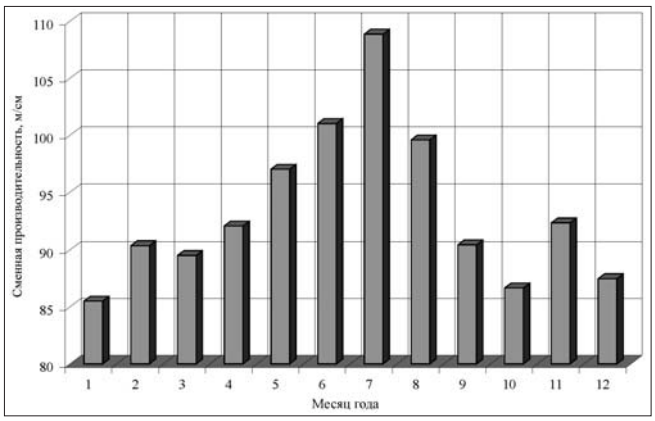


Рис. 7. Гистограмма сменной производительности бурового станка в течение года

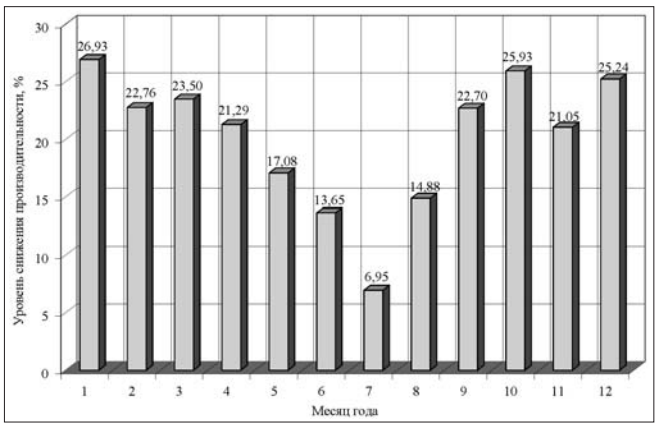


Рис. 8. Гистограмма уровня снижения производительности бурового станка в течение года

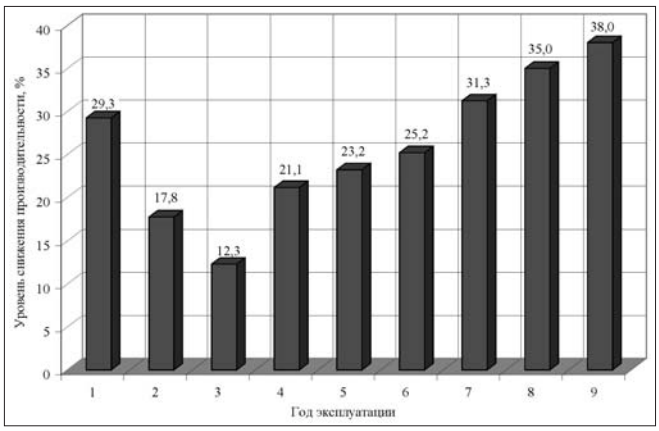


Рис. 9. Влияние срока службы буровых станков на уровень снижения их производительности

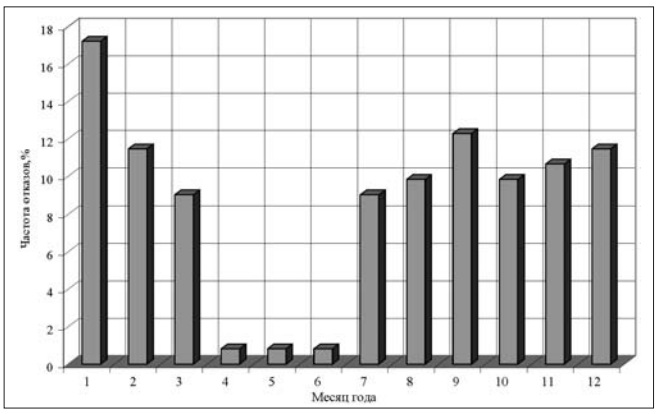


Рис. 10. Гистограмма изменения частоты отказов буровых станков в течение года

изводительности (рис. 8) (наименьшие значения показателей в тот же период май–август).

Гистограмма уровня снижения сменной производительности буровых станков в зависимости от сроков службы (рис. 9) имеет аналогичный экскаваторный характер изменения.

Климатические условия карьера "Восточный" существенно влияют на аварийность буровых станков в периоды низких температур года.

В связи с этим была проведена количественная оценка частоты отказов, используя формулу

$$A = T_i / T_o \cdot 100, \ \%, \qquad (4)$$

где T_i – продолжительность простоев буровых станков из-за аварий в i-м месяце за период работы карьера;

T_o – общие простои буровых станков из-за аварий за период работы карьера.

По результатам оценки была построена гистограмма изменения частоты отказов буровых станков в течение года (рис. 10). Закономерности изменения важно учитывать при планировании буровых работ в течение года и особенно в зонах концентрации горных работ, когда простои из-за

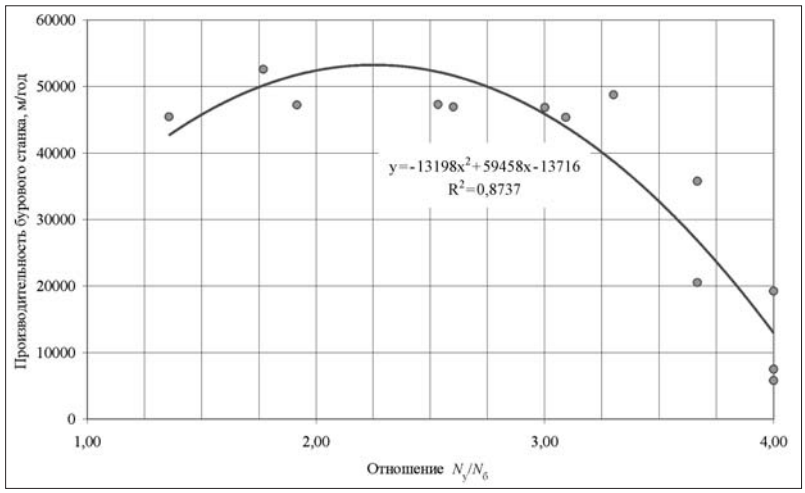


Рис. 11. Влияние отношения количества уступов к числу буровых станков в карьере на их фактическую производительность

аварий буровых станков существенно нарушают ритмичность производственного процесса.

Для оценки влияния протяженности фронта горных работ на производительность бурового станка может быть использована зависимость, представленная на рис. 11. Характер представленной зависимости можно объяснить следующим образом. При постоянном количестве буровых станков в карьере в оцениваемом году число уступов, вовлекаемых в работу, варьируется в широких пределах. При минимальном количестве уступов работы в карьере ведут преимущественно на верхних горизонтах, имеющих большую протяженность фронта работ, в связи с чем буровые станки затрачивают много времени на перегоны. При максимальном количестве уступов работы ведут на нижних горизонтах в стесненных условиях. Экстремум функции, представленной на рис. 11, соответствует условиям работы в промежуточной зоне. Это необходимо учитывать при годовом планировании горных работ при поэтапном их развитии. Реальная динамика изменения концентрации горных работ предопределяет целесообразность использования станков с автономным питанием, например дизель-электрических, обладающих максимальной мобильностью.

Заключение

1. Полученные в ходе настоящих исследований зависимости позволяют прогнозировать производительность буровых станков и экскаваторов при их работе в сложных горно-геологических и климатических условиях, близких к условиям карьера "Восточный".

2. Использование при анализе статистических данных в качестве обобщающих показателей эффективности использования горного оборудования, процентного снижения производительности по основным факторам: его "старение" и совокупному и раздельному влиянию на производительную работу условий эксплуатации позволяет упростить прогнозные расчеты, а также предлагается для проведения аналогичных исследований на других карьерах.

УДК 620.178.325.2

В.И. Миронов, канд. техн. наук, **А.В. Якушев,** асп., УрО РАН, **О.А. Лукашук, Г.А. Боярских,** д-р техн. наук, проф., УГГУ

Усталостный расчет элементов конструкции горных машин с учетом деградации свойств конструкционных материалов при циклическом нагружении

Изложена разработанная авторами методология усталостного расчета элементов несущих конструкций горных машин, базирующаяся на деформационном способе описания процесса усталостного разрушения, а также использующая в качестве контролирующих параметров предельную деформацию и аппроксимированную кинетическую кривую усталостного разрушения. Приведен пример расчета с использованием методологии долговечности боковой рамы вагонной тележки думпкара.

В настоящее время значительная часть горных машин, оборудования обогатительных фабрик и шахт, внутрикарьерного транспорта добывающих отраслей выработала нормативный срок службы, но их остаточный физический ресурс обеспечивает возможность продолжения эксплуатации. Однако при этом необходимо своевременно и достоверно проводить оценку фактического технического состояния для предупреждения наступления опасных аварийных ситуаций.

В целом проблема управления безопасной эксплуатацией горных машин с истекшим сроком службы связана с решением крайне сложных взаимосвязанных задач путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на установление возможного риска и экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации.

Конкретные меры технического характера по увеличению усталостного ресурса металлоконструкций и элементов машин являются предметом большого числа исследований и достаточно хорошо освещены в специальной литературе.

Чаще всего эффективность методов повышения долговечности оценивается через проведение усталостных испытаний образцов, реже у натурных деталей и узлов при воздействии стационарной нагрузки. При этом в лучшем случае строится новая фактическая усталостная кривая конкретной детали и сравнивается с исходной аналогичной кривой, что позволяет дать качественную оценку ожидаемой долговечности. Для количественной оценки нужны проверенные методы расчета долговечности детали в условиях эксплуата-

ции, которые невозможно полностью реализовать даже в натурном эксперименте. Одним из таких методов может быть метод полных диаграмм деформирования (ПДД), в рамках которого строится математическая модель циклической деградации свойств материала [1–3].

Сущность метода в том, что в координатах "номинальные напряжения–деформация" строится кривая, называемая полной диаграммой деформирования испытуемого образца. Форма образцов, средства и техника проведения эксперимента с построением ПДД, результаты испытаний материалов разных классов представлены во многих работах, например [1, 3, 5]. Взаимосвязь статических и циклических свойств ряда конструкционных материалов устанавливается экспериментально на основе построения ППД испытуемых образцов.

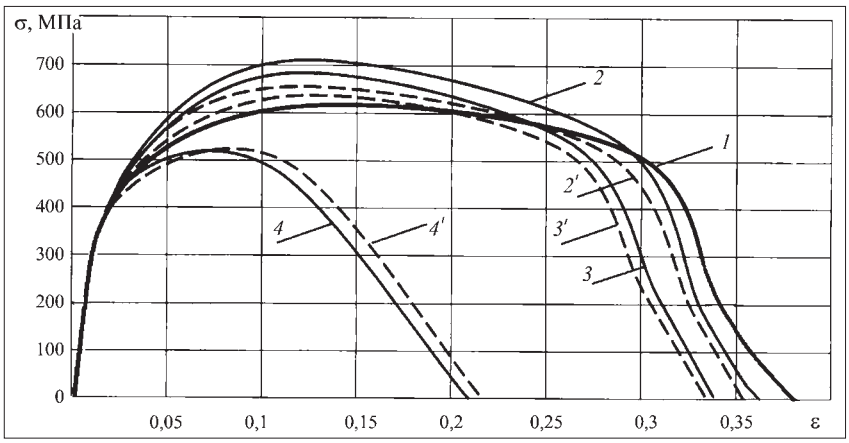


Рис. 1. ПДД литой стали 20ГЛ при разной степени наработки:
1 – $n_т$ = 0; *2* – $n_т$ = 0,026; *2′* – $n_т$ = 0,04; *3* и *3′* – $n_т$ = 0,3; *4* и *4′* – $n_т$ = 0,7

В качестве примера на рис. 1 представлены ПДД при циклическом нагружении для стали 20ГЛ, из которой отливается боковая рама тележки думпкара. Рисунок наглядно показывает, что происходит с исходной ПДД испытуемого образца (кривая *1*) на двух уровнях максимального напряжения цикла: σ_{M1} = = 260 МПа (сплошные линии) и σ_{M2} = 345 МПа (пунктирные линии). По оси ординат – величина напряжения σ (МПа), абсцисс – относительное (от размера образца) удлинение ε при ступенчатом нагружении относительным количеством циклов $n_т$ (долей от количества циклов по усталостной кривой материала для принятых уровней напряжений).

Из представленного семейства кривых следует:

- Предел прочности σ_{max} – максимальное значение напряжения на начальной стадии "тренировки" циклически упрочняющейся стали растет (линии *2*, *2′* и *3*,*3′*), а затем снижается (*4* и *4′*). Наблюдается последовательное снижение предельной пластичности, характеризуемой длиной диаграммы по оси абсцисс.
- Усталостный процесс в литой стали сопровождается ухудшением пластических и прочностных свойств, что нашло отражение в деградации параметров ПДД.
- Кинетика процессов для разных уровней напряжений в области многоцикловой усталости качественно сходна, что проявляется в близости сплошных и пунктирных диаграмм.
- В качестве параметров, контролирующих усталостный процесс в материале, в общем случае можно использовать предел прочности $S_B(\sigma_M; n)$, предельную деформацию $\varepsilon_P(\varepsilon_M; n)$ или площадь под ПДД, тем самым выбирая соответственно силовой, деформационный или энергетический способ описания процесса, а также подходящую функцию для аппроксимации кинетической кривой.

Для сталей авторы в качестве контролирующего параметра предлагают использовать предельную деформацию и степенную аппроксимацию кинетических кривых, представленных на рис. 1 для каждого (n) режима цикличного нагружения

$$\varepsilon_P(\varepsilon_M; n) = \varepsilon_{P0} - k_\varepsilon n^m, \quad (1)$$

где ε_{P0} – относительное удлинение для режима нагружения, когда n = 0, m – опытная константа (для литых сталей m = 1,9), а коэффициент k_ε определяется из условия усталостного разрушения, когда предельная деформация ε_P имеет максимально возможное значение ε_{PM}

$$\varepsilon_P(\varepsilon_M; N) = \varepsilon_{PM}. \quad (2)$$

Предельная деформация ε_{PM} фиксируется в тот момент, когда сопротивление материала снижается до уровня максимального напряжения при N-й (для испытуемой стали по кривой усталости) цикличности нагружения, когда имеет место равенство

$$S_B(\sigma_M; N) = \sigma_{PM}, \quad (3)$$

которое является критерием усталостного разрушения при силовом подходе, а число циклов N определяется по известной в теории сопротивления материалов диаграмме Велера. Следовательно, разные критерии (2) и (3) при оценке физической сущности усталостного разрушения эквивалентны.

Испытания показали, что известная гипотеза линейного суммирования повреждений дает приемлемый прогноз остаточного ресурса. Однако более точные оценки достигаются на основе опытных кинетических кривых, аппроксимированных уравнением (1), схема использования которых приведена на рис. 2.

Пусть кривые *1* и *2* построены на уровнях максимальных деформаций ε_{PM1} и ε_{PM2} по формуле (1). Точки *A* и *B* на усталостной кривой *3* (рис. 2) определяют долговечности (цикличности нагружения) N_1 и N_2 до разрушения в соответствии с критерием (2). В деформационном подходе постулируется, что два состояния материала, помеченные на рис. 2 буквами *D* и *C*, по объему повреждений эквивалентны при одной и той

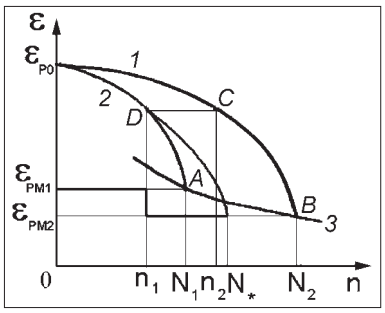
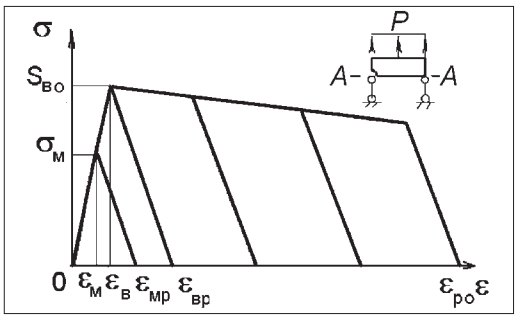


Рис. 2. Циклически эквивалентные состояния материала при разной истории нагружения

←

Рис. 3. Циклическое "вырождение" схематизированной ПДД

→



же длине ПДД. Условие эквивалентности можно выразить равенством

$$\varepsilon_P(\varepsilon_{M1}; n_1) = \varepsilon_P(\varepsilon_{M2}; n_2). \quad (4)$$

Рассматривая совместно выражения (1) и (4), можно определить эквивалентное число циклов n_2, которое потребовалось бы на уровне $\varepsilon_{M2} = \sigma_{M2}/E$ для такого же разрушения, что произошло и на уровне $\varepsilon_{M1} = \sigma_{M1}/E$ за n_1 циклов нагружения. Долговечность N_* при ступенчатом (n_1 и n_2) изменении нагрузки

$$N_* = n_1 + (N_2 - n_2) = n_1 + N_2 - N_2\left(\frac{n_1}{N_1}\right)\left(\frac{\varepsilon_{PO} - \varepsilon_{PM1}}{\varepsilon_{PO} - \varepsilon_{PM2}}\right)^{\frac{1}{m}}.$$

Долговечность N_* в приведенной формуле отличается от таковой по линейной гипотезе последним множителем, отражающим эффект воздействия напряжений различного уровня. Известно, что линейное суммирование повреждений дает тем большую ошибку в прогнозе долговечности, чем больше разница в уровнях напряжений спектра.

В рассмотренной схеме учет "истории" нагружения сводился к определению деформации $\varepsilon_P(\varepsilon_{M1}; n)$. В общем случае, для сложной "истории" изменения уровня деформаций цикла $\varepsilon_M(n)$ вместо формулы (4) можно сформулировать условие эквивалентности при переходе на k-й уровень деформации

$$\varepsilon_P(\varepsilon_M(n);\ n_{K-1}) = \varepsilon_P(\varepsilon_{MK}; n_k). \quad (5)$$

Соответственно может быть представлен и критерий усталостного разрушения (2):

$$\varepsilon_P(\varepsilon_M(n); N) = \varepsilon_{PMK}. \quad (6)$$

Отметим, что аналогичный критерий при силовом подходе

$$S_B(\sigma_M(n); N) = \sigma_{MK}$$

выражает условие сопротивления материала с уровнем максимального напряжения цикла нагружения и является обобщением критерия статической прочности при усталостном нагружении [1].

Формулы (1), (5) и (6) представляют формализованную модель циклической "деградации" статических свойств материала при сложной "истории" изменения циклической нагрузки и одноосном напряженном состоянии. Для использования их в расчетах долговечности элементов сложных конструкций требуется установить эквивалентную (по числу циклов нагружения до разрушения) деформацию. В конкретной тестовой задаче расчета ресурса пластины с центральным круговым отверстием была использована интенсивность деформаций, которая определялась при установлении напряженно-деформированного состояния (НДС) с использованием модуля конечно-элементного анализа COSMOS Works.

В методике расчета долговечности пластины была задействована опытная информация о циклических свойствах материала, в частности усталостная кривая в виде, характерном для пульсирующих напряжений

$$\sigma_M^{\alpha} N = \sigma_R^{\alpha} N_0, \quad (7)$$

где σ_M – интенсивность максимальных напряжений цикла, связанная с интенсивностью деформаций ε_M; N_0 – базовая долговечность; α – показатель степени асимметрии (определяются по справочным таблицам).

Предел выносливости σ_R в ходе расчета корректируется по мере изменения асимметрии цикла, например, по формуле

$$\sigma_R = \frac{\sigma_{-1} + (1-\Psi)\sigma_m}{k/q\beta}, \quad (8)$$

где σ_{-1} – предел выносливости при симметричном цикле напряжений; Ψ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла; σ_m – среднее напряжение цикла.

Коэффициенты k, q, β учитывают влияние концентрации напряжений, масштабный фактор и состояние поверхности. Данные коэффициенты вводятся в расчет числа циклов нагружения до появления трещины.

Используя операцию "убивания" элементов, в которых выполняется условие усталостного разрушения (6), можно рассчитать также число циклов стабильного роста трещины. При этом критерий статической прочности изменялся в зависимости от стадии циклирования (падающие ветви аппроксимированной ПДД на рис. 3).

На стадии, когда $\varepsilon_P(\varepsilon_M; n) \geq \varepsilon_{BP}$, действует условие $\sigma_M \geq S_O$, в последующем – $\sigma_M \geq DE\varepsilon_P(D + E)^{-1}$, где D – модуль спада, равный тангенсу угла наклона падающей ветви ПДД; E – модуль упругости. Критерием усталостного разрушения пластины в целом служило отсутствие положения равновесия при переходе в ста-

дию неустойчивого деформирования. Выбранные критерии исключают работу материала на падающей ветви ПДД и дают поэтому нижнюю оценку долговечности.

Для расчета ресурса деталей использовались следующие программные продукты: система пространственного моделирования Solid Works; модуль конечно-элементного анализа COSMOS Works; программа баз данных Microsoft Access; язык программирования Visual Basic for Applications (VBA).

Методика расчета ресурса деталей отрабатывалась в задаче определения долговечности пластины с отверстием. Пластина, четверть которой изображена на вставке рис. 3, разбивалась на пространственные тетраэдральные конечные элементы. Общее количество конечных элементов в модели 10628. Всем конечным элементам задавались одинаковые исходные свойства: $E = 0{,}8\times10^4$ МПа – модуль упругости, $\nu = 0{,}23$ – коэффициент Пуассона, $S_{BO} = 180$ МПа – предел прочности.

Величина силы $P_{\min} = 0$, $P_{\max} = 830$ Н при "мягком" пульсирующем нагружении оставалась неизменной и определялась из того условия, чтобы максимальное напряжение по Мизесу в наиболее нагруженном конечном элементе по сечению $A–A$ не превышало $\sigma_B/2 = 90$ МПа. Затем выполнялся расчет НДС в программе COSMOS Works с определением напряжений в каждом конечном элементе пластины.

Далее проводился обычный расчет числа циклов до появления трещины. По формуле (8) определялся расчетный предел выносливости для наиболее нагруженного конечного элемента в пластине $\sigma_r = 45$ МПа при $\sigma_{-1} = 92$ МПа; $k = 3$; $\varepsilon = \beta = 1$ и $\psi = 0{,}05$. По усталостной кривой (7) при $N_0 = 10^6$ и $\alpha = 4$ находилось число циклов $N(\sigma_{\max}) = 62500$ до разрушения наиболее нагруженного элемента на краю отверстия пластины. С помощью специально написанной программы на языке VBA на базе Microsoft Access по формуле (1) находилось текущее значение предельной деформации в каждом конечном элементе.

Дальнейшие расчеты сводятся к определению состояний равновесия поврежденной пластины при продолжающемся "вырождении" свойств материала. "Убиваем" крайний элемент, задавая ему нулевые свойства, и определяем новое НДС в пластине с отверстием и с зародившейся трещиной. При этом в отдельных элементах возможно нарушение условия статической прочности. Не продолжая циклирования, "убиваем" данные элементы и снова решаем статическую задачу по определению НДС. Повторяем процедуру до тех пор, пока во всех элементах условие прочности будет выполнено, устанавливая тем самым новое положение равновесия пластины. Теперь пластина "готова" к дальнейшему циклированию.

Перераспределение напряжений, вызванное усталостным разрушением крайнего элемента, приводит к нерегулярному нагружению уцелевших элементов при стационарной внешней нагрузке. По условию (5) находится эквивалентное число циклов $n_{э1}$ в каждом элементе и добавляется некоторое число циклов dn. По формуле (1) при $n = n_{э1} + dn$ находится новое значение предельной деформации материала в каждом элементе и проверяется условие (6). Если разрушенных от усталости элементов нет, то добавляется еще dn циклов. При появлении разрушенного от усталости элемента циклирование прекращается, элемент "убивается" и проводится описанная выше процедура поиска нового состояния равновесия пластины с "подросшей" трещиной. Отсутствие такого состояния на некотором шаге расчета означает разрушение пластины.

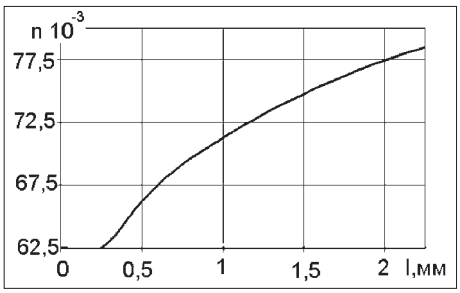


Рис. 4. Устойчивый рост трещины в пластине

По описанному алгоритму разработана упомянутая выше компьютерная программа. На рис. 4 приведена зависимость длины трещины от числа циклов нагружения на стадии равновесного подрастания усталостной трещины в пластине шириной 30 мм с отверстием диаметром 3 мм. Расчетная долговечность пластины до полного разрушения составила 78489 циклов. При том же исходном напряженном состоянии, но заданных на границе циклических перемещениях, долговечность возрастает до 309470 циклов и трещина пересекает пластину равновесно.

Методика детерминированной оценки ресурса элементов конструкций, отработанная на пластине с отверстием, может быть реализована в расчете долговечности реальных изделий. В качестве примера приведем результаты расчета ресурса боковой рамы вагонной тележки, в значительной мере определяющей надежность карьерного железнодорожного транспорта [8]. На раму действует сложный спектр эксплуатационных нагрузок. В расчете приняты условия нагружения рамы, рекомендованные для проведения натурных стендовых испытаний [9], что позволит сравнить прогнозируемую долговечность с экспериментальными данными.

Стандартные свойства стали 20ГЛ, из которой изготовлена рама, в нормализованном состоянии: предел текучести $\sigma_T = 340$ МПа; модуль упругости $E = 2\times10^5$ МПа; коэффициент поперечной деформации $\nu = 0{,}3$; предел выносливости гладкого полированного образца $\sigma_{-1} = 215$ МПа; показатель степени кривой усталости $\alpha = 4{,}5$ не зависит от асимметрии цикла. Исходные данные о свойствах стали 20ГЛ дополняются данными специальных испытаний, приведенными выше: $\varepsilon_{P0} = 0{,}3884$; $m = 1{,}9$.

Максимальная нагрузка цикла $P_{\max} = 60$ тс действовала посредине рамы в месте установки рессорного комплекта (рис. 5). При значении минимальной нагрузки $P_{\min} = 10$ тс средняя нагрузка цикла $P_m = 35$ тс.

Исходный предел выносливости σ_{-1}, определенный по формуле (8), составил 155,4 МПа. При этом полагалось [9]: $\psi = 0{,}05$ – коэффициент чувствитель-

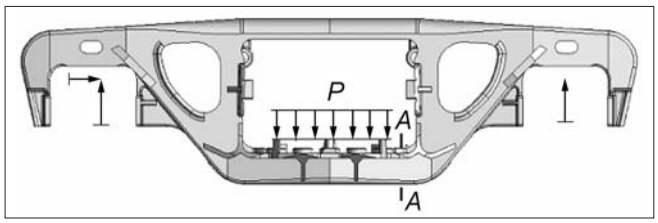


Рис. 5. Схема нагружения и опасное сечение *А–А* боковой рамы вагонной тележки

ности стали к асимметрии цикла; $k = 1,5$ – эффективный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий снижение сопротивления усталости в связи с местными изменениями формы и размеров детали; $\varepsilon = 0,85$ – коэффициент масштабного эффекта; $\beta = 0,8$ – коэффициент влияния качества поверхности (для черновой поверхности с литейной коркой). Таким образом, в предлагаемой инженерной методике оценки ресурса рамы задействуется ценный опытный материал, накопленный за долгие годы проектирования и эксплуатации вагонных тележек.

В модуле конечно-элементного анализа COSMOS Works, интегрированного в систему Solid Works, строилась конечно-элементная модель боковой рамы и по заданным нагрузкам цикла определялась соответствующая интенсивность напряжений в элементах рамы. Дальнейшая процедура расчета рамы не отличается принципиально от расчета пластины с отверстием. По алгоритму расчета долговечности пластины с отверстием создана новая рабочая программа для детерминированной оценки ресурса боковой рамы тележки. В результате расчета прогнозируемое количество циклов до появления усталостной трещины в боковой раме составило $N_{тр} = 1672580$, до разрушения $N_{разр} = 1845200$. Зарождение усталостной трещины в углу рессорного проема (рис. 5), предсказанное расчетом, наблюдается и в большинстве испытанных рам. По результатам испытаний 33 рам (данные ПО "Уралвагонзавод") среднее арифметическое значение чисел циклов нагружения до появления усталостной трещины составило 1678570, а до разрушения боковых рам 2018100.

Фактическое число циклов развития трещины, определяющее живучесть или эксплуатационную надежность рамы, оказалось выше расчетного. Методика на основе модели циклической "деградации" материала дает консервативную оценку числа циклов развития усталостной трещины, в то время как проверочный расчет на основе гипотезы линейного суммирования повреждений дает прогноз живучести в десятки миллионов циклов. Тем не менее, вопрос о включении расчетной живучести в общий ресурс боковой рамы тележки остается открытым. По данным тех же натурных испытаний среднеквадратичное отклонение числа циклов до разрушения рам составило порядка 400 тысяч циклов. Ясно, что любое усовершенствование методов расчета изделий будет малоэффективным в условиях нестабильной технологии производства и при низком качестве контроля продукции.

В данной работе основополагающая идея о взаимосвязи статических и циклических свойств материала нашла отражение в постановке базовых экспериментов, выборе параметров циклического состояния материала, формулировке критериев усталостной прочности, в определении эквивалентных состояний материала при разной "истории" нагружения и в процедуре расчета долговечности элементов конструкций. Разумеется, методика расчета усталостного ресурса на основе модели циклической "деградации" материала не ограничивается приведенными для примера пластиной с отверстием или боковой рамой тележки думпкара. Достаточно провести идентификацию модели с материалом конкретной детали путем постановки описанного выше нестандартного эксперимента.

Тот же эксперимент позволяет дать оценку влияния на долговечность того или иного эксплуатационного фактора. Установлено, например, что длина ПДД, определяющая пластичность и ресурс материала, зависит от химического состава, содержания водорода, импульсной нагрузки, температуры. По изменению длины ПДД можно судить о необходимости учета данного фактора в расчетах долговечности или о погрешности, вносимой отказом от его учета. В целом метод полных диаграмм открывает новые широкие возможности по осуществлению мер технического характера в управлении безопасной эксплуатацией нерегулярно нагруженных конструкций проектируемых и действующих горных машин и оборудования добывающих отраслей.

Список литературы

1. **Миронов В.И.** Моделирование циклического деформирования и разрушения элементов конструкций после перехода материала на стадию предразрушения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 1995. 19 с.

2. **Волков С.Д., Миронов В.И.** Метод функций сопротивления в расчетах конструкций на долговечность // УПИ: Свердловск, 1978. 33 с. Деп. ВИНИТИ, № 1883-7 РЖ Механика, 1978. № 6. 71 с.

3. **Лебедев А.А., Чаусов Н.Г.** Установка для испытания материалов с построением полностью равновесных диаграмм деформирования // Проблемы прочности. 1982. № 2. С. 11–14.

4. **A.C.G 01 №3/08 Миронов В.И., Андронов В.А., Якушев А.В. и др.** Устройство и способ для испытания образцов материалов на растяжение //Бюл. 2005. № 13.

5. **Волков С.Д., Гуськов Ю.П., Кривоспицкая В.И. и др.** Экспериментальные функции сопротивления легированной стали при растяжении и кручении // Проблемы прочности. 1979. № 1. С. 3–5.

6. **Драгон А., Мруз З.** Континуальная модель пластически хрупкого поведения скальных пород и бетона // Механика деформируемых твердых тел. Направления развития. М.: Мир, 1983. С. 163–188.

7. **Миронов В.И., Стружанов В.В., Якушев А.В.** Особенности усталостного процесса стали 35 // Заводская лаборатория. 2004. № 6. Т. 70. С. 51–54.

8. **Фесенко С.Л., Осинников Б.Н., Неугодников Д.Н. и др.** Выбор и обоснование основных показателей надежности думпкаров. Екатеринбург: Изв. УрГГГА. 2001. № 12. С. 147–156.

9. **Надрессорные** балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытания на усталость. М.: ГосНИИВ.

УДК 629.113.004.57

П.Ф. Бойко, канд. техн. наук, гл. механик, Стойленский ГОК

Восстановление работоспособности зубчатых колес шаровых мельниц

Описана ремонтная технология, применяемая для восстановления точности большого числа крепежных отверстий крупногабаритной венцовой шестерни, и условия достижения ее качеств. Реализация предложенной технологии предусматривает применение переносного сверлильного станка.

Шаровые мельницы МШЦ 55×65 с центральной разгрузкой предназначены для мокрого шарового измельчения руд. При отсутствии футеровки внутренний диаметр барабана мельницы – 5500 мм; длина корпуса барабана – 6500 мм; номинальный рабочий объем барабана – 140 м^3; масса загрузки барабана шарами – не более 275 т, а масса всей мельницы – 634,4 т. К разгрузочной торцовой стенке барабана крепится зубчатый венец, передающий вращение барабану. Диаметр зубчатого венца – *Ф* 6391,45 мм, вес – 47347 кг, частота вращения барабана от привода мельницы – 13,69 мин$^{-1}$.

Венцовая шестерня имеет нормальный модуль m_n-25, число зубьев z-252. Шестерня состоит из 4 секторов и собирается в одно колесо на рабочем месте перед установкой на мельницу.

Соединение венцовой шестерни и крышки барабана конструктивно осуществляется болтами М64×300, расположенными по периметру окружности *Ф* 3300$^{\pm1}$ мм. Количество болтов: черновых – 12 шт., чистовых – 24 шт., диаметр отверстий под болты *Ф* 67Н9. Точность расположения отверстий по периметру определяется угловым шагом $10^{\circ\,\pm03'}$.

Номинальный срок службы венцовой шестерни – 5 лет, однако в результате действия больших динамических нагрузок происходят разбивание крепежных отверстий и повреждение зубчатого венца. В результате этого при выполнении капитальных ремонтов выполняют замену торцевых стенок, патрубков и зубчатых венцов.

Для восстановления либо замены венцовой шестерни непосредственно на рабочем месте была разработана новая ремонтная технология. Для реализации этой технологии был спроектирован и изготовлен на базе агрегатной силовой головки специальный мобильный сверлильный станок, обеспечивающий выполнение механической обработки чистовых отверстий *Ф* 58Н9 и *Ф* 67Н9.

Обработку отверстий выполняют за два перехода сверлением и последующим зенкерованием. Восстанавливаемое отверстие в начале рассверливают с *Ф* 64 до *Ф* 72 мм при глубине t = 4 мм и осевой подаче S = = 150 мм/мин. Затем выполняют зенкерование отверстия с *Ф* 72 до *Ф* 74 мм при глубине t = 1 мм и осевой подаче S = 23 мм/мин. При частоте вращения шпинделя n = 65 мин$^{-1}$ скорость резания при сверлении составляет v = 14,7 м/мин. Выбранные режимы обеспечивают получение требуемой шероховатости поверхности отверстий по R_a = 2,5. Обработка отверстий с использованием переносного станка показана на рисунке. Сверление и зенкерование выполняют с обильной подачей СОЖ. Перед обработкой переносной станок выставляют в требуемое положение и фиксируют болтами. Переход на позицию каждого нового отверстия осуществляют путем поворота барабана мельницы на требуемый угловой шаг. Требуемая точность относительного положения восстанавливаемых отверстий непосредственно зависит от точности установки переносного станка, схематично показанного на рисунке и который базируется по трем плоскостям

$$T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta y_4, \Delta y_5, \Delta x_6),$$

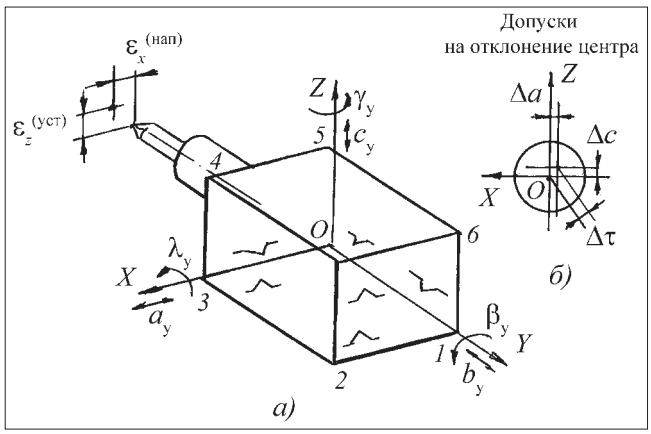
где Δz_1, Δz_2, Δz_3 – перемещения для установки в плоскости *XOY*;

Δy_4, Δy_5 – перемещения для установки в плоскости *XOZ*;

Δx_6 – перемещение для установки в плоскости *ZOY*.

Наличие погрешности установки станка, определяемое вектором

$$\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y), \qquad (1)$$



Установка переносного станка

означает формирование на основных базах станка (координатная система *OXYZ*) трех параметров смещения (a_y, b_y, c_y) и трех параметров поворота (λ_y, β_y, γ_y).

Отклонение вершины сверла от требуемого положения ε_x, ε_z в направлении осей *X* и *Z* проявляется как приведенная погрешность установки станка, которая зависит как от составляющих вектора ω_y, так и от положения вершины инструмента относительно основных баз станка [1]:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x^{(\text{нап})} \\ \varepsilon_z^{(\text{уст})} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_x^{(\text{нап})} \\ c_y^{(\text{уст})} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & z & y \\ y & x & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \lambda_y^{(\text{уст})} \\ \beta_y^{(\text{уст})} \\ \gamma_y^{(\text{нап})} \end{vmatrix}, \qquad (2)$$

где *x*, *y*, *z* – координаты, определяющие положения вершины сверла относительно основных баз станка.

Отклонения вершины сверла установленного станка не должны превышать допусков на смещение центров крепежных отверстий.

Согласно техническим требованиям положение центра крепежных отверстий определяет допуск на отклонение расположения их диаметров *Ф* 1 мм. В общем случае смещение (отклонение) центра отверстия $\Delta\tau$ в плоскости *XOZ* (см. рис. 1, *б*) определяется как результат двух смещений Δ_a, Δ_c, формируемых в направлении координатных осей *X*, *Z*

$$\Delta\tau = \sqrt{\Delta_a^2 + \Delta_c^2}\,. \qquad (3)$$

Для отверстия *Ф* 74Н9 наибольшее смещение в пределах допуска расположения составляет $\Delta\tau$ = = 0,5 мм и при $\Delta_A = \Delta_Г$ получим

$$\Delta_A = \Delta_Г = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{2}} = 0{,}35 \text{ мм.}$$

Это означает, что предельные (верхнее и нижнее) значения параметров смещения Δ_a, Δ_c составят:

$$\begin{bmatrix} \Delta_a^{\text{в}} \\ \Delta_a^{\text{н}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_c^{\text{в}} \\ \Delta_c^{\text{н}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}35 \\ 0 \end{bmatrix}. \qquad (4)$$

Требование, определяющее допустимый перекос оси отверстия $\Delta\varphi$ (мм/м), регламентируемое как отклонение от перпендикулярности оси к плоскости *XOZ* определяют угловые параметры λ и γ (см. рисунок). Перекос оси $\Delta\varphi$ возникает в результате формирования угловых отклонений Δ_λ, Δ_γ, формируемых в координатных плоскостях *YOZ* и *XOY*:

$$\Delta^2\varphi = \Delta_\lambda^2 + \Delta_\gamma^2. \qquad (5)$$

Допускаемое в пределах половины допуска расположения угловое отклонение $\Delta\varphi$ при длине отверстия L = 150 мм составляет $\Delta\varphi$ = 0,25/150. При равной вероятности формирования одинаковых угловых отклонений $\Delta_\lambda = \Delta_\gamma$ согласно (5) имеет место равенство:

$$\Delta_\lambda = \Delta_\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}}\Delta\varphi = 0{,}18/150. \qquad (6)$$

В соответствии с этим для достижения требуемой точности положения центров восстанавливаемых отверстий отклонения вершины инструмента переносного станка не должны превышать:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_y^{(\text{нап})} \\ \varepsilon_z^{(\text{уст})} \end{vmatrix} \le \begin{vmatrix} \Delta_a \\ \Delta_c \end{vmatrix}. \qquad (7)$$

В числовых значениях это означает:

$$\{\varepsilon_x^{(\text{нап})} = \varepsilon_z^{(\text{уст})}\} \le 0{,}35.$$

В свою очередь, для достижения требуемой точности углового положения осей восстанавливаемых отверстий необходимо выполнение условий:

$$\begin{bmatrix} \lambda_y \\ \gamma_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_\lambda \\ \Delta_\gamma \end{bmatrix}, \ \{\lambda_y = \gamma_y\} \le 0{,}18/150. \qquad (8)$$

Приведенные выражения определяют условия точной установки переносного сверлильно-расточного станка, при которых обеспечивается достижение требуемой точности пространственного положения восстанавливаемых крепежных отверстий венцовой шестерни.

Список литературы

1. **Проектирование** технологии автоматизированного машиностроения // под редакцией Ю.М. Соломенцева. М.: Высшая школа, 1999. 416 с.

УДК 629.113.004.57

П.Ф. Бойко, канд. техн. наук, гл. механик, Стойленский ГОК, **В.У. Мнацаканян**, д-р техн. наук, МГТУ им. А.Н. Косыгина

Применение антифрикционных покрытий для восстановления работоспособности эксцентриковых стаканов дробилок

Описана ремонтная технология восстановления поверхностей скольжения эксцентрикового стакана дробилок газопламенным напылением баббита, используемая Стойленским ГОКом и обеспечивающая повышение качества ремонтных работ.

Эксцентриковый стакан (эксцентрик) с большой конической шестерней является наиболее нагруженным узлом дробилок, применяемых для размельчения рудной породы.

Материал эксцентрика – сталь 30Л. Эксцентрик представляет собой стакан, используемый в подшипнике скольжения по наружной и внутренней цилиндрической поверхностям. Рабочие поверхности его заливают баббитом. Внутреннюю поверхность заливают целиком, наружную – на 3/4 длины окружности (270°) в утолщенной части. Для удержания баббитовой заливки по внутренним стенкам вытачивают кольцевые пазы в форме "ласточкина хвоста" с шагом 150...170 мм (в зависимости от типоразмера дробилки). По наружной поверхности протачивают продольные пазы таких же размеров с шагом 24°. Кроме этого, просверливают сквозные отверстия диаметром 15...18 мм по окружности с шагом 150...200 мм, по высоте – 150 мм. Шероховатость поверхности после обработки внутренней (рабочей) поверхности втулки должна быть по R_a не ниже 1,25 мкм.

Масса эксцентрика и конической шестерни для дробилок крупного дробления составляет 16,1 т. Рассматриваемую опору рассчитывают на удельное давление не выше p = 2 МПа, допустимое давление p = = 7...8 МПа. Скорость скольжения v не превышает 5 м/с.

Готовые кольца эксцентрика должны отвечать следующим техническим требованиям:

- коробление допускается до 0,1 мм на диаметр;
- разностенность по толщине не более 0,1 мм;
- смещение отверстий крепления от их номинального положения не более 1 мм в любую сторону;
- шероховатость обработки рабочих поверхностей по R_a не ниже 1,25 мкм;
- твердость стальных колец (48...53) HRC;
- наличие у каждой смазочной канавки скосов глубиной до 0,2 мм для гарантированной подачи смазки в зону трения.

Большой поток силовой нагрузки, передаваемый через вращающийся эксцентрик, вызывает его значительный износ по базовым рабочим поверхностям, залитым баббитом. Для восстановления работоспособности эксцентрика разработана специальная технология нанесения антифрикционного покрытия в местах износа.

Согласно новой технологии внутренние и наружные поверхности стакана восстанавливают путем напыления газопламенным способом баббитового покрытия. Данная ремонтная технология применяется взамен первоначальной заливки баббитового слоя.

При газопламенном способе нанесения покрытия в качестве рабочего газа используют смесь ацетилена с кислородом, так как данная горючая смесь обеспечивает наиболее высокую температуру газового пламени в пределах 3000...3200 °С. В качестве транспортирующего газа используют сжатый воздух.

Напыляемый материал подается в виде порошка из накопителя по специальным каналам. Состав напыляемого материала идентичен баббитам известных марок, в частности Б16 и Б83, состав которых приведен в [1].

Важно, чтобы напыляемый материал соответствовал составу баббита, полученного первоначальной заливкой.

Применение баббитового слоя, полученного напылением, обеспечивает более высокие эксплуатационные свойства подшипниковых опор по сравнению с первоначальной технологией получения антифрикционного слоя заливкой, что определяется следующим:

- в результате напыления на поверхности и по глубине наносимого слоя создается пористость, обеспечивающая сохранение масляной прослойки для снижения коэффициента трения;
- восстановление путем напыления исключает возможность отслоения баббитового покрытия, которое зачастую имеет место при восстановлении путем повторной заливки;
- исключение возможности формирования характерных для центробежного литья дефектов поверхностного слоя в виде газовых раковин и усадки;
- нанесение покрытий напылением обеспечивает равномерность толщины создаваемого слоя, что позволяет получить равномерный припуск под отделочную обработку, и гарантирует достижение высокой точности восстанавливаемых базовых поверхностей.

Для восстановления рабочей поверхности нижнего кольца в виде покрытия может быть использована также оловянисто-свинцовистая бронза.

В общем случае заменой напыляемого баббита может быть также алюминевая бронза, дополнительно легированная железом, никелем и (или) марганцем. Все эти материалы обладают высокими механическими и антифрикционными свойствами, корозионно устойчивы и используются для ремонта поверхностей скольжения. Однако применение этих сплавов представляется более дорогостоящим.

Бронзовые материалы, используемые для покрытий, обладают более высокой твердостью по сравнению с баббитовым покрытием. При этом для некоторых видов бронзового покрытия характерным является дополнительное упрочнение, имеющее место в процессе напыления, обусловленное быстрым охлаждением при кристаллизации. Это явление по существу характеризует процесс закалки, в результате чего имеет место снижение пластичности бронзового покрытия. При этом в формируемом покрытии возникают концентраторы напряжений, что накладывает ограничения на толщину наносимого бронзового покрытия.

Следует отметить, что с увеличением пластичности напыляемого материала представляется возможным увеличить толщину напыляемого слоя. На практике рекомендуемая толщина бронзового покрытия составляет от 0,5 до 6 мм. Между тем как баббитовое покрытие обеспечивает возможность создания его толщиной до 14 мм.

Газопламенный способ нанесения баббитового покрытия обеспечивает значительное снижение трудоемкости выполняемых ремонтных работ по сравнению с восстановлением антифрикционного слоя путем заливки по методу центробежного литья. Если восстановление рабочего антифрикционного слоя по старой технологии требует применения специальной установки для центробежного литья, то восстановление напылением не требует подобной дорогостоящей установки. Весь процесс осуществляется на модернизированном карусельном станке, на суппорт которого устанавливают газопламенный пистолет. При наличии робота-манипулятора, устанавливаемого непосредственно на восстанавливаемый стакан, представляется возможным осуществить восстановление изношенных внутренних и наружных цилиндрических базовых поверхностей без демонтажа стакана с агрегата-дробилки.

Список литературы

1. **Материаловедение:** Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общей редакцией Б.Н. Арзамасова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 648 с.

ИНФОРМАЦИЯ

Ф. Фэдерб, директор горно-рудного направления в Европе, **Р. Санчес,** менеджер по маркетингу в Европе, **А.Д. Табарин,** региональный менеджер СНГ, Акционерное общество ESCO

ESCO в России

Рассматриваются различные системы защит от износа рабочего оборудования карьерных, гидравлических, роторных и шагающих экскаваторов, предложенные фирмой ESCO.

В 1913 г. в г. Портлэнд, штат Орегон, США Чарльз Свигерт основал сталелитейную компанию Electric Steel Foundry. В литейном цехе использовалась современная печь, которая работала не на коксе, а на электричестве – первая такая печь на западном побережье Соединенных Штатов. Использование в 1920-е гг. марганцовистой стали Hadfield и производство ковшей для драглайнов дали толчок дальнейшему росту компании. Торговая марка "ESCO" была впервые использована в 1926 г. и в конце концов стала новым названием компании. В 1946 г. инженеры ESCO разработали первую систему из сдвоенных зубьев, которая получила название система "R". В 1948 г. компания вышла на рынок ковшей для канатных экскаваторов. Следующим шагом стал выпуск двухкомпонентной системы зубьев Conical™.

Разработанная в начале 1980-х гг. новая инновационная система штифтовой фиксации Helilok® вскоре приобрела признание во всей отрасли. К концу десятилетия компания ESCO приобрела Gray-Syracuse и Concorde Castings – предприятия, специализировавшиеся на точном (прецизионном) литье и работавшие по заказам авиакосмической и электроэнергетической промышленности. Приобретение Bucyrus Blades™ еще больше усилило ассортимент продукции ESCO для строительной промышленности.

Приобретение в дальнейшем компании Heflin Steel расширило возможности ESCO в сфере изготовления износостойких деталей и броневых плит, в результате чего новая система зубьев SUPER V® также

получила широкое признание и по сей день практически является отраслевым стандартом.

Сейчас ESCO является группой компаний, производящих металлические узлы и компоненты промышленного применения. ESCO Engineered Products располагает шестнадцатью производственными комплексами в Северной Америке, Европе и Китае, имеет обширную сеть сбыта через дилеров и лицензиатов. Выпускаемая компанией продукция соответствует жестким техническим условиям и одновременно предоставляет клиентам возможность принимать гибкие решения по ее использованию. Корпорация ESCO имеет сертификацию ISO 9001. В 2007 г. ESCO зарегистрировала Представительство в России.

ESCO предлагает разнообразные системы защиты рабочего оборудования горных машин от износа и приспособления для повышения его эффективности.

Так, система **SUPER V®** повышает эффективность выемки грунта. Эта система имеет полный набор форм зубьев, разработанных для эффективной работы в любых породах – рыхлых и глинистых, высокоабразивных и скальных. Система SUPER V® включает зубья специальной формы, предназначенные для лучшего внедрения в грунт и породу, надежного использования, экономии и легкости обслуживания.

Кроме того, фирма ESCO предлагает следующие типы защит.

Механически закрепленные защитные накладки TOPLOK® (рис. 1)* позволяют провести их быструю замену в условиях карьера. Накладки разработаны для лучшего проникновения в грунт, обеспечивая при этом максимальную защиту стенок и режущей кромки, тем самым продлевая срок службы горной машины.

Защитная система KWIK-LOK® (рис. 2) обеспечивает эффективную защиту ковшей от износа. Защитные накладки используются для защиты мест интенсивного изнашивания на ковшах драглайнов, электрических и гидравлических экскаваторов и погрузчиков. Они также используются в кузовах грузовиков, на рабочем оборудовании выемочно-транспортирующих машин, например бульдозеров.

В компании ESCO к системам защиты от износа относятся также разработки BUCYRUS BLADES™, изделия MaxDRP™ и биметаллические защитные элементы из белохромистого чугуна, обеспечивающие оптимальную защиту от износа для мобильных и неподвижных конструкций (рис. 3).

Рассмотрим подробнее вышеперечисленные системы защиты от износа.

Система защиты зубьев SUPER V®

Коронки накручиваются (рис. 4), устанавливаются поворотом на 1/4 оборота и фиксируются при помощи системы блокировки. Чем больше внедряется коронка в твердые породы, тем крепче она держится.

Более широкие стабилизационные поверхности зубьев и винтовая резьба для фиксации зубьев обеспечивают лучшую устойчивость по сравнению с другими конструкциями (рис. 5). Коронка опирается непосредственно на конец передней части адаптера, выдерживает мощные фронтальные удары и имеет более длительный срок службы режущей части зубьев (носов).

В конструкции применяется вертикальный сквозной штифт (рис. 6). Цельная конструкция является более безопасной, ее легче устанавливать и снимать. Штифт можно использовать повторно при замене коронок до 6 раз. Все это обеспечивает минимальное время простоя машины. Штифт защищен проушиной (рис. 7) коронки. Каждая новая коронка имеет новую поверхность фиксации, что предохраняет штифт от износа и воздействия материала, практически устраняется возможность потери коронки.

Оснащенный системой зубьев ESCO V81 SUPER V (рис. 8) гидравлический экскаватор Liebherr 994 Litronic на разрезе Красногорский (Южный Кузбасс) показывает высокую износостойкость коронок и защитных элементов Toplok. Проработав более 2000 ч, экскаватор продолжает свою деятельность, при этом зубья остаются острыми, обеспечивают хорошее проникновение в породу и надежно защищают ковш от износа.

Успешный опыт оснащения роторного экскаватора системой зубьев ESCO SUPER V® (рис. 9) на угольном разрезе Doly Bilina в Чехии позволил существенно увеличить производительность машины. Благодаря вертикальному штифту и легкой замене SUPER V® время замены коронок было кардинально до 10 раз снижено. Наконец, эффект самозатачивания зубьев гарантирует эффективное внедрение в течение всего времени работы зубьев.

Система зубьев для горных работ SV2®

Система зубьев SV2 (рис. 10) – это одна из последних инновационных разработок ESCO. Система SV2 поставляется с полным комплектом адаптеров и насадок разной формы, подходящих для гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой, электрических экскаваторов, колесных погрузчиков и погрузчиков с электроприводом, относящихся к классу техники для ведения горных работ. Такая система зубьев, которая устанавливается и демонтируется безударным способом, хорошо зарекомендовала себя в полевых условиях при ведении горных работ.

Система зубьев S-Series POSILOK®

Система зубьев S-Series POSILOK (рис. 11) специально разработана для применения в шагающих экскаваторах (драглайнах), канатных одноковшовых экскаваторах, крупных гидравлических экскаваторах с прямой лопатой и строительных экскаваторах. Нос (основание, на котором крепится зуб или промежуточный адаптер) является частью полной системы зубьев, которая сочетает в себе технологию ESCO и зубья POSILOK с новой системой штифтов Sidewinder®. Конструкция носа – полностью стабилизированная опора, которая устраняет необходи-

*Рисунки к настоящей статье размещены на 2-й – 4-й страницах обложки.

мость плотной пригонки с заклиниванием, характерной для конструкций фирмы Conical™. Новая конструкция носа обеспечивает увеличение первичного предела усталости при вертикальной нагрузке на 50 %. Штифт Sidewinder, установленный в отверстие режущей части коронки POSILOK, вынимается только в случае износа или повреждения.

Инженерный потенциал, десятилетиями накопленный опыт позволяют компании создавать комплексные решения по индивидуальным требованиям заказчиков. Специальные сплавы, прошедшие полевые испытания в различных условиях, оригинальный дизайн режущих поверхностей и элементов позволяют ESCO предлагать инновационные решения для всевозможных потребностей клиентов.

Разработки в области ковшей

Разработки ESCO в области решений для ковшей драглайнов позволили создать конструкцию ковша (рис. 12), снизив до оптимальных параметров его массу, обеспечить лучшее внедрение в породу и наполнение, сократить время черпания и разгрузки. Для различных условий добычи и свойств породы предлагаются индивидуальные, оптимальные в каждом случае, системы защиты от износа, перечисленные выше.

Ковши карьерных электрических экскаваторов (рис. 13), предлагаемые ESCO, обеспечивают повышенную производительность машины за счет облегчения монтажно-демонтажных работ и сокращения обслуживания, более долгий срок службы зубьев оригинальной конструкции (рис. 14): двух- (коронка–адаптер) или трехсоставных (коронка–промежуточный адаптер–адаптер), коронок самозатачивающейся формы, повышенного качества металла, подлежащего износу, меньшей доли неиспользованного металла, выбрасываемого при предельном износе зубьев. ESCO предлагает разработку индивидуальных оптимизированных ковшей, обеспечивающих повышенную емкость за счет снижения массы самого ковша, а также модернизацию существующих ковшей путем замены режущей кромки или целиком передней стенки (рис. 15) и оснащения ковшей различными патентованными системами защиты из материалов с высоким сопротивлением истиранию и твердостью. Сплавы, разработанные ESCO, могут быть подобраны практически под любые условия добычи и физико-механические свойства горных пород.

Заключение

Динамика постсоветского рынка в начале XXI века поражает исключительным размахом. Предприятия горной промышленности, консолидируя свои активы, становятся глобальными игроками. Хорошая ценовая конъюнктура на сырьевые ресурсы, ее долгосрочный положительный прогноз требуют увеличения их добычи, создания новых предприятий, расширения действующих мощностей. Реализация этих инициатив требует обращения добывающих компаний к новой прогрессивной горно-добывающей и перерабатывающей технике, открывает рынок мировым лидерам, заставляет развиваться и совершенствоваться отечественных производителей горного оборудования. Импорт современных гидравлических и электрических экскаваторов измеряется несколькими десятками единиц и вместе с внутренним производством доходит до 100 машин в год только для горной промышленности.

В этих условиях ESCO предлагает рынку России и стран СНГ свои проверенные многолетним опытом решения, обеспечивающие высокопроизводительную и надежную работу горного оборудования, снижение затрат на его эксплуатацию, безопасность и легкость обслуживания.

Наши координаты:
Европейская штаб-квартира корпорации ESCO, Фрамри, Бельгия
Группа Технической Поддержки: +32 65 61 15 95
Региональные менеджеры:
Александр Табарин: 8 909 010 33 33
Николай Вишневский: +32 473 52 16 21

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Художник *В.Н. Погорелов*. Дизайнер *Т.Н. Погорелова*. Технический редактор *Т.И. Андреева*. Корректоры *Л.И. Сажина, Л.Е. Сонюшкина*.

Сдано в набор 21.01.08 г. Подписано в печать 26.02.08 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 9,26. Заказ 156. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.