

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.  
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](mailto:gma@novtex.ru)

<http://novtex.ru/gormash>

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

**Хазанович Г.Ш., Лукьянова Г.В.** Инженерная методика выбора рациональных вариантов проходческих погрузочно-транспортных модулей на основе математического моделирования . . . . . 2

### ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ

**Щадов М.И., Ефимов В.Н.** Оценка технического состояния горно-транспортного оборудования и его техническое перевооружение как основа эффективности развития открытой угледобычи Кузбасса . . . . . 6

### ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

**Тарасов Ю.Д.** Усовершенствованная конструкция ленточного останова для наклонных ленточных конвейеров . . . . . 18

**Рассказов В.А.** Особенности закона распределения наработки на отказ большегрузных карьерных автосамосвалов . . . . . 21

**Стребков К.А.** Малотоксичные режимы работы подземных погрузочно-доставочных машин . . . . . 23

### ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

**Кадыров И.Ш.** Исследование динамических процессов в электро-механической системе землеройной машины при внезапном отключении питающего напряжения . . . . . 26

**Сташинов Ю.П., Семенчук А.С.** Тяговый привод шахтного аккумуляторного электровоза на базе двигателей с независимыми обмотками возбуждения . . . . . 30

**Алексеев В.В., Язев В.Н.** Модель системы подчиненного векторного управления асинхронным приводом вращателя бурового станка . . . . . 33

**Гуревич В.И.** О режиме питания мощного контактора переменного тока при провалах напряжения в сети 0,4 кВ . . . . . 35

### НАУЧНЫЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

**Буткин В.Д., Точилин В.И.** Применение азростатной техники для выемки и транспортирования горной массы на открытых горных разработках . . . . . 42

**Боярских Г.А., Боярских И.Г.** Регламентация конструкционной прочности с учетом технологической и эксплуатационной наследственности бурового твердосплавного инструмента . . . . . 47

**Морин А.С., Борисов Ф.И.** Физическое моделирование динамических схем трубопроводного проветривания глубоких карьеров . . . . . 52

### ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ, ПРОИЗВОДСТВЕННИКИ, ПЕДАГОГИ

**Владимир Иванович Геронтьев** . . . . . 56

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.

## Инженерная методика выбора рациональных вариантов проходческих погрузочно-транспортных модулей на основе математического моделирования <sup>(НГ)\*</sup>

*Изложена методика выбора эффективных вариантов проходческих погрузочно-транспортных модулей (ППТМ). Рассмотрены различные варианты выбора ППТМ, исходя из условного коэффициента эффективности.*

При разработке проектов проведения подготовительных выработок всегда крайне важен выбор эффективного проходческого оборудования. Затруднения при этом связаны с оценкой использования машин в конкретных условиях и прогнозируемыми показателями на выходе (производительность, трудоемкость, скорость проведения выработок). Эти затруднения могут быть преодолены при развитии методов моделирования рабочих процессов горно-проходческих систем с использованием компьютерных технологий, а также за счет создания и внедрения рациональных комплектов оборудования для конкретных условий.

До настоящего времени методология моделирования горно-проходческих систем в реальном масштабе времени с учетом случайного характера условий работы и надежности оборудования не получила должного развития. В то же время, имитационное моделирование стало универсальным методом исследования сложных технических систем благодаря широким возможностям воспроизводства характеристик машин, переходных процессов и стохастических условий их применения.

Имитационное моделирование работы ППТМ отличается рядом особенностей, которые нужно учитывать как при создании новых технических объектов, так и при анализе возможностей существующего оборудования. К ним относятся: многооперационность процесса; множество вариантов сочетания во времени процессов, функций операторов и отдельных технологических машин; существенное влияние случайных факторов, определяющих как условия применения оборудования, так и свойства самого оборудова-

ния – надежность, ремонтпригодность и др.; необходимость моделирования работы объектов в составе единой технологической системы.

В Шахтинском институте ЮРГТУ (НПИ) разработана инженерная методика выбора эффективных вариантов ППТМ, целью которой является создание инструмента пользователя, позволяющего в приемлемые сроки проводить сопоставление по эффективности технически пригодных вариантов ППТМ для данных конкретных условий проведения выработки (или группы выработок). Ниже даются краткое описание подсистем 1...8 и их структурная реализация (рис. 1).

*Подсистема 1. Описание горной выработки и штабеля после взрывных работ.* В состав подсистемы входят блоки, в которых формируется необходимая исходная информация о выработке и штабеле, используемая в процедурах выбора сравниваемых вариантов и последующего моделирования процессов погрузки и призабойного транспорта.

1.1. Описание параметров готовой горной выработки (или группы выработок), для которых решается задача выбора. В рассматриваемой подсистеме проводится выбор поперечного сечения выработки из базы данных или вырисовывается оригинальная форма поперечного сечения.

По завершению процедур в п. 1.1 сохраняются в выделенном файле следующие данные: геометрический образ проходческой выработки в состоянии полной готовности: постоянное крепление, размещение оборудования, размерные обозначения; размеры и площадь поперечного сечения.

1.2. Описание технологических характеристик процесса проходки (одного или нескольких вариантов): подвигание за цикл, общее и удельное количество шпуров, порядок выемки угля и породы – совместный или раздельный; конструкция временного крепления, другие технологические характеристики.

1.3. Описание штабеля как результата буровзрывных работ: объем горной массы в штабеле, размеры и форма основной части штабеля, разброс горной массы при взрыве, методика прогнозирования гранулометрического состава штабеля в функции паспорта буровзрывных работ.

\*Символом <sup>(НГ)</sup> обозначены статьи, поступившие с "Недели горняка 2008".

1	Описание горной выработки и штабеля после взрывных работ
2	База данных погрузочных машин ШПМ и других средств механизации погрузки
3	База данных призабойных транспортных средств
4	База типовых технологических схем ППТМ
5	Выбор парных вариантов ШПМ + ПЗТ
6	Конструирование варианта ППТМ из базовых с учетом требований подсистемы 1
7	Моделирование выгрузки штабеля и формирование потоков: $V_{kj}$ – объемов черпаний, $T_{ij}$ – продолжительности циклов черпаний, $q(t)$ – функции грузопотока
8	Оценка результатов. Формирование протокола промежуточных и конечных результатов $Q$ – производительности и $\tau_{\Sigma}$ – трудоемкости

Рис. 1. Совокупность основных блоков инженерной методики выбора ППТМ

1.4. Формирование подсистемы генерирования среднего случайного размера куска  $d_{cp}$  в зависимости от гранулометрического состава штабеля  $F(d)$  и величины малого локального объема  $v$ .

*Подсистема 2. База данных погрузочных машин ШПМ и других средств механизации погрузки.* База должна содержать:

2.1. Геометрические образы машин в транспортном и предельном рабочем положении: ковшовых (основных типов – ППН, МПК, МПКТ), с нагребающими лапами, других типов.

2.2. Характеристики ковшовых ШПМ, необходимые для выбора и моделирования рабочих процессов, в том числе:

- геометрические – для проверки вписывания машины в габариты выработки, а также предельные показатели по условиям применения;
- геометрические, силовые, энергетические – для формирования процесса внедрения ковша в штабель, для моделирования процесса зачерпывания; то же – для моделирования процесса наполнения ковша

с учетом ссыпания и формирования потока объема черпаний  $V_j$ .

2.3. Характеристики погрузочных машин с нагребающими лапами:

- геометрические – для проверки вписывания и формирования ППТМ, а также предельные по условиям применения; для реализации процессов формирования нагрузок привода нагребающей части, глубины внедрения плиты питателя и производительности  $q$ .

*Подсистема 3. База данных призабойных транспортных средств.* База должна содержать по аналогии с подсистемой 2:

3.1. Геометрические образы вагонеток, перегружателей, призабойных конвейеров.

3.2. Геометрические размеры, силовые, энергетические характеристики для компоновки ППТМ, проверки возможности вписывания в габариты выработки, моделирования и определения приемной способности.

*Подсистема 4. База типовых технологических схем ППТМ.* Даются геометрические образы и необходимые размерные соотношения для рекомендуемых к применению вариантов. Должна также предусматриваться возможность построения новых или корректировка существующих технологических схем ППТМ.

*Подсистема 5. Выбор парных вариантов сочетания ШПМ и ПЗТ.*

Подсистема должна предусматривать возможность отбора максимального числа вариантов ППТМ, пригодных для условий, сформулированных в п. 1.1 и предельных возможностей ШПМ и ПЗТ, определенных в п. 2.2, 2.3 и 3.2. После предварительного отбора сочетаний ШПМ и ПЗТ по габаритам и предельным возможностям оборудования происходит обращение к подсистеме 4 для выбора типовой схемы ППТМ и последующего уточнения ее параметров.

*Подсистема 6. Конструирование варианта ППТМ из базовых с учетом требований п. 1.*

*Подсистема 7. Моделирование выгрузки штабеля и формирование потоков  $V_{kj}$  и  $T_{ij}$  (для ковшовых машин) и  $q(t)$  (для машин типа ПНБ).*

7.1. Для ковшовых погрузочных машин:

- моделирование удельной трудоемкости и продолжительности несовмещаемых подготовительно-заключительных и вспомогательных операций;
- формирование  $V_{kj}$  – случайного потока единичных черпаний и формирование  $T_{ij}$  – случайного потока продолжительности циклов черпаний;
- определение суммарной удельной трудоемкости выгрузки штабеля, суммарной продолжительности выгрузки и производительности ППТМ (с учетом модели потоков отказов и восстановлений).

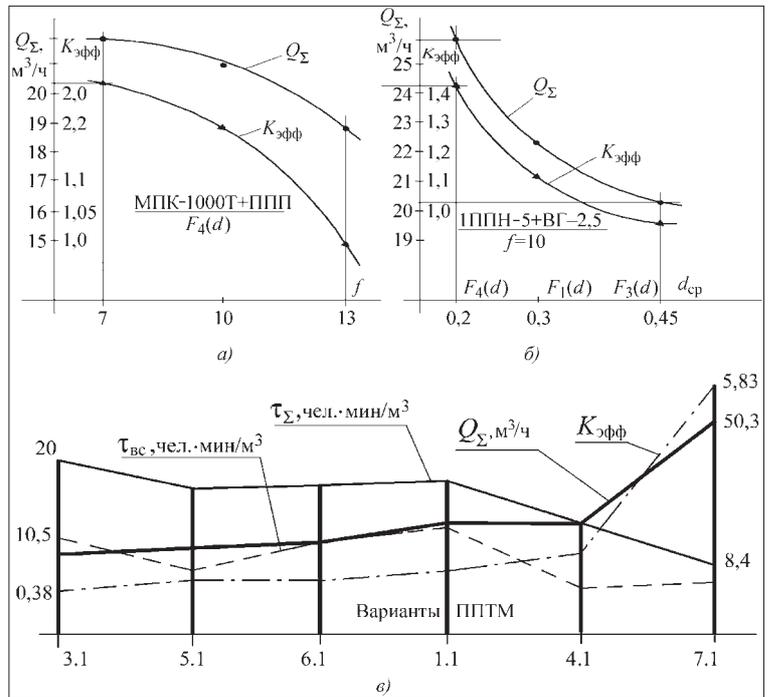
7.2. Для погрузочных машин типа ПНБ:

- моделирование и формирование случайной функции грузопотока  $q(t)$ ;
- формирование модели и определение суммарной трудоемкости и продолжительности выгрузки штабеля с учетом маневровых, подготовительно-заключительных, вспомогательных операций и потока отказов и восстановлений ППТМ.

**Подсистема 8. Оценка результатов. Формирование протокола промежуточных и конечных результатов по производительности  $Q$  и трудоемкости.**

В протоколе представляются результаты общие и по каждому варианту ППТМ:

- геометрический образ горной выработки и условия ее проведения;
- технологические характеристики процесса проходки, в том числе сведения о штабеле горной массы;
- технологическая схема ППТМ с расположением штабеля, погрузочной машины и призабойного транспортного оборудования в начальном и характерном промежуточных положениях;
- результаты моделирования процесса выгрузки штабеля; для ППТМ с ковшовыми погрузочными машинами:
  - случайный поток объемов черпаний  $V_{kj}$  и его числовые характеристики, количество циклов  $N$ ;
  - случайный поток продолжительности циклов черпаний  $-T_{цj}$ , включающий длительность собственно черпания ( $T_{ц1j}$ ) и доставки зачерпнутого груза к ПЗТ ( $T_{ц2j}$ ); числовые характеристики  $T_{ц1j}$ ,  $T_{ц1j}$ ,  $T_{ц2j}$ ;
  - перечень совмещаемых с погрузкой и несомвмещаемых ПЗО и вспомогательных операций с указанием их удельной трудоемкости  $\tau_{вс,i}$ ;
  - продолжительность суммарная несомвмещенных с погрузкой ПЗО и вспомогательных операций ( $T_{вс} + T_{тр.}$ );
  - случайное время простоя в цикле проходки в связи с отказом и восстановлением ППТМ;
  - общее время погрузочно-транспортных операций  $-T_{ц.}$ ; производительность системы, удельная трудоемкость варианта ППТМ;
- результаты моделирования процесса выгрузки штабеля для ППТМ с погрузочными машинами типа ПНБ представляются аналогично вариантам с ковшовыми машинами, но вместо потока объемов черпаний в протоколе фиксируются случайная функция производительности машины ПНБ  $q(t)$  (или поток объемов черпаний) и ее числовые характеристики; к числу вспо-



**Рис. 2. Влияние основных факторов на показатели работы ППТМ:**  
 а – коэффициента крепости; б – вида штабеля; в – состава ППТМ;  $Q$  – производительность за общее время погрузки;  $-$  удельная совокупная трудоемкость;  $\tau_{вс}$  – удельная трудоемкость вспомогательных операций

могательных операций относят маневрирование машины в процессе погрузки.

К исследованию и сопоставлению среди конкурирующих вариантов приняты варианты, представленные в таблице.

В итоговых результатах оценки эффективности варианта ППТМ приводятся также данные, необходимые для расчета конечных экономических показателей варианта: суммарная масса используемого оборудования; суммарная энерговооруженность ППТМ; удельная энергоемкость погрузочно-транспортных операций.

Условный коэффициент эффективности варианта ППТМ

$$K_{эфф} = Q /$$

**Варианты ППТМ, принятые к сопоставлению**

Номер варианта	Погрузочная машина	Призабойное транспортное средство	Магистральный транспорт
P = 1	1ППН-5	Одиночные вагонетки в однопутевой выработке	Локомотивный
P = 2	МПК-3	Мини-составы в однопутевой выработке	Локомотивный
P = 3	МПК-3	Перегрузатель клиновой в мини-составы	Локомотивный
P = 4	МПК-1000Т	Перегрузатель клиновой во взрывонавалочном исполнении	Конвейерный
P = 5	2ПНБ-2	Перегрузатель клиновой и мини-составы	Локомотивный
P = 6	2ПНБ-2	Перегрузатель клиновой во взрывонавалочном исполнении	Конвейерный

интегрирует показатели производительности системы  $Q$  и удельной суммарной трудоемкости работы ППТМ. С увеличением  $K_{эфф}$  показывает, что производительность системы возрастает быстрее, чем удельная трудоемкость. Такой показатель может быть принят в качестве универсальной оценки варианта ППТМ. Влияние ряда факторов на показатели ППТМ показано на рис. 2.

Рис. 2, а иллюстрирует влияние коэффициента крепости вмещающих пород по шкале проф. М.М. Протодяконова  $f$  на основные показатели проходки – производительность  $Q$  и коэффициент эффективности  $K_{эфф}$  для варианта проходческого оборудования МПК-1000Т + проходческий перегружатель ППП.

На рис. 2, б по оси абсцисс отложены значения среднего размера куса штабеля  $d_{cp}$ , м (0,2; 0,3; 0,45), а вверху над осью дается соответствующее ему распределение состава штабеля по крупности  $F_i(d)$ , представляющего собой функцию распределения случайного размера куса:  $F_4(d)$  – для  $d_{cp} = 0,2$  м – рядовой штабель;  $F_1(d)$  – для  $d_{cp} = 0,3$  м – штабель с породой повышенной крупностью;  $F_3(d)$  – для  $d_{cp} = 0,45$  м – крупнокусковой штабель. Эти значения  $F_i(d)$  не отложены по оси, а соответствуют каждому из  $d_{cp}$ .

На рис. 2, в обозначения 3.1, 5.1, 6.1 и т.д. показывают: первая цифра – это номер варианта согласно таблице, т.е. состав применяемого оборудования; вторая цифра – тип штабеля, т.е. его гранулометрический состав, характеризуемый функцией распределения  $F_i(d)$ . Все расчеты даны для  $i = 1$ , т.е. для штабеля  $F_1(d)$  с породой повышенной крупностью  $d_{cp} = 0,3$  м.

Исследования показали, что с увеличением крепости горной массы  $f$  производительность ШПМ падает,

однако существенно медленнее, чем показатель крепости. В работе получены конструктивные и технологические рекомендации по повышению эффективности ППТМ. С увеличением среднего размера куса в штабеле производительность и коэффициент эффективности ППТМ снижаются: с увеличением с 0,2 до 0,45 м показатели эффективности уменьшаются на 50 %.

Из рассмотренных ППТМ наибольшей эффективностью обладает вариант, в котором машина МПК-1000Т работает совместно с проходческим перегружателем в режиме взрывонавалки. Выходные показатели машин МПК-3 и МПК-1000Т за чистое время погрузки существенно ниже паспортных. Так, при паспортной вместимости ковша  $0,6$  м<sup>3</sup> паспортная производительность при продолжительности цикла 20 с должна составить  $1,8$  м<sup>3</sup>/мин, фактическая – не превышает  $1$  м<sup>3</sup>/мин.

Имитационное моделирование позволяет не только оценить соответствие паспортных показателей прогнозируемости, но и определить конструктивные и технологические пути повышения эффективности ППТМ.

#### Список литературы

1. Лукьянова Г.В., Хазанович Г.Ш. Моделирование рабочих процессов как основа для выбора рациональных вариантов проходческих погрузочно-транспортных модулей // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Спец. вып. "Технические науки". 2005. С. 112–117.
2. Хазанович Г.Ш., Воронова Э.Ю., Лукьянова Г.В. Об имитационном моделировании буровзрывных проходческих систем // Горные машины и автоматика. 2004. № 6. С. 42–46.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ПРОМЫШЛЕННАЯ  
ВЫСТАВКА**

**5 - 7 ноября 2008**  
**ЕКАТЕРИНБУРГ**  
ЦЕНТР МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ

ОРГАНИЗАТОРЫ:  
Тел.: +7 (812) 380 6002  
+7 (812) 380 6000  
Факс: +7 (812) 380 6001  
Email: industry@primexpo.ru  
www.industryexpo.ru

primexpo ITE GROUP PLC

ufi

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Электронные компоненты и технологическое оборудование
- Горное дело
- Неразрушающий и лабораторный контроль в промышленности. Техническая диагностика
- Покрытия и обработка поверхности. Защита от коррозии
- Нефть и газ
- Промышленная автоматизация
- Энергетика и энергосбережение
- Безопасность труда в промышленности
- Экология

IndustryExpo

УДК 622.271

М.И. Щадов, д-р техн. наук, проф., В.Н. Ефимов, канд. техн. наук, ЗАО "Горный конгресс"

## Оценка технического состояния горно-транспортного оборудования и его техническое перевооружение как основа эффективности развития открытой угледобычи Кузбасса\*

Кузнецкий бассейн — единственный регион в угольной отрасли России, где сосредоточена основная часть горно-транспортного оборудования открытой угледобычи. Ниже приведен анализ технического состояния горно-транспортного оборудования по пяти угольным компаниям: ОАО УК "Кузбассразрезуголь", ОАО УК "Южный Кузбасс", ОАО "Междуречье", ОАО ХК "СДС-Уголь" и ОАО "СУЭК-Кузбасс", где сосредоточена основная горная техника. Отдельные данные приведены также по другим горно-добывающим предприятиям Кузбасса.

### 1. Экскаваторный парк

Экскаваторный парк Кузнецкого бассейна включает 710 ед. (табл. 1), в том числе электрические мехлопаты — 482 ед. (68 %), шагающие драглайны — 152 ед. (21 %) и гидравлические мехлопаты — 76 ед. (11 %). Удельный вес мехлопат и драглайнов снизился соответственно с 73,7 до 65,7 % и с 25,9 до 23,4 % за счет ввода в эксплуатацию 30 ед. гидравлических экскаваторов — 10,9 %.

\*Статья, за исключением незначительной стилистической правки, дана в авторской редакции.

**Карьерные экскаваторы-мехлопаты.** Наиболее распространенными среди мехлопат являются экскаваторы ЭКГ-4,6 и ЭКГ-5А с речным напором — 249 ед. или 51,7 % производства "Машиностроительная корпорация "Уралмаш"; на втором месте — экскаваторы с канатным напором ЭКГ-8и, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5 и ЭКГ-15 и их модификации — 203 ед. (42,1 %) производства "Ижорские заводы"; на третьем — мощные карьерные экскаваторы с речным напором производства МК "Уралмаш" ЭКГ-12 (7 ед.), ЭКГ-14 (20 ед.) и ЭКГ-20 (3 ед.).

Зарубежные экскаваторы с речным напором представлены в количестве 16 ед. (3,3 %): 201М с ковшом вместимостью 16 м<sup>3</sup> (4 ед.), РН-2300 с ковшом вместимостью 16 м<sup>3</sup> (5 ед.), РН-2300ХР с ковшом вместимостью 22 м<sup>3</sup>, РН-2800 с ковшом вместимостью 33 м<sup>3</sup> (6 ед.). Указанные машины успешно работают на разрезах "Кедровский", "Бачатский", "Сибиргинский" и "Междуреченский".

Бригада А. Чубукова с разреза "Бачатский" на экскаваторе РН-2800 № 155 в 2007 г. отгрузила 11 млн 955 тыс. м<sup>3</sup> вскрышных пород, в том числе за декабрь 2007 г. — 1 млн 663 тыс. м<sup>3</sup>, за сутки нагрузка составила 75 тыс. м<sup>3</sup>.

Парк мехлопат с ковшом вместимостью 15 м<sup>3</sup> и выше равен 36 ед. (7,5 %), в том числе 20 ед. — отечественные и 16 ед. — импортные, что совершенно

Таблица 1

Структура экскаваторного парка угольных разрезов Кузбасса, 2008 г.

Организация	Электрические мехлопаты, ед.	Драглайны, ед.	Гидравлические мехлопаты, ед.	Итого
ОАО "СУЭК-Кузбасс"	19	4	1	24
ОАО УК "Кузбассразрез-уголь"	181	64	30	275
ОАО УК "Южный Кузбасс"	64	26	5	95
ОАО "Междуречье"	29	15	1	45
ОАО ХК "СДС-Уголь"	42	9	8	59
УК "Русский Уголь"	11	4	4	19
Кузбасская ТК	21	2	4	27
Прочие разрезы малой мощности	115	28	23	166
Всего:	482 (68 %)	152 (21 %)	76 (11 %)	710

Распределение драглайнов по мощности

Группа по мощности	Количество	
	ед.	%
Малые (ЭШ-5.45; ЭШ-6.45)	16	10,5
Средние (ЭШ-10.70; ЭШ-11.70; ЭШ-13.50)	110	72,4
Мощные (ЭШ-15.90; ЭШ-20.90)	24	15,8
Сверхмощные (ЭШ-40.85)	2	1,3

недостаточно. Например, в автосамосвалы грузоподъемностью 120 т и выше загрузку производят экскаваторы с ковшем вместимостью 12 м<sup>3</sup> за 8...12 циклов вместо нормативных 3...5.

Дальнейшее увеличение нагрузок на экскаваторный парк основных угледобывающих компаний сдерживается его низкой надежностью и недостаточной вместимостью ковша, что приводит к простоям более современного, большегрузного автотранспорта, выполняющего до 90 % работ по транспортированию горной массы на разрезах.

Ввиду отсутствия отечественных мехлопат с ковшем вместимостью свыше 20 м<sup>3</sup> угольные компании Кузбасса в 2004 г. заключили контракты на поставку таких экскаваторов с зарубежными производителями. При этом была учтена надежность оборудования и предоставления сервисного обслуживания.

За 2005–2006 гг. было закуплено и введено в эксплуатацию 7 зарубежных экскаваторов: РН-2800 (6 ед.) с ковшем вместимостью 33 м<sup>3</sup> и РН-2300ХР с ковшем вместимостью 20 м<sup>3</sup>. На разрезе "Бачатский" в одном забое используют мехлопату РН-2800 в паре с экскаватором меньшей вместимости ковша для селективной отработки крутопадающих пластов малой мощности, что позволяет улучшать качество добываемого угля и снижать потери при его выемке.

Первоочередной задачей технического перевооружения разрезов основных угледобывающих компаний Кузбасса на ближайшую перспективу является комплектование структур комплексной механизации оборудованием повышенной и взаимно соответствующей производительности (буровой станок–экскаватор–автосамосвал–бульдозер). На сегодняшний день на приоритетных разрезах Кузбасса ставится цель приобретения экскаваторов-мехлопат с ковшем вместимостью 25 м<sup>3</sup> и выше для обеспечения эффективной загрузки самых распространенных автосамосвалов БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 и 220 т, а в перспективе БелАЗ-75600 (грузоподъемностью 320 т) и САТ-797В (грузоподъемностью 345 т).

Российская корпорация "ОМЗ" планирует в 2009–2010 гг. начать подготовку к изготовлению карьерных экскаваторов нового модельного ряда: ЭКГ-18Р; ЭКГ-20К и ЭКГ-35Р; ЭКГ-32Р; к концу 2008 г. проектирует изготовить первую машину ЭКГ-1500Р с ковшем вместимостью 18 м<sup>3</sup>. Для реализации нового модельного ряда ООО "Иж-Картэкс" проводит глубокую модернизацию производства с приобретением многофункциональных обрабатывающих центров, карусельных станков для изготовления крупногабаритных деталей и другое универсальное оборудование.

**Шагающие экскаваторы-драглайны.** В настоящее время в Кузбассе работают 152 драглайна. В табл. 2 приведена структура драглайнов по моделям и их распределение по мощности (произведение длины стрелы на вместимость ковша). Из табл. 2 видно, что основную часть составляют драглайны среднего и малого класса – 83 % производства ОАО "НКМЗ" (Украина). Мощные и сверхмощные драглайны – 26 ед. поставлены Уралмашем.

За последние 15 лет в Кузбассе не было введено ни одного драглайна средней мощности с ковшем вместимостью 10...13 м<sup>3</sup>. Особенно сложное положение в основных угледобывающих компаниях Кузбасса с драглайнами ЭШ-15.90, которые полностью амортизированы и вынужденно продолжают эксплуатироваться. Срок службы их составляет 27–35 лет, при нормативном 25 лет. У таких экскаваторов в результате усталостного изнашивания ферм стрелы длиной 90 м велика вероятность их падения. Падение стрел опасно для обслуживающего персонала, влечет большие материальные затраты, вызывает длительные остановки ведения горных работ. Горно-техническая инспекция может в любой момент остановить эксплуатацию всего парка этих драглайнов.

С 2000 г. началось постепенное обновление экскаваторного парка. Были введены в эксплуатацию три мощных драглайна ЭШ-20.90: разрез "Междуреченский", зав. № 54, разрез "Томусинский", зав. № 55; разрез "Красногорский", зав. № 56.

Доля наиболее экономичной бестранспортной вскрыши в Кузбассе снижается: 2000 г. – 17,3 %; 2005 г. – 13,7 %; 2007 г. – 10,9 %.

Максимальный объем бестранспортной вскрыши в Кузбассе был выполнен в 2005 г. – 75 173 тыс. м<sup>3</sup>. За два года снижение составило 5,5 млн м<sup>3</sup> вскрыши. Это объясняется снижением интереса к бестранспортной технологии, повышенным износом действующего парка шагающих драглайнов, высокой ценой драглайнов для обновления парка (цена ЭШ-20.90 порядка 110 млн руб.).

В настоящее время бестранспортная система в Кузбассе применяется на 34 разрезах из 45 действующих. В УК "Кузбассразрезуголь" из 11 разрезов три разреза (Кедровский, Бачатский и Калтанский) полностью перешли на транспортную вскрышу.

По мнению авторов, объем бестранспортной вскрыши снижается незаслуженно. В США применение бестранспортной вскрыши экономически целесообразно при коэффициенте вскрыши до 25...30 м<sup>3</sup>/т. В целом по Кузбассу коэффициент вскрыши равен 8,2 м<sup>3</sup>/т, в УК "Кузбассразрезуголь" – 6,8 м<sup>3</sup>/т.

Значительный вклад в расширение бестранспортной технологии в Кузнецком бассейне внес коллектив Красногорского разреза (В.С. Вагаровский, Г.Т. Фазалов), ученые КузГТУ и Кузнецкого филиала НИИОГР (Б.Н. Лоханов, В.А. Ермолаев).

Так, главным направлением на юге Кузбасса является применение шагающих экскаваторов на выемке

взорванных скальных пород непосредственно из массива.

Впервые в мировой практике на разрезах Южного Кузбасса внедрены драглайны на внешнем отвалообразовании в условиях горного рельефа. Шагающие драглайны незаменимы при рекультивации горных отвалов, нарушенной поверхности. Перспективно использование погрузки угля в автосамосвалы драглайнами, оснащенными прицельной разгрузкой ковша.

**Гидравлические экскаваторы.** Ввиду ряда преимуществ дизель-гидравлических экскаваторов (мобильность, малая металлоемкость) разрезы Кузбасса начали их активно приобретать. Использование гидравлических экскаваторов, главным образом, типа "обратная лопата" позволяет на участках при ухудшении горно-геологических условий качественно обрабатывать уголь, снижая его потери в кровле и почве пласта.

В 2006 г. введены два мощных гидроэкскаватора RH-200 (ковш вместимостью 28 м<sup>3</sup>) фирмы "Terex-Mining" на разрезах "Талдинский" и "Краснобродский" производительностью 6,5 млн м<sup>3</sup>/год.

Отечественные предприятия ("Ижорские заводы" и "Уралмаш") над созданием гидравлических экскаваторов работают более 30 лет, и пока экскаваторы находятся на стадии промышленных испытаний и их доводки. Сдерживающим фактором их внедрения является отсутствие надежных отечественных дизе-

лей мощностью 750...2500 л.с., а также гидрооборудования и аппаратуры.

В связи с созданием Кузбасского технопарка следует в сфере высоких технологий горного машиностроения ввести разработку отечественных гидрофицированных экскаваторов с повышенным усилием копания. Производство указанного оборудования можно организовать на Юргинском машзаводе, где освоен выпуск гидроцилиндров для шахтных крепей.

**Использование парка экскаваторов.** Использование календарного фонда времени технологических экскаваторов приведено в табл. 3. Из таблицы видно, что коэффициент использования за 2007 г. составил 0,69...0,75, плановые ремонты – 12,9...14,9 %, плановые технологические простои (БВР, праздничные дни и др.) – 3,2...7,6 %.

Из неплановых ремонтов основную долю времени составляют отказы (аварийные ремонты), отсутствие автотранспорта и локомотивов. Также имеются простои из-за отсутствия запчастей (особенно к импортному оборудованию), стальных канатов и силового кабеля.

Резервы повышения использования парка экскаваторов еще имеются порядка 10 % календарного фонда времени. На использование экскаваторов также влияют вывод ряда экскаваторов на консервацию и отвлечение на вспомогательные работы (технологии-

Таблица 3

Оперативный анализ использования календарного фонда времени экскаваторного парка, %

Показатели	Кузбассразрезуголь		Южный Кузбасс		Междуречье	
	2007 г.	2005 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Использование по назначению $K_{исп}$	0,72	0,71	0,67	0,69	0,74	0,75
Плановые ремонты	14,8	14,9	12,9	14,8	14,9	13,4
Плановые технологические простои	7,6	7,9	5,0	4,6	3,2	3,5
Неплановые простои (100 %), в том числе:	5,56	6,2	15,1	12,0	8,5	8,4
аварии	44,5	41,1	22,9	30,9	25,5	12,2
то же в % от КФВ	2,48	3,65	3,44	3,7	2,15	1,02
Отсутствие:						
запчастей и материалов	15,2	15,9	3,1	2,1	8,4	8,7
электроэнергии	3,2	2,3	4,7	5,4	2,1	2,6
бригады	1,1	1,8	11,8	13,3	0,1	0,1
автомобильных дорог	0,3	0,4	0,7	0,3	0,1	0,1
автотранспорта	17,3	12,8	23,9	18,4	26,1	30,4
железнодорожных путей	3,3	1,5	3,2	4,4	0,1	0,5
локомотивов	4,9	7,2	9,7	9,9	23,7	36,1
Остановка РТ ТИ	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2
Неподготовленность рабочего места	1,6	4,9	10,5	5,9	2,7	2,6
Климатические условия	2,5	1,5	1,8	0,5	2,9	4,4
Прочее	5,8	10,5	7,4	8,7	8,1	2,1

ческие комплексы и др.). На примере компании "Междуречье" ниже приведено использование парка экскаваторов (45 ед.) по направлениям: технология – 28 ед., в том числе бестранспортная вскрыша – 6 ед. (13,3 %), железнодорожная вскрыша – 10 ед. (22,2 %), автомобильная вскрыша и уголь – 12 ед. (26,7 %); вспомогательные работы – 6 ед. (13,3 %); аренда – 5 ед. (11,2 %); консервация – 6 ед. (13,3 %).

**Техническое состояние парка экскаваторов.** Техническое состояние оборудования определяется его техническим ресурсом – наработкой до достижения им предельного состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация невозможна или нежелательна из-за снижения эффективности либо возросшей опасности для человека. Техническое состояние парка экскаваторов можно определить по трем показателям: сумма начисленного износа (амортизации), в % от балансовой стоимости оборудования; наработка экскаватором горной массы (млн м<sup>3</sup>) с начала эксплуатации, в % от норматива наработки (списания); средний срок эксплуатации парка экскаваторов (лет).

**Начисление амортизации.** Для бухгалтерского учета постановлением Правительства РФ от 01.01.2002 г. № 1 установлена классификация основных средств по срокам службы их полезного использования.

Нормы амортизационных отчислений должны быть технически и экономически обоснованными. Фактически данные нормы в одном Кузнецком бассейне значительно различаются. Нередко угольные компании используют амортизационный фонд для льготного выведения прибыли из налогообложения.

УК "Кузбассразрезуголь" до 01.01.2007 г. амортизационные отчисления (износ) проводила по нормативам согласно постановлению СМ СССР от 22.10.1990 г. № 1072. Указанные нормативы значительно устарели ввиду оснащения разрезов более надежным горно-транспортным оборудованием. Приказом генерального директора ООО "УГМК-Холдинг" № 203 от 29.11.2006 г. введены в действие с 01.01.2007 г. скорректированные нормативы службы экскаваторов и выполненные объемы за указанный период.

**Нормативная наработка** – это назначенный технический ресурс, который отражается в следующих единицах: электрические экскаваторы – млн м<sup>3</sup> горной массы; буровые станки – тыс. пог. м пробуренных скважин; гидравлические экскаваторы – млн м<sup>3</sup> горной массы и тыс. моточасов; бульдозеры, фронтальные погрузчики – моточасы; технологические автосамосвалы – тыс. км пробега; железнодорожный транспорт – млн т км грузооборота. Нормативная наработка оборудования может не совпадать с нормативным сроком службы объекта амортизации по бухгалтерскому учету ввиду различной интенсивности его эксплуатации.

Несмотря на более высокие скорректированные нормативы по наработке экскаваторов в УК "Кузбассразрезуголь" в эксплуатации находятся 44 ед. технологических экскаваторов, которые исчерпали технический ресурс по выполненным объемам горной массы

(табл. 4). Наиболее изношен парк экскаваторов на разрезах "Моховский" и "Бачатский", где продолжают работать 22 экскаватора с истекшим техническим ресурсом: ЭКГ-4,6Б – 8 ед., ЭКГ-8и – 9 ед., 201М – 3 ед., ЭШ-15.90 – 5 ед., ЭШ-10.70 – 7 ед.

Таблица 4

Износ парка экскаваторов в УК "Кузбассразрезуголь", 2007 г.

Разрез	Износ, %		Экскаваторы с истекшим ресурсом, ед.
	по амортизационным отчислениям	по выполненным объемам	
"Кедровский"	64	63,3	4
"Моховский"	80	78,8	10
"Сартакинский"	74	64,5	2
"Караканский"	79	73,0	1
"Бачатский"	77	79,5	12
"Краснобродский"	68	57,7	4
"Вахрушевский"	79	72,1	3
"Талдинский"	58	57,5	1
"Ерунаковский"	62	62,1	1
"Калтанский"	59	44,2	0
"Осинниковский"	75	62,3	2
"Таежный"	77	53,2	4
<b>ОАО УК "Кузбассразрезуголь"</b>	<b>71,1</b>	<b>65,2</b>	<b>44</b>

С истекшим техническим ресурсом находится следующее количество экскаваторов: в УК "Южный Кузбасс" – 16 ед. (ЭКГ-4,6 – 3 ед., ЭКГ-5 – 4 ед., ЭКГ-8и – 2 ед., ЭШ-15.90 – 3 ед., ЭКГ-4у – 3 ед., ЭШ-6.45 – 1 ед.), в ОАО "Междуречье" – 9 ед., в ХК "СДС-Уголь" – 14 ед. (25 % парка экскаваторов) – табл. 5.

Представляется целесообразным разработать новое Положение о едином порядке планирования, начисления и использования амортизационных отчислений в угольной отрасли Кузбасса.

**Средний срок эксплуатации парка экскаваторов** – наиболее объективный показатель технического состояния оборудования, который отражает физический и моральный износ. В 2006 г. средний возраст парка экскаваторов в УК "Кузбассразрезуголь" был равен 17,4 года, а в 2007 г. снизился до 17,3 года. Максимальный уровень среднего возраста экскаваторов на разрезах: "Моховский" – 21,5 года; "Бачатский", "Осинниковский" и "Таежный" – 19,1 года; "Томусинский" – 20,2 года; "Красногорский" – 19,7 года.

В угольных компаниях "Южный Кузбасс" и "Междуречье" средний возраст экскаваторов соответственно равен 19,1 и 21,2 года.

Количество экскаваторов полностью амортизированных и с истекшим техническим ресурсом, 2008 г.

Компания, разрез	Парк экскаваторов, ед.	Без остаточной стоимости		С истекшим ресурсом по выполненным объемам	
		ед.	%	ед.	%
<b>ОАО УК "Южный Кузбасс":</b>	<b>95</b>	<b>62</b>	<b>65</b>	<b>16</b>	<b>16,8</b>
р. "Ольжерасский"	20	14	70	3	15
р. "Томусинский"	21	15	71	4	19
р. "Красногорский"	29	20	69	8	27
р. "Сибиргинский"	25	13	52	1	4
<b>ОАО "Междуречье"</b>	<b>45</b>	<b>31</b>	<b>68,9</b>	<b>9</b>	<b>20</b>
<b>ОАО ХК "СДС-Уголь":</b>	<b>58</b>	<b>37</b>	<b>64</b>	<b>14</b>	<b>24</b>
р. "Черниговец"	30	15	50	13	43,3
р. "Киселевский"	28	22	78,6	1	3,6

Самый высокий срок эксплуатации у мехлопат ЭКГ-4,6 (32,4 года), ЭКГ-4у (24,2 года), в то же время нормативные объемы выполнены не полностью. Среди драглайнов у ЭШ-15.90 срок эксплуатации равен 30,4 года, что превышает 5,4 года, объемы выполненной экскавации превышают нормативы на 108,4 %.

**Техническое перевооружение парка экскаваторов.** На предприятия Кемеровской области в 2006 г. приходилась основная доля всех инвестиционных вложений отрасли – 23915,8 млн руб. или 78,2 %, в том числе УК "Южный Кузбасс" – 4764,9 млн руб., УК "Кузбассразрезуголь" – 4715,2 млн руб.

Основной объем инвестиций вкладывается в горно-транспортное оборудование, что прежде всего необходимо для технического перевооружения разрезов и расширения производства открытой угледобычи.

В рамках технического перевооружения на угольных разрезах в 2006 г. введено в эксплуатацию следующее оборудование, как импортного, так и отечественного производства: 23 экскаватора (в том числе 13 импортных), 11 фронтальных погрузчиков (7 им-

портных), 48 буровых станков (9 импортных), 46 бульдозеров (27 импортных), 167 технологических автосамосвалов (7 импортных), 8 железнодорожных подвижных составов (тяговые агрегаты, тепловозы, думпкары).

Существенная доля обновления оборудования приходится в 2007 г. (9 мес) на разрезы УК "Кузбассразрезуголь": 8 экскаваторов (7 импортных), 5 буровых станков (3 импортных), 20 бульдозеров (19 импортных), 6 фронтальных погрузчиков (все импортные).

За период 2000–2007 гг. в четырех крупных угольных компаниях было введено 76 экскаваторов и списано 67 ед. (табл. 6). Новые экскаваторы, как правило, приобретают взамен списанных.

Из общего количества введенных экскаваторов доля отечественных – 30 %, импортных – 70 %. Из отечественных введены мощные драглайны ЭШ-20.90 (3 ед.) на разрезах Юга Кузбасса, новая разработка "Уралмаша" (корпорация "ОМЗ") – мехлопаты ЭКГ-12 (7 ед.) и ЭКГ-14 (2 ед.), остальные – мехлопаты ЭКГ-10 и ЭКГ-15 производства Ижорских заво-

Таблица 6

Техническое перевооружение парка экскаваторов, 2000–2007 гг.

Компания, разрез	Парк экскаваторов, 2007 г., ед.	Списано, ед.	Получено, ед.	В том числе			Обновление парка, %
				мехлопаты	драглайны	гидроэкскаваторы	
ОАО УК "Кузбассразрезуголь"	274	42	43	13	–	30	18,5
ОАО УК "Южный Кузбасс"	95	12	17	9	2	6	20,0
ОАО "Междуречье"	45	4	4	2	1	1	10,0
ОАО ХК "СДС-Уголь":	59	9	12	4	–	8	20,3
р. "Черниговец"	30	8	5	3	–	2	16,7
р. "Киселевский"	29	1	7	1	–	6	24,1
Всего:	473	67	76	28	3	45	16,0

дов. За последние 20 лет на Ижорских заводах не было разработано ни одной новой модели экскаватора.

Из импортных экскаваторов были введены мощные экскаваторы с речным напором РН-2000 РХ и РН-2800 (7 ед.), остальные – гидроэкскаваторы с рабочим оборудованием "обратная лопата" среднего класса по мощности. В 2006–2007 гг. введены два мощных гидроэкскаватора РН-200 с ковшем вместимостью 28 м<sup>3</sup> (масса 480 т).

## 2. Буровое оборудование

На 01.01.2008 г. на разрезах Кузбасса работало 180 буровых станков, в том числе шарошечного бурения – 90 %, шнекового – 10 %. Количество буровой техники за 5 лет уменьшилось на 15 %. Однако за счет повышения использования календарного фонда времени (КФВ) и повышенной производительности импортных станков объемы буровых работ увеличились.

В структуре парка буровой техники станки отечественного производства составляют 78 %, импортные – 22 %. Основную долю (91 %) в структуре парка станков шарошечного бурения отечественного производства занимают станки ЗСБШ-200-60 производства ОАО "Бузулуктяжмаш", которые привлекли наибольшее внимание у горняков Кузбасса. Конструкция станка обеспечивает максимальные удобства эксплуатации и технического обслуживания. Модель постоянно модернизируется и сохраняет все лучшее от предыдущих конструкций. Цена станка умеренная и в 3,5 раза ниже импортных моделей. Среднегодовая производительность ЗСБШ-200-60 – 100...115 тыс. пог. м.

Импортные станки представлены ведущими зарубежными фирмами "Ingersoll-Rand", "Mining Solutions" (Atlas Copco): DM-M2 (3 ед.), DML-1200 (17 ед.), D-50KS (3 ед.), D-75KS (2 ед.), DM-45E (3 ед.), PV-271. Среднегодовая производительность импортных станков равна 250...270 тыс. пог. м, что в 2,3–2,5 раза выше отечественных.

За последние 5 лет на разрезах Кузбасса началось интенсивное техническое перевооружение парка бурового оборудования (табл. 7). Из таблицы видно, что в среднем половина парка буровых станков заменена новыми.

Наиболее хорошо идет процесс обновления в компании "Кузбассразрезуголь", где полностью заменен парк станков на Кедровском разрезе и на 80 % – на Талдинском. За 9 мес 2007 г. в компании введены в эксплуатацию пять станков: ЗСБШ-200-60 – 2 ед., импортных – 3 ед.

На разрезах УК "Южный Кузбасс" за 5 лет списаны 24 станка, получены 19 ед., в том числе новые образцы отечественных станков: ЗСБШ-200-60В (зав. № 1) и СБШ-160-200 (зав. № 7). Буровой станок СБШ-160/200-40 производства ОАО "Рудгормаш" – первый отечественный станок с диаметром бурения скважин от 160 до 215 мм, глубина бурения – 40...45 м. Данный станок является прототипом для станка СБШ-160/200-40Д с дизельным приводом. В конструкцию бурового станка заложены самые совершенные технические решения, отвечающие современному мировому уровню. Следует отметить, что в России до последнего времени отсутствовали отечественные буровые станки с дизельным приводом. Эту нишу занимают буровые станки импортного производства. Поэтому следует рекомендовать данный станок с диаметром бурения 160 мм и дизельным приводом для разрезов Кузбасса, где необходимо повышать качество взорванной горной массы.

Во вновь организованной ХК "СДС-Уголь" (2006 г.) полностью заменен парк буровой техники импортными станками D50KS (Sandvik Tarok) – 2 ед. и DML (Ingersoll Rand) – 5 ед., среднесписочная производительность буровой установки составляет 21 тыс. пог. м/мес.

Срок службы отечественной буровой техники больше на 20 %, чем импортной, но за нормативный срок объемы пробуренных скважин импортной техники превышают в 3,3 раза.

Средний износ буровых станков по амортизационным отчислениям равен 50 %, по объемам бурения – порядка 60 % (табл. 8). Наибольший износ станков в компании "Междуречье" (80 %), однако на 2008 г. запланировано приобретение пяти буровых станков.

За последние годы использование оборудования повысилось за счет ввода более надежной импортной техники и передачи подготовки горной массы к экскавации специализированным участкам и организациям. Для взрывания скальных пород используются в основном простейшие ВВ. Процесс зарядания скважин на блоке почти полностью механизирован с ис-

Таблица 7

Техническое перевооружение парка бурового оборудования, 2003–2007 гг.

Компания	Парк буровых станков, ед.	Получено, ед.	Списано, ед.	Обновление парка, %
ОАО УК "Кузбассразрезуголь"	74	43	60	58
ОАО УК "Южный Кузбасс"	37	19	24	51
ОАО "Междуречье"	10	1	6	10
ОАО ХК "СДС-Уголь"	8	8	17	100
ОАО "СУЭК-Кузбасс"	5	2	6	40
Всего:	134	73	113	54,5

Износ буровой техники в угольных компаниях Кузбасса

Компания	Средний срок эксплуатации, лет	Износ по амортизационным отчислениям		Износ по выполненным объемам бурения	
		%	в том числе без остаточной стоимости, ед.	%	в том числе выполнивших нормативные объемы, ед.
ОАО УК "Кузбассразрезуголь"	5,1	42,4	14	52,1	12
ОАО УК "Южный Кузбасс"	5,5	45,2	1	61,6	4
ОАО "Междуречье"	9,8	79,8	7	84,9	2
ОАО ХК "СДС-Уголь"	3,5	35	1	30	—
ОАО "СУЭК-Кузбасс"	5,6	52	2	55	2

пользованием зарядных машин МЗ-4, МСЗ-20 и смесительно-зарядных СЗМ-8.

### 3. Бульдозерная техника

На 01.01.2008 г. парк бульдозерной техники насчитывает 410 ед., в том числе 315 ед. (77 %) сосредоточено в пяти компаниях Кузбасса. Основную долю бульдозерного парка составляет импортная техника (64 %) ведущих зарубежных фирм "Caterpillar" (93 ед.), "Dressta" (73 ед.), "Komatsu" (22 ед.) и "Liebherr" (4 ед.).

Отечественные бульдозеры представлены заводами "Промтрактор", г. Чебоксары – 30 ед., "Уралтракт", г. Челябинск – 30 ед. и БелАЗ-7823 – 11 ед.

Анализ работы комплексной структуры механизации горным оборудованием повышенной мощности показал, что имеющиеся отечественные бульдозеры не обеспечивают в достаточной мере нормальную работу более мощной экскаваторной и автотранспортной техники.

Специалисты автотранспортной техники, изучив рынки бульдозеров различных фирм, остановились на поставке более мощных и надежных бульдозеров типа CAT-10R(10N), CAT-9R, CAT-834, TD-25G, TD-40G. Пятилетний опыт эксплуатации зарубежной техники позволил снизить численность обслуживающего и ремонтного персонала за счет низкой аварийности и высокой надежности работы основных узлов и деталей. На угольных разрезах накопился большой опыт в их техническом обслуживании.

В Кузбассе успешно работают сервисные центры головных зарубежных фирм – производителей бульдозеров. В г. Междуреченске имеются сервисные центры "Dressta" и "Caterpillar". Филиалы данных фирм находятся в г. Кемерово и Белово, что позволяет быстро получить нужную информацию и запчастии в непредвиденных ситуациях. У специалистов фирмы имеются приборы диагностики узлов и деталей бульдозера, что позволяет провести расчет моторесурса узлов и деталей до предельного износа.

За последние 5 лет парк бульдозеров начал пополняться новыми машинами (табл. 9). Так, в УК "Кузбассразрезуголь" поступили 132 ед. новой техники, списаны 74 ед. Обновление составило 64 %, средний срок эксплуатации бульдозеров снизился с 5,7 до 4 лет. На разрезе "Кедровский" за этот период парк полностью обновился, на разрезе "Бачатский" – на 78,6 %. Только за 9 мес 2007 г. введен в эксплуатацию 21 бульдозер, в том числе: CAT D-9R (10 ед.), CAT D-10T (9 ед.), D375A-5 (1 ед.). В перспективе бульдозерные отвалы будут обслуживать более производительные тяжелые бульдозеры CAT D-10R и CAT D-11R.

Оценка технического состояния бульдозеров определяется величиной износа в зависимости от амортизационных отчислений и наработки в моточасах (табл. 10). Из таблицы видно, что в УК "Южный Кузбасс" максимальный износ парка бульдозеров – 72,7 %, продолжают работать 21 ед. с истекшим ресурсом (без остаточной стоимости).

Таблица 9

Техническое перевооружение парка бульдозеров, 2003–2007 гг.

Компания, разрез	Парк бульдозеров		Поступило, ед.	Списано, ед.	Обновление парка, %
	2003 г.	2007 г.			
ОАО УК "Кузбассразрезуголь"	176	206	132	74	64
ОАО УК "Южный Кузбасс"	52	52	19	19	36,5
ОАО "Междуречье"	12	15	8	5	53,3
ОАО ХК "СДС-Уголь":	27	25	19	22	76
р. Черниговец	15	15	10	10	66,7
р. Киселевский	12	10	9	12	90

Износ бульдозерной техники, 2007 г.

Компания	Парк бульдозеров, ед.	В том числе с истекшим ресурсом, ед.	Срок эксплуатации, лет	Износ оборудования, %	
				по амортизационным отчислениям	по количеству моточасов
ОАО УК "Кузбассразрез-уголь"	206	11	4	44,6	41,1
ОАО УК "Южный Кузбасс"	52	21	7,3	68,9	72,7
ОАО "Междуречье"	15	6	5,1	52,4	54,4
ОАО ХК "СДС-Уголь"	25	8	4	32,0	28,3

Коэффициенты использования и технической готовности парка бульдозеров соответственно равны: "Кузбассразрезуголь" – 0,68 и 0,81, "Междуречье" – 0,81 и 0,85.

#### 4. Фронтальные погрузчики

Колесные фронтальные погрузчики обладают следующими преимуществами: высокой скоростью передвижения (мобильностью), которая дает возможность обслуживать несколько забоев (горизонтов); небольшими габаритами и большой маневренностью, позволяющими работать в стесненных условиях.

В 2007 г. в крупных угольных компаниях Кузбасса работали 62 ед. фронтальных погрузчиков. Структура парка погрузчиков представлена в основном оборудованием ведущих зарубежных фирм: "Caterpillar" – 32 %, "Liebherr" – 32 %, "Dressta" – 10 %, "БелАЗ" – 5 %. Благодаря достаточно высокому напорному усилию при горизонтальном внедрении ковша, развиваемому за счет сцепного веса, фронтальные погрузчики успешно конкурируют с карьерными экскаваторами с ковшем вместимостью до 12 м<sup>3</sup>. В настоящее время почти на каждом разрезе имеется парк фронтальных погрузчиков. Современные фронтальные погрузчики работают в угольных забоях, на угольных складах при погрузке угля в железнодорожные вагоны и на обогатительных фабриках. Особенно хорошо погрузчики вписались на сезонных установках разубоживания угля КРУ-НТ, обеспечивая дополнительную добычу угля.

В целом техническое состояние парка погрузчиков удовлетворительное ввиду малого срока их эксплуатации и высокой надежности (табл. 11). На разрезах "Моховский" и "Красногорский" наработка достигла (тыс. моточас): SW-560С – 40,5 (норматив 48,0), САТ-966F – 43,8 (норматив 52,0), САТ-988Н – 56,7 (норматив 60,0).

Таким образом, фронтальные погрузчики обособленно заняли свою нишу в горно-транспортном оборудовании разрезов Кузбасса.

#### 5. Автомобильный карьерный транспорт

##### Структура парка технологических автосамосвалов.

В общих объемах вскрышных работ с выемкой экскаваторами автомобильный транспорт занимает лидирующее положение: 1995 г. – 60,1 %, 2000 г. – 66,5 %, 2007 г. – 81,4 %.

Основные достоинства автомобильного карьерного транспорта: автономность; мобильность, позволяющая применять автотранспорт в сложных условиях залегания пластов; возможность двигаться по относительно крутым подъемам автодорог; упрощение процесса отвалообразования.

В настоящее время на угольных разрезах Кузнецкого бассейна в наличии 1290 большегрузных технологических автосамосвалов, в том числе в крупных угольных компаниях – 858 ед., или 66,5 % (табл. 12).

Таблица 11

Техническое состояние фронтальных погрузчиков, 2007 г.

Компания, разрез	Наличие, ед.	Средний срок эксплуатации, лет	Износ по сроку службы, %	Износ оборудования по наработке, %
ОАО УК "Кузбассразрезуголь"	43	4,4	41,8	36,5
ОАО УК "Южный Кузбасс":	10	4,7	41,0	38,0
р. "Ольжерасский"	1	0,7	6,7	9,2
р. "Томусинский"	1	3,0	30,0	35,7
р. "Красногорский"	5	10,5	82,2	58,5
р. "Сибиргинский"	3	4,5	45,0	48,7
ОАО ХК "СДС-Уголь":	8	3,8	48,4	38,2
р. "Черниговец"	3	6,3	66,7	56,3
р. "Киселевский"	5	1,2	30,0	20,0

Количество технологических автомобилей в Кузнецком бассейне, 2007 г.

Компания, разрез	Всего	В том числе грузоподъемностью, т					
		30...32	42...45	55	80...90	110...130	180...200 и выше
"СУЭК-Кузбасс"	46		42			4	
ОАО УК "Кузбассразрезуголь":	503	3	66	127	1	212	94
р. "Киселевский"	33		11	6		16	
р. "Черниговец"	43		11			32	
ОАО УК "Южный Кузбасс":	171	6	16	20	11	78	40
р. "Междуреченский"	61		12			39	10
Кузбасская ТК	87		87				
Прочие предприятия Кузбасса	346	28	318				
Всего: ед.	1290	37	563	153	12	381	144
%		2,9	43,6	11,9	0,9	29,5	11,2

Структура парка самосвалов крупных компаний представлена большой (100...130 т) и особо большой грузоподъемностью (180, 200 и 220 т), удельный вес которых соответственно равен 47 и 20 %.

На малых разрезах автосамосвалы представлены грузоподъемностью 40...42 т (93 %) и 30 т (6 %). Например, на трех разрезах ОАО "СУЭК-Кузбасс" автопарк имеет 47 ед. самосвалов, в том числе грузоподъемностью 42 т – 15 ед., 55 т – 25 ед. и 120 т – 7 ед.

В Кузбассе в основном работают автосамосвалы производства ПО "БелАЗ" (Беларусь). Только на разрезе "Бачатский" с 1988 г. находятся в эксплуатации автосамосвалы САТ-785В фирмы "Caterpillar" грузоподъемностью 136 т (5 ед.). В 2007 г. одна машина списана с пробегом 832,8 тыс. км (норматив – 800 тыс. км), фактический срок эксплуатации – 7 лет.

Бачатская автобаза технологического автотранспорта является крупнейшей в Кузбассе, где находятся в эксплуатации 71 ед. самосвалов, в том числе 50 ед. особо большой грузоподъемности (200 т и выше). Средняя грузоподъемность самосвалов по автобазе самая высокая в Кузбассе и равна 184,5 т.

Карьерные автосамосвалы производства "БелАЗ" являются самосвалами мирового уровня благодаря постоянной реконструкции действующего производства и организации сервисного обслуживания в Кузбассе.

**Техническое состояние технологических автосамосвалов** оценивается остаточной стоимостью (износом) (%) и суммарным пробегом (тыс. км). Нормы амортизационных отчислений по самосвалам для бухгалтерского учета существенно различаются по компаниям и разрезам Кузбасса.

В УК "Кузбассразрезуголь" в наличии находятся 503 ед. машин. С 01.01.2007 г. нормативы суммарного пробега на списание автосамосвалов скорректированы. В УК "Кузбассразрезуголь" в среднем по парку автосамосвалов износ по амортизационным отчислениям равен 38,4 %, износ по пробегу – 50,2 %, средний пробег одного автомобиля равен 257 тыс. км. Самые

большие износы автомобилей наблюдаются на разрезах, соответственно, по амортизации и пробегу: "Вахрушевский" – 49 и 60,2 %, "Кедровский" – 43,4 и 44,9 %, "Таежный" – 57 % по пробегу. Максимально изношен парк самосвалов грузоподъемностью 30 т – 72,9 %, 40 т – 91 %, 120 т – 79,4 %, 136 т (САТ-785) – 86,9 % и 200 т – 73,2 %.

Максимальный средний пробег у автомобилей в автобазах разрезов, тыс. км: "Вахрушевский" – 301, "Талдинский" – 274 и "Бачатский" – 273. На разрезах УК "Кузбассразрезуголь" продолжают работать со 100%-ным износом 14 самосвалов (3 % парка).

В ОАО "Междуречье" износ самосвалов по амортизации равен 55,9 %, по суммарному пробегу – 63,9 %; со 100%-ным износом продолжают работать 20 автомобилей.

Наиболее значительный износ самосвалов в ХК "СДС-Уголь" – 79,4 %. На примере разреза "Киселевский", где половина автомашин работает со 100%-ным износом, средний пробег у машин грузоподъемностью 42 и 120 т (15 ед.) равен 421...458 тыс. км, что превышает нормативный – 400 тыс. км. На обновлении техники сказались изменения в организационно-правовой структуре разреза "Киселевский" – переход из ОАО "Кузбассразрезуголь" (2002 г.) в состав ХК "СДС-Уголь" (2006 г.).

**Техническое перевооружение** автотранспорта связано с ростом грузоподъемности автосамосвалов, повышением их надежности и срока службы, содержанием автодорог в качественном состоянии, совершенствовании технического обслуживания.

В рамках технического перевооружения автомобильного транспорта на угольных разрезах в последние годы введено в эксплуатацию значительное количество автосамосвалов, главным образом, производства "БелАЗ": в 2006 г. – 167 ед., в 2007 г. – 170 ед. Основная доля обновления автотранспорта приходится на крупные угольные компании.

В УК "Кузбассразрезуголь" степень обновления парка автосамосвалов составляет 11...13 %. Ежегодно



Рис. 1. Динамика технического состояния парка автосамосвалов УК "Южный Кузбасс"

вводятся в эксплуатацию порядка 60 ед. и списываются 40...60 ед. автомашин.

Наблюдается тенденция повышения средней грузоподъемности автосамосвалов ввиду ее эффективности и уменьшения численности водителей. Средняя грузоподъемность самосвала за три года выросла с 103 до 116 т. Удельный вес автосамосвалов грузоподъемностью 200 т и выше поднялся с 37 до 93 ед., т.е. в 2,5 раза. За 10 мес 2007 г. было списано 10 самосвалов со средним пробегом 476,2 тыс. км, средний срок эксплуатации – 6,4 года.

На разрезе "Бачатский" с 2006 г. проходит испытания сверхмощный автосамосвал БелАЗ-75600 грузоподъемностью 320 т. Испытания продлены еще на один год ввиду отказов ряда узлов и несвоевременного их поступления с завода-изготовителя. С начала испытания по 01.10.2007 г. пробег составил 50,2 тыс. км.

На рис. 1 приведена динамика технического состояния парка автосамосвалов в УК "Южный Кузбасс". Как видно, средняя грузоподъемность самосвала увеличилась с 106,1 до 121 т, при этом удельный вес мощных и сверхмощных машин (130...220 т) вырос в 5 раз: грузоподъемностью 130 т – с 16 до 46 ед., грузоподъемностью 220 т – с 2 до 23 ед., при этом средний износ самосвалов уменьшился в 1,32 раза – с 71,5 до 53,8 %.

В табл. 13 сведены показатели технического состояния парка технологических автосамосвалов крупных компаний Кузбасса.

## 6. Железнодорожный карьерный транспорт

В целом по Кузбассу доля железнодорожного транспорта по перевозке объемов вскрыши имеет тенденцию к уменьшению: 1995 г. – 21,5 %; 2000 г. – 15,1 %; 2005 г. – 9,4 %; 2007 г. – 5,9 %. В 2004 г. в Кузбассе было перевезено максимум железнодорожной вскрыши – 53 235 тыс. м<sup>3</sup>. С 2005 г. абсолютные объемы такой вскрыши стали уменьшаться. Потеря позиций железнодорожного

транспорта в доле вскрыши объясняется отсутствием эффективных тяговых средств при разработке глубоких разрезов, сравнительно малыми уклонами пути и низкой производительностью труда.

Объемы железнодорожной вскрыши в Кузнецком бассейне в 2007 г. составили 37 706 тыс. м<sup>3</sup> при долевом участии: УК "Кузбассразрезуголь" – 40 %, ОАО "Междуречье" – 27 %, УК "Южный Кузбасс" – 11 % и ХК "СДС-Уголь" – 22 %. В табл. 14 даны технико-экономические показатели работы локомотивосоставов в Кузбассе (2007 г.). Среднемесячное количество локомотивосоставов за 7 лет уменьшилось с 54,3 до 49,4 ед.

В целом по Кузбассу железнодорожный подвижной состав включает: локомотивный парк – тяговые агрегаты 72 ед. (38,7 %) и тепловозы 114 ед. (61,3 %); думпкары – 1088 ед., в том числе 2ВС-105 – 914 ед. (84 %) и 6ВС-60 – 174 ед. (16 %). С 2000 г. подвижной состав уменьшился: локомотивы – на 12 ед. (6 %) думпкары – 125 ед. (10,4 %). Структура подвижного состава представлена в табл. 15.

Анализ технического состояния локомотивного парка УК "Кузбассразрезуголь" показывает, что половина тяговых агрегатов ОПЭ-1 отработала установленный срок службы 20 лет. Наибольший износ тяговых агрегатов на разрезах "Кедровский" и "Краснобродский" – 84 %. Износ тепловозов ТЭМ-2 состав-

Таблица 13

Показатели технического состояния парка автосамосвалов, 2007 г.

Компания	Парк, ед.	Средняя грузоподъемность, т	Средний пробег, тыс. км	Износ		
				по амортизационным отчислениям, %	в том числе без остаточной стоимости, ед.	по пробегу, %
ОАО УК "Кузбассразрезуголь"	503	116	257	38,4	14	51,8
ОАО УК "Южный Кузбасс"	171	121	268	50,4	24	53,8
ОАО "Междуречье"	61	126	264	55,9	20	63,9
ОАО ХК "СДС-Уголь"	76	94	315	79,4	28	80,1

Показатели работы локомотивосоставов на вскрыше, 2007 г.

Компания, разрез	Среднемесячное количество локомотивосоставов по списку, ед.	Средняя фактическая вместимость локомотивосостава, м <sup>3</sup>	Годовая производительность списочного локомотивосостава, тыс. м <sup>3</sup>	Среднее расстояние транспортировки, км
<i>Тяговые агрегаты</i>				
<b>ОАО УК "Кузбассразрезуголь":</b>	<b>21,02</b>	<b>370,2</b>	<b>956,4</b>	
р. "Кедровский"	5,82	372,5	1009,6	6,7
р. "Бачатский"	7,58	304,0	775,2	10,3
р. "Краснобродский"	7,62	384,8	1083,6	5,8
ЗАО "Черниговец"	7,0	333,0	1279,7	7,4
ОАО УК "Южный Кузбасс":				
р. "Томусинский"	3,0	402,2	1717,7	7,8
<b>ОАО "Междуречье"</b>	<b>15,7</b>	<b>403,0</b>	<b>789,3</b>	<b>8,0</b>
<i>Тепловозы</i>				
р. "Бачатский"	1,09	312,0	709,4	6,5
р. "Киселевский"	1,6	280,0	1092,9	3,6

Таблица 15

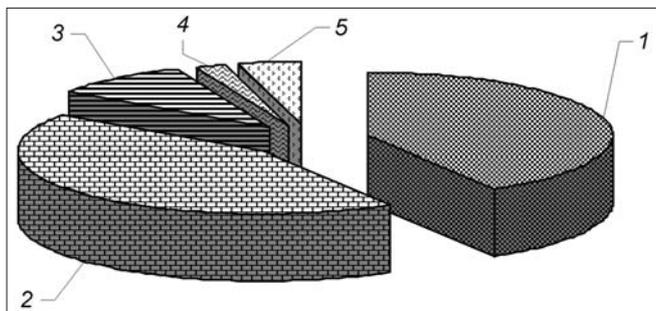
Структура и использование подвижного состава в УК "Кузбассразрезуголь" и "Междуречье"

Оборудование	Тип, модель	Инвентарный парк, ед.	В работе, ед.	Неисправные, ед.			Износ, %
				в ремонте	в ожидании ремонта	в ожидании списания	
<b>ОАО УК "Кузбассразрезуголь"</b>							
Тяговый агрегат	НП-1	1	1				5
	ОПЭ-1	33	32		1		90
Тепловоз	2М62	1	1				5
	2ТЭ-10М	3	2,5	0,5			65
	ТЭМ-7	20	11	1	4	4	70
	ТЭМ-2	33	32	1			91
	ТЭМ-18	9	9				8
Думпкары	2ТЭ-116	3	3				10
	2ВС-105	363	300	14	17	32	90
	6ВС-60	33	23	5		5	90
<b>ОАО "Междуречье"</b>							
Тяговый агрегат	ОПЭ-1	24	15	5	2	2	72,1
	ТЭМ-2	22	18	2	1	1	69,3
	2ТЭ-10М	4	2	2			100
Думпкары	2ВС-105	364	124	14	166*	60	95
	6ВС-60	76	35	5	31*	5	98

\* Думпкары выведены из эксплуатации.

ляет 91,2 %, тепловозов ТЭМ-7 – 70 %, при этом 18 тепловозов ТЭМ-2 отработали установленный срок службы 20 лет.

На ОАО "Междуречье" средний износ тяговых агрегатов ОПЭ-1 составил 72,1 %, в том числе полностью амортизированы 20 ед. (83 % парка).



**Рис. 2. Распределение простоев локомотивосоставов по причинам:**  
 1 – отсутствие забоев, отвалов (42 %); 2 – ремонт локомотивов (43 %); 3 – ликвидация сходов (9 %); 4 – ремонт контактной сети (2 %); 5 – прочее (4 %)

В ХК "СДС-Уголь" физически и морально устарело 90 % действующего парка подвижного состава. Более половины парка локомотивов и думпкаров полностью выработали свой технический ресурс и требуют замены.

Износ думпкаров особенно высок – 90...98 %. При этом основная часть вагонов отработала нормативный срок службы 15 лет. Ремонт думпкаров на специализированных предприятиях усложнен, так как изношенным вагонам выход на железнодорожные пути ОАО "РЖД" запрещен. Обновление вагонного парка (думпкаров) затруднено из-за нехватки производственных площадей Калининградского вагоностроительного завода, которые были использованы не по назначению в период экономического кризиса.

Для обновления парка локомотивов УК "Кузбассразрезуголь" в 2007 г. приобретено: тепловозов ТЭМ-18 – 5 ед. и СМ-2 – 1 ед., тяговый агрегат НП-1. Агрегат НП-1 повышает использование сцепной массы, позволяющей увеличить реализуемую силу тяги на 8...10 %.

На примере УК "Кузбассразрезуголь" и ОАО "Междуречье" среднее использование инвентарного парка локомотивов следующее: в работе по назначению – 82,7 %, ремонт – 11,5 %, ожидание ремонта – 5,2 %, в ожидании списания – 4,6 %.

Велики еще простои локомотивосоставов. На примере УК "Кузбассразрезуголь" за 9 мес 2007 г. простои составили 24 913 ч, при этом наибольшее количество простоя (11 368 ч, или 46 %) приходится на Бачатский

разрез. Основные причины простоев показаны на рис. 2.

Аварийные ремонты тяговых агрегатов случаются по причине выхода из строя: дизеля – 53 %, электрическая часть – 35 %, ходовая часть – 9 %, пневматическое оборудование – 3 %.

Коэффициент технической готовности в УК "Кузбассразрезуголь" равен: тяговых агрегатов ОПЭ-1 – 0,87; тепловозов ТЭМ-7 – 0,57; ТЭМ-2 – 0,95; думпкаров 2ВС-105 – 0,83; 6ВС-60 – 0,7.

Следует отметить, что железнодорожный транспорт полностью оснащен отечественным оборудованием, все машиностроительные заводы сохранили производственные площади, технологическое оборудование и кадры.

## 7. Выводы

Кузнецкий бассейн – единственный регион в угольной отрасли России, где сосредоточена основная часть горно-транспортного оборудования открытой угледобычи. В настоящее время находятся в эксплуатации 70 % экскаваторов-мехлопат и 90 % драглайнов, изготовленных в 1980-х годах, которые физически и морально устарели.

За годы преобразований в стране заводы горного машиностроения значительно отстали в производстве новой техники. Угольные разрезы вынуждены ежегодно закупать за рубежом карьерные и гидравлические экскаваторы, буровые станки, мощные бульдозеры и фронтальные погрузчики, тем самым угольная отрасль и энергетические системы поставлены в зависимость от импортных поставок.

Импортная техника изготавливается с использованием кузнецкого металла и кокса и возвращается в Кузбасс по десятикратной цене.

В связи с созданием Кузбасского технопарка следует в сфере высоких технологий горного машиностроения ввести разработку отечественных гидрофицированных экскаваторов с повышенным усилием копания и фронтальных погрузчиков. Производство указанного оборудования можно организовать на Юргинском машзаводе, где освоено производство гидроцилиндров для шахтных крепей.

Оснащение разрезов современной отечественной техникой в настоящее время весьма непростая задача ввиду отсутствия в стране координирующего органа по развитию угольной промышленности и горного машиностроения.

УДК 621.867.2 (075.80)

Ю.Д. Тарасов, д-р техн. наук, проф., СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова

**Усовершенствованная конструкция ленточного останова для наклонных ленточных конвейеров**

*Рассмотрены недостатки существующих конструкций ленточных остановов. Подробно описана конструкция останова, предложенного кафедрой горных транспортных машин СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова.*

Ленточный останов является самым простым стопорным устройством, обеспечивающим затормаживание контура конвейерной ленты с заполненной транспортируемым грузом ее грузонесущей ветвью при передаче тормозного усилия необходимой величины непосредственно на приводной или разгрузочный барабан. Это позволяет исключить обратное движение ленты при нарушениях кинематической связи между двигателем и приводным барабаном. Такая ситуация может возникнуть при использовании в качестве стопорного устройства тормоза, а также храпового или роликового останова, размещенных на быстроходном валу привода поскольку развиваемые

тормозные моменты существующих конструкций тормозов и остановов не позволяют их размещать на тихоходном валу привода конвейера.

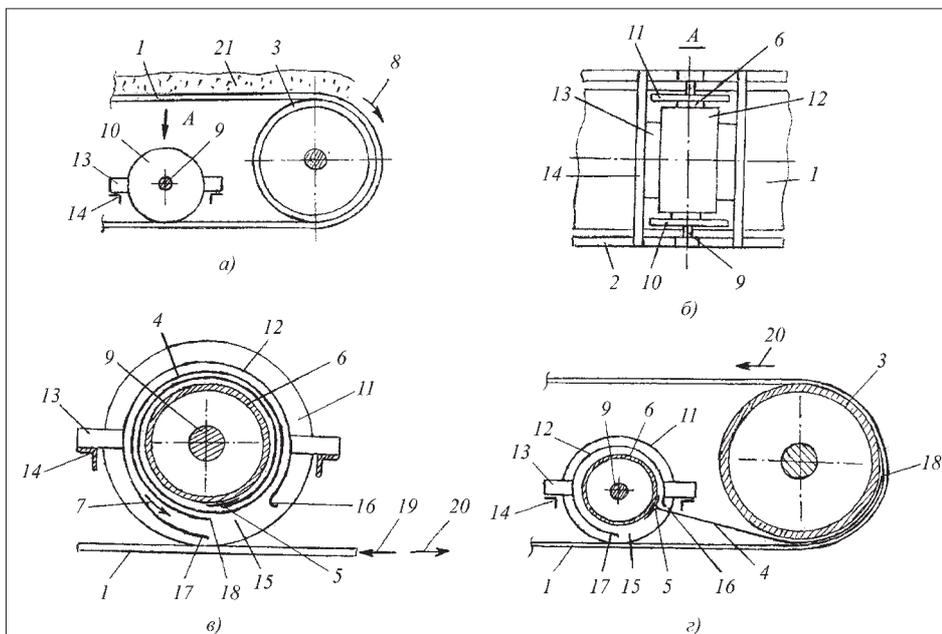
Однако существующие конструкции этого простого и дешевого стопорного устройства [1] обладают недостатками, которые ограничивают возможности их эффективного использования на наклонных (уклонных и подъемных) ленточных конвейерах. К этим недостаткам относятся: 1) увеличенный обратный ход конвейерной ленты при ее стопорении из-за отклонения конца тормозной ленты холостой ветвью конвейерной ленты в сторону натяжного барабана при нормальной работе конвейера на подъем транспортируемого груза; 2) фрикционный износ конвейерной ленты и размещенной на ней тормозной ленты в течение всего времени работы конвейера между его остановками.

При выполнении тормозной ленты с фиксирующими приспособлениями на ее конце в виде поперечных планок, цепей или пружин для удержания

конца тормозной ленты в зоне сбегания холостой ветви с барабана и ограничения тем самым величины обратного хода конвейерной ленты возможны разрушения этих приспособлений и порывы самой конвейерной ленты, состыкованной с помощью заклепочных соединений, а также при наличии каких-либо иных выступов на внутренней поверхности контура конвейерной ленты.

На кафедре горных транспортных машин Санкт-Петербургского государственного горного института им. Г.В. Плеханова разработана усовершенствованная конструкция ленточного останова [2], лишенная перечисленных выше недостатков известных ленточных остановов (рис. 1).

Наклонный ленточный конвейер, оборудованный стопорным устройством, включает оги-



**Рис. 1. Схема ленточного останова:**  
 а – вид сбоку; б – вид сверху на бобину; в – поперечный разрез по бобине с положением тормозной ленты при работе конвейера; г – то же, после стопорения контура конвейерной ленты

баемый конвейерной лентой 1 и установленный на раме 2 конвейера головной приводной или разгрузочный барабан 3. Стопорное устройство выполнено в виде ленточного останова, состоящего из отрезка гибкой тормозной ленты 4. Тормозная лента 4 одним концом 5 закреплена на бобине 6 с возможностью ее огибания тормозной лентой 4 в несколько слоев в направлении по стрелке 7, противоположном направлению по стрелке 8 вращения головного барабана 3 при работе конвейера до его остановки.

Тормозная лента 4 может быть такой же конструкции, как и конвейерная лента 1, а для мощных конвейеров целесообразно использовать гибкую ленту с каркасом из особо прочного материала, например, из арамидной ткани. Это позволяет уменьшить толщину тормозной ленты и диаметр бобины 6. Горизонтальная ось 9 бобины установлена на раме 2 конвейера с возможностью вращения. Боковые стенки (реборды) 10 и 11 бобины размещены с возможностью их постоянного взаимодействия с внутренней поверхностью нерабочей ветви конвейерной ленты 1. На раме 2 конвейера закреплена кожух 12 с возможностью охвата им с зазором наружного слоя тормозной ленты 4 на бобине и размещения его с зазорами относительно боковых стенок 10 и 11 бобины. Кожух 12 на раме 2 закреплена с помощью размещенных по обе стороны от него двух кронштейнов 13 и поперечных балок 14. При этом непосредственно над нерабочей ветвью конвейерной ленты 1 цилиндрическая поверхность кожуха 12 выполнена с прямоугольным вырезом 15, ориентированном в поперечном относительно конвейерной ленты 1 направлении. Причем свободная кромка 16 кожуха 12 в зоне выреза 15 со стороны головного барабана 3 плавно отогнута в сторону головного барабана 3 и размещена выше противоположной свободной кромки 17 с возможностью беспрепятственного прохода между ними свободного конца 18 тормозной ленты 4 при затормаживании контура конвейерной ленты 1.

Стрелками 19, 20 показаны направления движения конвейерной ленты 1 при работе конвейера на подъем транспортируемого груза 21 и при обратном ходе перед затормаживанием.

Наклонный ленточный конвейер действует следующим образом. При работе конвейера на подъем транспортируемого груза 21 и вращении головного барабана 3 в направлении 8 за счет взаимодействия боковых стенок (реборд) 10 и 11 бобины 6 с нерабочей ветвью конвейерной ленты 1 тормозная лента 4 наматывается на бобину и в этом положении вращается вместе с бобиной внутри неподвижного цилиндрического кожуха 12, никак не взаимодействуя с конвейерной лентой 1.

При отключении двигателя привода конвейера конвейерная лента 1 после окончания свободного выбега с вращением головного барабана 3 в противоположном направлении останавливается. После остановки барабана 3 конвейерная лента 1 под действием синусоидальной составляющей веса находящегося на ней транспортируемого груза 21 начинает двигаться в обратном направлении по стрелке 20 при изменении

направления вращения головного барабана 3. Вместе с нерабочей ветвью конвейерной ленты 1 изменит направление вращения и бобина 6. При этом тормозная лента 4 начнет сматываться с бобины, а свободный конец 18 тормозной ленты 4 через вырез 15 в кожухе 12 переместится на внутреннюю поверхность нерабочей ветви конвейерной ленты 1. Благодаря размещению свободных кромок 16 и 17 кожуха 12 на разной высоте относительно внутренней поверхности нерабочей ветви конвейерной ленты 1 свободный конец 18 тормозной ленты 4 беспрепятственно выходит за пределы кожуха 12.

Далее тормозная лента 4 за счет сил трения между ней и внутренней поверхностью нерабочей ветви конвейерной ленты 1 смещается в сторону головного барабана 3 и вместе с ней свободный конец 18 тормозной ленты 4 затягивается между конвейерной лентой 1 и цилиндрической поверхностью вращающегося головного барабана 3. После выбора всей слабины тормозной ленты 4 и ее натяжения с фиксацией второго конца 5 на бобине 6 произойдет затормаживание головного барабана 3 и всего контура конвейерной ленты 1. Причем тормозная лента 4 после ее натяжения со стороны бобины будет ориентирована в плоскости, проходящей через ось 9 бобины 6 с соответствующим увеличением угла обхвата тормозной лентой барабана и увеличением тормозного усилия.

При выполнении тормозной ленты 4 из особо прочного материала размеры останова (диаметр бобины 6, диаметр ее боковых стенок 10 и 11, размеры кожуха 12) могут быть существенно снижены, что расширяет возможности использования останова и снижает его стоимость.

Потребная величина расчетного тормозного усилия, необходимая для выбора параметров ленточного останова, должна быть не меньше величины приложенного к контуру конвейерной ленты движущего усилия, возникающего за счет синусоидальной составляющей веса транспортируемого груза, находящегося на грузонесущей ветви ленты. При этом величина этого движущего усилия всегда меньше тягового усилия при силовом режиме за счет того, что при обратном движении контура конвейерной ленты положительные сопротивления ее движению (распределенные и местные) уменьшают натяжение сбегающей с приводного барабана грузонесущей ветви ленты и увеличивают натяжение набегающей на приводной барабан холостой ветви. Поэтому расчетное значение тормозного усилия всегда меньше тягового усилия. Исходя из этого, параметры ленточного останова должны выбираться из условия удерживания тормозной лентой от обратного вращения только приводного барабана. Отсюда сумма сил трения между тормозной лентой и барабаном и тормозной лентой должна быть равна расчетной величине тормозного усилия.

Приращение натяжения тормозной ленты на дуге обхвата ее конвейерной лентой может быть записано следующим образом (рис. 2):

$$dP_0 = S_f \exp[\mu \theta] d, \quad (1)$$

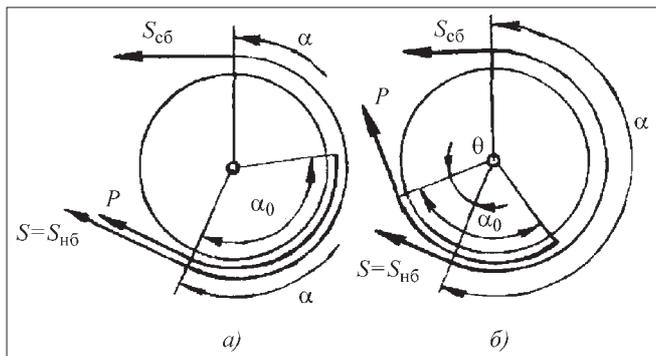


Рис. 2. Расчетная схема к определению параметров ленточного останова при  $\theta = 0^\circ$  (а) и  $\theta = 40^\circ$  (б)

где  $P_0$  – расчетное значение тормозного усилия в точке набегания конвейерной ленты на барабан, Н;  $S$  – натяжение конвейерной ленты в точке ее набегания на барабан при стопорении, Н;  $f_1, f_2$  – коэффициенты трения между конвейерной и тормозной лентой и между тормозной лентой и цилиндрической поверхностью приводного барабана;  $\alpha_0$  – угол обхвата тормозной лентой приводного барабана при стопорении, рад;  $\alpha$  – составляющая угла обхвата тормозной лентой приводного барабана вне конвейерной ленты, рад;  $d$  – мгновенная угловая координата и ее приращение в пределах угла обхвата  $\alpha_0$  конвейерной лентой тормозной ленты, рад.

Уравнение (1) интегрируем в пределах:

$$\int_{P_0}^P dP = S f_1 \int_0^{\alpha_0} \exp[f_2 \alpha] d\alpha$$

откуда

$$P = S f_1 \left[ \exp(f_2 \alpha_0) - 1 \right]$$

Потребное натяжение тормозной ленты равно расчетному значению тормозного усилия:

$$P = P_0 \exp(f_1 \alpha) = S f_1 \left[ \exp(f_2 \alpha_0) - 1 \right] \exp(f_1 \alpha). \quad (2)$$

При  $f_1 = 0$  (барабан снабжен резиновой футеровкой)

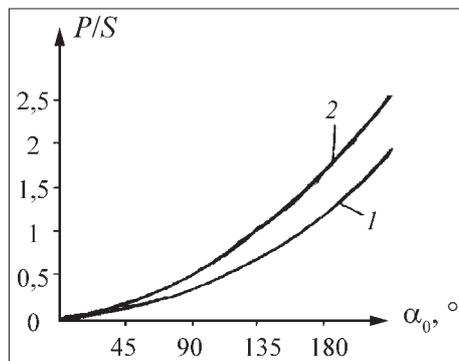


Рис. 3. Зависимость тормозного усилия, обеспечиваемого ленточным останом, от величины угла обхвата тормозной лентой приводного барабана:  
1 – при  $\alpha = 0$ ;  
2 – при  $\alpha = 40$

$$P = P_0 \exp(f_1 \alpha) = S f_1 \left[ \exp(f_2 \alpha_0) - 1 \right] \exp(f_1 \alpha). \quad (3)$$

В заторможенном состоянии конвейерная лента удерживается остановом при коэффициенте запаса тормозной силы, равной отношению параметра  $P$ , определенного по формулам (2) или (3) при значениях  $f_1, f_2$ , соответствующих значениям коэффициентов трения покоя и скольжения.

Ленточный останов позволяет обеспечить значительную величину тормозного усилия (рис. 3) при высокой надежности его срабатывания, поэтому может быть использован на мощных наклонных ленточных конвейерах. Например, при угле обхвата конвейерной лентой приводного барабана  $\alpha_0 = 210^\circ, f_1 = 0,4$  и  $f_2 = 0$  максимальное тормозное усилие  $P = 1,96S$  кН. При  $\alpha_0 = 210^\circ, f_1 = 0,4$  и  $f_2 = 40$  (эти параметры соответствуют несколько измененной по сравнению с описанной выше конструкции останова) максимальное тормозное усилие  $P = 2,53S$  кН. При  $S = 25$  кН максимальные значения тормозных усилий  $P$  будут соответственно 49 и 63 кН.

Из формулы (2) находим потребный из условия стопорения конвейерной ленты при заданных значениях тормозного усилия  $P$  и натяжения  $S$  холостой ветви конвейерной ленты угол обхвата тормозной лентой приводного барабана:

$$\alpha_0 = \frac{1}{f_2} \ln \left\{ \frac{P}{S f_1} + 1 \right\} \exp(f_1 \alpha). \quad (4)$$

При  $f_1 = 0$

$$\alpha_0 = \frac{1}{f_2} \ln \left\{ \frac{P}{S f_1} + 1 \right\}. \quad (5)$$

Примерный расчет выполнен для конвейера (рис. 4) со следующими исходными данными: производительность  $Q = 600$  т/ч, ширина ленты  $B = 1$  м, длины линейных участков  $L_1 = 30$  м,  $L_2 = 84$  м,  $L_3 = 20$  м, угол наклона  $\beta = 18^\circ$ , скорость движения ленты  $v = 2,585$  м/с, линейные массы транспортируемого груза  $q = 64,6$  кг/м, конвейерной ленты  $q_d = 13,5$  кг/м, вращающихся масс роlikоопор на грузонесущей ветви  $q_{pr} = 34$  кг/м и на холостой ветви  $q_{px} = 4,8$  кг/м, средний коэффициент сопротивления движению конвейерной ленты по роlikоопорам  $w = 0,04$ , натяжное усилие  $T = 19630$  Н (рассчитывается и выбирается для силового режима),  $f_1 = 0,3; f_2 = 0,4$ .

Распределенные сопротивления движению ленты на линейных участках конвейера при обратном дви-

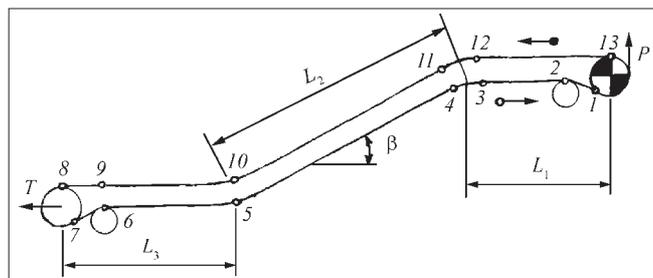


Рис. 4. Расчетная схема ленточного конвейера

жении ее контура (тормозной режим):  $W_{2-3} = 880$  Н,  $W_{4-5} = 720$  Н,  $W_{5-6} = 140$  Н,  $W_{9-10} = 880$  Н,  $W_{10-11} = 18750$  Н,  $W_{12-13} = 1320$  Н. Местные сопротивления движению: за счет трения фартуков направляющих бортов загрузочного устройства о конвейерную ленту  $W_6 = 730$  Н (расчетная точка 9), от очистителя ленты  $W_{оч} = 580$  Н (расчетная точка 1), на натяжном барабане учтены коэффициентом  $K_1 = 1,07$  (расчетные точки 7 и 8), на отклоняющих барабанах – коэффициентом  $K_2 = 1,03$  (расчетные точки 2 и 6), на выпуклых участках контура – коэффициентом  $K_3 = 1,026$  (расчетные точки 3, 4 и 11, 12).

Натяжение конвейерной ленты в точках сбегаия с приводного барабана (грузонесущая ветвь) и набегаия на него (холостая ветвь):

$S_{сб} = (S_8 + W_6 + W_{9-10} + W_{10-11})/K_3 + W_{12-13}$ ;  $S_{нб} = S = [(K_2 S_7 + W_{5-6} + W_{4-5})K_3 + W_{2-3}]K_2 + W_{оч}$ , где  $S_8 + S_7 = T$ , откуда  $S_8 = T/(1 + K_1)$ ,  $S_7 = T - S_8$ .

Отсюда расчетная величина тормозного усилия  $P = (S_{сб} - S_{нб}) \cdot w_n (S_{сб} + S_{нб})$ , где  $w_n$  – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление движению ленты при ее обратном ходе при огибании ею приводного барабана ( $w_n = 0,04$ ).

После подстановки численных значений получим  $S_8 = 19630/(1 + 1,07) = 9800$  Н,  $S_7 = 19630 - 9800 = 9830$  Н;  $S_{сб} = (9800 + 730 + 880 + 18750)/1,026 - 1320 = 24940$  Н;  $S_{нб} = S = [(1,03 \cdot 9830 + 140 + 720)1,026 + 880]1,03 + 580 = 11890$  Н;  $P = (24940 - 11890) \cdot 0,04(24940 + 11890) = 11580$  Н.

Потребный угол обхвата тормозной лентой приводного барабана при  $\alpha = 0$

$$\alpha_0 = 0,4 \ln \{ 11580 / 11890 \} / 0,3 = 0,4 [\exp(0,3 \cdot 0)]^{-1} - 1 = 0,208 \text{ рад},$$

а при  $\alpha = 40^\circ$  ( $0,7$  рад)  $\alpha_0 = 0,4 \ln \{ 11580 / 11890 \} / 0,3 + 0,4 [\exp(0,3 \cdot 0,7)]^{-1} + 1 = 1,42$  рад, что соответствует всего 56 % ( $\alpha = 0$ ) и 20 % ( $\alpha = 40^\circ$ ) от угла обхвата тормозной лентой приводного барабана в пределах его обхвата конвейерной лентой.

Применение ленточных остановов усовершенствованной конструкции позволит повысить надежность стопорения ленты наклонных конвейеров при минимальном обратном ходе ленты за счет уменьшения свободного хода тормозной ленты перед ее затягиванием между барабаном и конвейерной лентой, повысить ресурс тормозной ленты за счет исключения ее износа в периоды работы конвейера между его остановами, исключить износ конвейерной ленты за счет того, что она не взаимодействует с тормозной лентой при работе конвейера.

#### Список литературы

1. Тарасов Ю.Д. Тормозные и улавливающие устройства ленточных конвейеров. СПб.: Политехника, 1999.
2. Заявка № 2007141539 (РФ). Наклонный ленточный конвейер / Ю.Д. Тарасов. Заявл. 08.11.2007, МПК В65G 15/00.

УДК 622.684

В.А. Рассказов, Лебединский ГОК

## Особенности закона распределения наработки на отказ большегрузных карьерных автосамосвалов <sup>НИ</sup>

*Предложен комплекс показателей, характеризующих наработку на отказ большегрузных карьерных автосамосвалов. Показано, что переход к системе ТОиР по техническому состоянию дает положительный эффект только при малых и средних сроках эксплуатации.*

Анализ влияния различных эксплуатационных факторов на показатели надежности большегрузных карьерных автосамосвалов показывает, что наиболее значимым фактором является суммарная наработка с начала эксплуатации – "возраст" машин [1]. Закон распределения наработки на отказ по возрастным группам автосамосвалов устанавливался ранее по данным статистического анализа результатов эксплуатации на всех карьерах страны. Устанавливались также удельное время восстановления после отказов и другие показатели надежности автомобилей.

Однако имеющиеся статистические данные относятся в основном к устаревшим маркам автосамосвалов. Кроме того, они собирались в условиях, когда на всех горных предприятиях действовала система периодических плановых технических обслуживаний и ремонтов машин, регламентированная заводом-изготовителем. С переходом на рыночную экономику на предприятиях все в большей степени применяется принцип планирования технических обслуживаний (ТО) и ремонтов машин в зависимости от их наработки с начала эксплуатации или технического состояния, характеризуемого частотой отказов или простоями из-за них.

Так, анализ работы службы технической эксплуатации автосамосвалов типа БелАЗ-75131 на Лебединском ГОКе в течение нескольких последних лет показывает, что, хотя длительность среднегодовых простоев парка машин на плановых ТО и ремонтах выше рег-

ламентированной заводом-изготовителем на 20...30 %, распределение этого времени по отдельным машинам весьма неравномерно: автомобили с большой наработкой от начала эксплуатации простаивают на плановых ТО и ремонтах значительно большее время, чем относительно новые автомобили. При этом простои по причине отказов практически не зависят от "возраста" машины. Аналогичный подход к техническому обслуживанию и ремонту карьерных автосамосвалов, как показывает анализ данных, приведенных в работе [2], имеет место на большинстве крупных горных предприятий страны.

В связи с этим необходимо отметить, что при системе периодических плановых ТО и ремонтов наработка машин между отказами сопоставима по величине с периодичностью плановых ремонтов, после которых техническое состояние и показатели надежности автосамосвала резко изменяются. Поэтому определение среднестатистической наработки между отказами в условиях такой системы технической эксплуатации равносильно определению наработки до отказа партии технических изделий при испытаниях на ограниченном фиксированном интервале времени (на котором не все изделия из партии успевают отказать). При этом используются методы обработки так называемых цензурированных (усеченных) статистических выборок значений случайной величины. Именно таким методом и получены имеющиеся данные о наработке между отказами большегрузных автосамосвалов типа БелАЗ примерно 20 лет назад [1].

В условиях современной системы технической эксплуатации карьерных автосамосвалов, очевидно, такой метод непригоден. Кроме того, распределение средней наработки между отказами автомобилей по их возрастным группам утрачивает свое значение как независимый показатель надежности, так как основными показателями надежности ремонтируемых изделий являются коэффициенты готовности и технического использования, зависящие также и от времени нахождения изделия на плановых и неплановых ТО и ремонтах. А эти величины при существующей системе технической эксплуатации карьерных автосамосвалов находятся в прямой зависимости от наработки между отказами.

В связи с этим необходимо использовать другие первичные показатели, позволяющие определять коэффициенты готовности и технического использования машин, но характеризующиеся статистически устойчивыми законами распределения по возрастным группам машин.

Анализ статистических данных о работе парка автосамосвалов БелАЗ-75131, состоящего из 13 машин, эксплуатирующихся от 13 до 92 месяцев (на 01.01.2008 г.) на Лебединском ГОКе показал, что статистически устойчивыми являются наработка машин в моточасах с начала эксплуатации и удельная наработка на 1 ч планового и непланового ТО и ремонта. В последнем случае удобнее использовать обратные величины: удельные простои при восстановлении после отказа (неплановом ремонте) на 100 моточасов наработки и удельные простои на плановых ТО и ремонтах. Первые, очевидно, прямо пропорциональны коэффициенту аварийности, однозначно связанному с коэффициентом готовности, а вторые позволяют определить коэффициент технического использования

$$K_{Г} = \frac{T_{р}}{T_{р} + T_{в}} = \frac{1}{1 + K_{ав}}$$

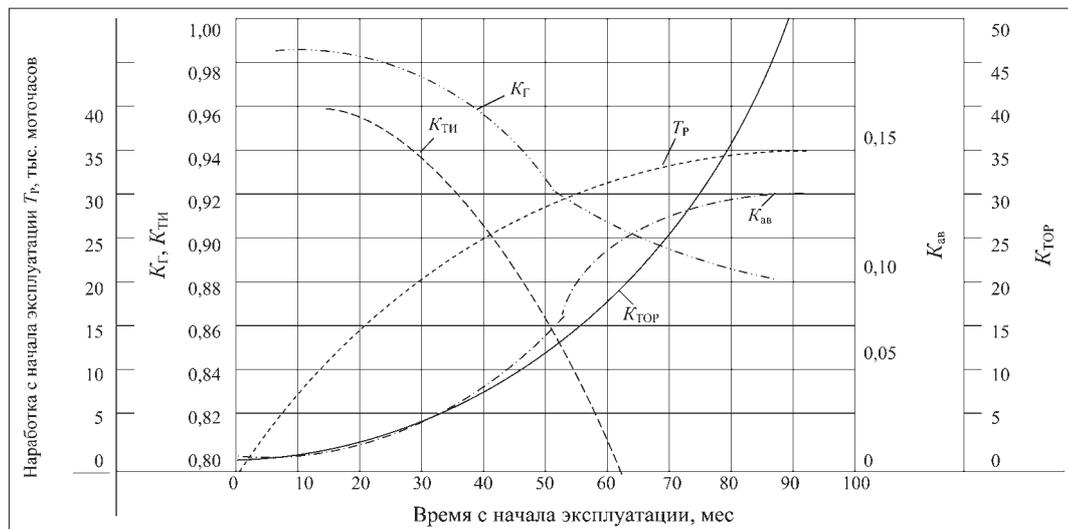
$$K_{ав} = \frac{T_{в}}{T_{р}} = 0,01K_{в}$$

$$K_{ти} = \frac{T_{р}}{T_{р} + T_{ТОР} + T_{в}} = \frac{1}{1 + 0,01K_{ТОР} + K_{ав}}$$

где  $K_{Г}$  — коэффициент готовности;  $K_{ти}$  — коэффициент технического использования;  $K_{ав}$  — коэффициент аварийности;  $K_{в}$  и  $K_{ТОР}$  — коэффициенты удельных простоев на 100 моточасов наработки при восстановлении и плановых ТО и ремонтах;  $T_{р}$ ,  $T_{в}$  и  $T_{ТОР}$  — наработка, время восстановления после отказов и время плановых ТО и ремонтов за некоторый период.

Зависимости рассмотренных показателей (кроме  $K_{в}$ ) от календарного времени эксплуатации машин приведены на рисунке.

Анализ полученных эмпирических зависимостей позволяет сделать следующие выводы. Нарботка ма-



Зависимости показателей надежности автосамосвалов от календарного времени эксплуатации

шин с начала эксплуатации хорошо описывается функцией вида:

$$T_p(t) = T_{\max}(1 - e^{-at}),$$

где  $T_{\max}$  – теоретически максимально возможная наработка;  $a$  – эмпирический коэффициент;  $t$  – текущее календарное время.

Соответственно, наработка за единицу календарного времени описывается убывающей функцией:

$$\frac{dT_p}{dt} = aT_{\max}e^{-at}.$$

Удельные простои машин из-за отказов, характеризующие коэффициентом аварийности  $K_{ав}$ , изменяются по S-образной кривой, которую можно описать суммой логистической и линейной функций:

$$K_{ав} = \frac{K_{\max}}{1 + be^{-ct}} + gt,$$

где  $K_{\max}$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $g$  – эмпирические коэффициенты.

Тогда коэффициент готовности

$$K_r = \frac{1}{1 + K_{ав}} = \frac{1}{1 + gt + \frac{K_{\max}}{1 + be^{-ct}}}.$$

Заметим, что приведенная в работе [1] и рекомендуемая заводом-изготовителем для нормирования ремонтных работ зависимость удельных простоев при неплановых ремонтах от "возраста" машин резко отличается от полученной нами при сроках эксплуатации до 5 лет. В дальнейшем обе зависимости приближаются к линейной.

Таким образом, переход к системе плановых ТО и ремонтов по техническому состоянию машин дает положительный эффект только при малых и средних сроках эксплуатации.

В работе [1], как и во многих других работах, считается, что при  $t = 0$   $K_r = 1$ . В связи с этим необходимо отметить, что, во-первых, определить  $K_r$  при нулевом времени эксплуатации невозможно, так как это время должно быть не менее наработки до первого отказа и времени восстановления после него. Во-вторых, если теоретически экстраполировать зависимость  $K_r$  от времени эксплуатации до нулевого времени, то значение  $K_r$  должно стремиться к величине, обратной  $(1 + K_{ав})$ . Как показывает экстраполяция значений  $K_{ав}$  до нулевого времени эксплуатации, они при этом не стремятся к нулю (см. рисунок). Данный вопрос не является чисто теоретическим, так как связан с прогнозированием значений показателей надежности машин при уменьшении интервала времени, на котором они определяются, по сравнению с интервалом, для которого имеются эмпирические данные.

Нужно отметить, что, хотя техническая скорость автомобилей с увеличением их наработки падает, приведенные на рисунке закономерности сохраняют свой вид и в функции суммарного пробега с начала эксплуатации.

#### Список литературы

1. Казарез А.Н., Кулешов А.А. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией. М.: Недра, 1988. 264 с.
2. Мариев П.А., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке. СПб.: Наука, 2006. 387 с.

УДК 622.619:622.611

К.А. Стребков, СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова

## Малотоксичные режимы работы подземных погрузочно-доставочных машин <sup>НИ</sup>

*Описана методика определения режимов работы (передачи) двигателей погрузочно-доставочных машин, соответствующих минимальным выбросам вредных веществ. Приведены результаты оптимизации режимных параметров дизельного привода ПДМ в целях улучшения экологической обстановки.*

Одним из главных направлений научно-технического прогресса при подземной разработке месторождений в последние 20 лет являлось внедрение самоходного оборудования.

Эксплуатация подземного транспортного самоходного оборудования осложняется двумя серьезными факторами – высокой себестоимостью перевозок погрузочно-доставочных работ (затраты на энергоносители составляют 15...20 % в общей себестоимости) и отрицательным воздействием на экологическую обстановку в подземных выработках. Новые конструкторские решения, направленные на создание высокоэкономичных дизелей, долгосрочны в своей реализации, поэтому быстрое расширение области применения самоходного горно-транспортного оборудования на подземных рудниках цветной металлургии обусло-

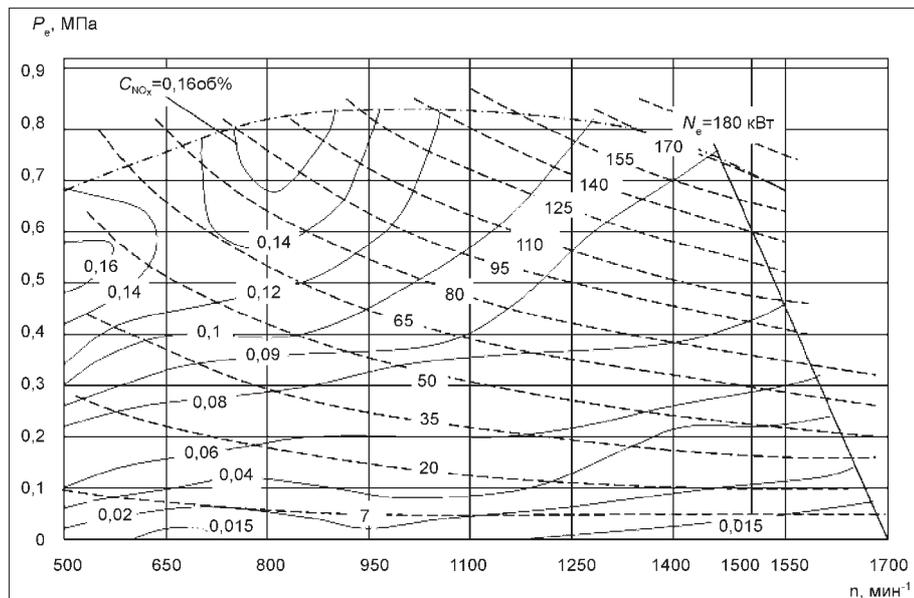


Рис. 1. Концентрация  $\text{NO}_x$  в отработавших газах дизеля ЗД6

вило необходимость исследования направлений повышения эффективности серийно выпускаемого оборудования. Несмотря на ряд проведенных ранее исследований в данном направлении [1], многие вопросы требуют дальнейшего углубленного изучения. В частности, не определены зависимости изменения силовой составляющей нагрузочного режима дизеля в течение технологического цикла и ее влияние на экологичность процесса.

Решение этой задачи позволит: оптимизировать рабочий процесс транспортного самоходного оборудования по энергетическим и экологическим показателям; прогнозировать изменение расхода топлива

в зависимости от изменяющихся условий эксплуатации, создавать машины для конкретных горно-технических условий. На кафедре горных транспортных машин СПГГИ (ТУ) совместно с ЦНИДИ были проведены исследования серийного отечественного двигателя ЗД6 мощностью 173 кВт, который может быть установлен на подземную погрузочно-доставочную машину. В ходе эксперимента на всех режимах работы дизельного двигателя были получены такие параметры, характеризующие экологичность, как концентрация оксида углерода и оксидов азота ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ). Диаграммы этих зависимостей приведены на рис. 1 и 2. Для выбора рациональных режимов работы погрузочно-доставочной машины в реальных условиях эксплуатации в целях минимизации вредных выбросов была взята тяговая характеристика (рис. 3) ПДМ TORO 400DS, работающей на руднике "Северный" ГМК "Печенганикель". Далее был проведен пересчет объемов вредных выбросов на каждую передачу ПТМ в реальных условиях эксплуатации. Сопоставив результаты испытаний дизельного двигателя ЗД6 и тяговую характеристику ПДМ TORO 400DS можно выбрать те режимы работы (передачи), которые соответствуют минимальным выбросам. Например: при известном сопротивлении движению пустого ПДМ, равного 2 %, и уклоне 25 % определяем передачу (см. рис. 3 – по стрелке) и скорость движения.

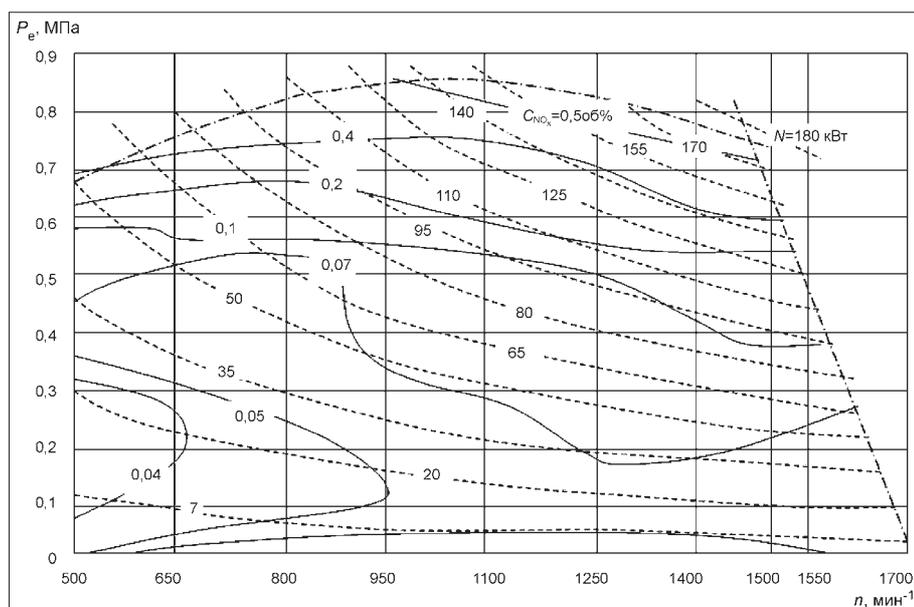


Рис. 2. Концентрация  $\text{CO}$  в отработавших газах дизеля ЗД6

в зависимости от изменяющихся условий эксплуатации, создавать машины для конкретных горно-технических условий.

На кафедре горных транспортных машин СПГГИ (ТУ) совместно с ЦНИДИ были проведены исследования серийного отечественного двигателя ЗД6 мощностью 173 кВт, который может быть установлен на подземную погрузочно-доставочную машину.

В ходе эксперимента на всех режимах работы дизельного двигателя были получены такие параметры, характеризующие экологичность, как концентрация оксида углерода и оксидов азота ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ). Диаграммы этих зависимостей приведены на рис. 1 и 2.

Для выбора рациональных режимов работы погрузочно-доставочной машины в реальных условиях эксплуатации в целях минимизации вредных выбросов была взята тяговая характеристика (рис. 3) ПДМ TORO 400DS, работающей на руднике "Северный" ГМК "Печенганикель".

Далее был проведен пересчет объемов вредных выбросов на каждую передачу ПТМ в реальных условиях эксплуатации. Сопоставив результаты испытаний дизельного двигателя ЗД6 и тяговую характеристику ПДМ TORO 400DS можно выбрать те режимы работы (передачи), которые соответствуют минимальным выбросам. Например: при известном сопротивлении движению пустого ПДМ, равного 2 %, и уклоне 25 % определяем передачу (см. рис. 3 – по стрелке) и скорость движения.

Данная методика позволяет определять выбор рациональных передач погрузочно-транспортной машины в целях минимизации вредных выбросов в атмосферу рудника для конкретных условий эксплуатации.

Для определения потребного количества вентиляционного воздуха в руднике проводился расчет по индексу-концентрации отработавших газов (ОГ) по данным стендовых испытаний для номинального режима дизеля ЗД6.

Данный расчет проводился исходя из ожидаемых параметров ОГ дизеля ЗД6 после его доводки по токсичности и учитывая, что на погрузочно-доставочной машине дизель работает совместно с каталитическим нейтрализатором ОГ, снижающим концентрацию  $\text{CO}$  до 0,8 об%. На концентрацию  $\text{NO}_x$  в

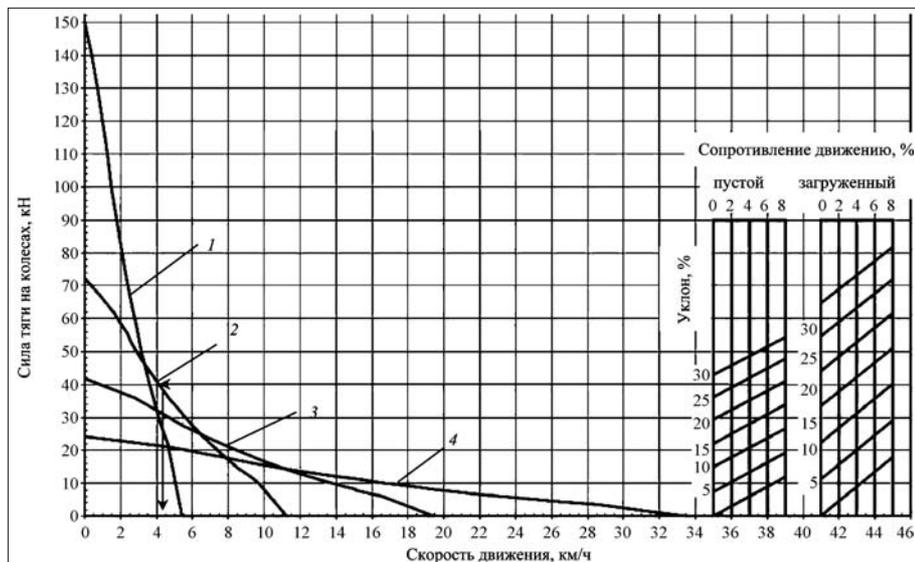


Рис. 3. Тяговая характеристика ПДМ TORO 400DS:  
1–4 – соответственно 1, 2, 3 и 4-я передачи

работы дизеля (базовый вариант) и оптимизированных (предлагаемый вариант). За основу принята формула определения удельного расхода ОГ двигателя в функции развиваемой им частоты вращения [2]:

$$q_r = \frac{V_{ц} n_{дв}}{2 \cdot 1000 \cdot 6}, \text{ м/с,}$$

где  $V_{ц}$  – рабочий объем цилиндров, л (TORO 400DS = 15,83 л);  $n_{дв}$  – частота вращения двигателя, мин<sup>-1</sup>. Содержание токсичных компонентов в ОГ оценивалось по методике, разработанной совместно ЦНИДИ, СПГГИ (ТУ), НИИ "Атмосфера" и АО "Инженерная экология" [3].

Результаты расчета для предлагаемого варианта приведены в таблице.

Абсолютный расход ОГ за технологический цикл ПДМ для типичных условий рудника "Северный" ГКМ "Печенганикель"

Частота вращения дизеля, мин <sup>-1</sup>	Удельный расход ОГ, м <sup>3</sup> /с	Предлагаемый вариант					
		Продолжительность скоростного режима, с	Абсолютный расход ОГ, м <sup>3</sup>	Содержание токсичных компонентов в ОГ, г			
				NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	C
900	0,118	37	4,39	12,51	5,62	0,162	0,375
1050	0,139	60	8,31	22,56	14,16	0,438	0,909
1150	0,151	0,04	0,006	0,02	0,01	0,001	0,001
1250	0,164	0,138	0,023	0,05	0,03	0,001	0,002
1300	0,171	105,25	18,05	37,15	33,57	0,746	2,412
1350	0,178	0,34	0,062	0,12	0,11	0,002	0,008
1400	0,185	0,1	0,0183	0,03	0,03	0,001	0,003
1450	0,191	0,07	0,014	0,02	0,02	0,001	0,002
1500	0,198	0,083	0,016	0,03	0,02	0,001	0,002
1600	0,211	44,52	9,396	13,62	13,36	0,250	1,185
Итого:		247,5	40,3	86,11	66,94	1,603	4,900

ОГ каталитический нейтрализатор значительного влияния не оказывает.

Выполненные расчеты показали, что после доводки дизеля ЗДб по токсичности ОГ и при использовании каталитического нейтрализатора потребный расход вентиляционного воздуха для него сократится на 20...30 %.

Объем ОГ дизеля, при прочих равных условиях, пропорционален количеству израсходованного топлива, и, как следствие из этого, оптимизация рабочего процесса ПДМ по критерию энергопотребления приводит к минимизации количества ОГ.

Для оценки уровня повышения экологической безопасности при эксплуатации ПДМ с оптимальными режимными параметрами по отношению к применяемому выполнен сравнительный анализ. В основу его лег расчет объема ОГ для применяемых режимов

Оптимизация режимных параметров дизельного привода ПДМ позволяет существенным образом оздоровить экологическую обстановку в шахте, так как общее количество нормируемых загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу за один рейс, снижается более чем 2,3 раза. При использовании предложенных мероприятий ожидаемая экономия дизельного топлива за цикл достигает более 30 %.

#### Список литературы

1. Прошин Ю.М., Трофимов И.М., Дроздов В.С. Эффективность самоходного оборудования на подземных рудниках цветной металлургии // Горный журнал. 1995. № 2. С. 53–55.
2. Фомичев В.И. Вентиляция тоннелей и подземных сооружений. Стройиздат, ЛО, 1991. 200 с.
3. Методика расчета вредных выбросов промышленного и железнодорожного транспорта. СПб. 1996.

УДК 621.878/879:621.3.015.1

И.Ш. Кадыров, канд. техн. наук, доц., филиал БГТУ "Военмех", г. Бишкек, Республика Кыргызстан

## Исследование динамических процессов в электромеханической системе землеройной машины при внезапном отключении питающего напряжения

*Рассматриваются динамические процессы, происходящие в экскаваторных электроприводах по системам ТП–Д и НПЧ–АД. Дается сравнительный анализ этих процессов на основании данных, полученных в результате математического моделирования на АВМ и подтвержденных осциллограммами, снятыми на лабораторном стенде.*

До 1970-х годов в экскаваторных электроприводах преимущественное применение находил электропривод по системе "магнитный усилитель–генератор–двигатель" (МУ–Г–Д), в котором аварийный режим, присущий для тиристорного электропривода и связанный с опрокидыванием инвертора, не происходил. В настоящее время широко применяются системы "непосредственный преобразователь частоты–асинхронный двигатель" (НПЧ–АД).

Основная трудность использования вентильных преобразователей на экскаваторах обусловлена большей сложностью принципа импульсно-фазового управления, высоким коэффициентом усиления, высоким быстродействием и неполной управляемостью вентилей. Высокое быстродействие вентильного электропривода особенно сильно проявляется в аварийном режиме, получившем название "опрокидывание инвертора", когда в результате внезапного отключения питающего напряжения, вызванного сбоями в системе управления вентильного преобразователя или сбоями в энергосистеме, напряжение преобразователя скачком снижается до нуля.

Поэтому для исследования режима опрокидывания инвертора при внезапном отключении питающего напряжения в электроприводе по системе НПЧ–АД создан лабораторный стенд, состоящий из НПЧ, выполненного на трех трехфазных реверсивных преобразователях постоянного тока с отдельным управлением, и асинхронного двигателя типа А-51-4А мощностью 4,5 кВт, как показано на рис. 1.

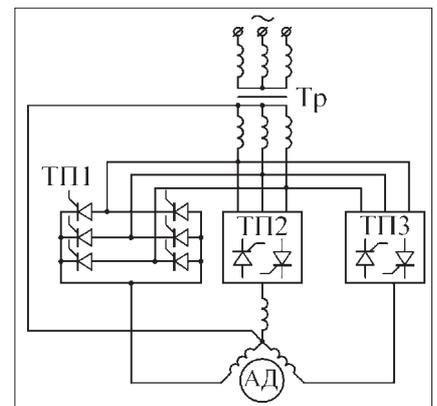
В данной статье излагается сравнительный анализ аварийного режима в электроприводах по системе "тиристорный преобразователь–двигатель" (ТП–Д) и НПЧ–АД при внезапном отключении питающего на-

пряжения в целях выявления опасности для силовых тиристоров, двигателя и для самих механизмов экскаватора.

Возможность возникновения режима опрокидывания инвертора в экскаваторных электроприводах по системе ТП–Д и НПЧ–АД обусловлена необходимостью работы их в генераторном режиме. Например, для привода подъема генераторный режим возникает в связи с активным характером нагрузки, причем спуск ковша в цикле экскавации занимает значительное место. Для привода тяги длительность работы в генераторном режиме меньше, чем, допустим, для привода подъема, однако на отдельных участках цикла экскавации время работы в генераторном режиме существенно, так как характер нагрузки для привода тяги тоже активный. Для привода поворота активного момента нагрузки нет, однако длительность переходных процессов составляет от 6 до 12 с, что связано со значительной инерционностью механизма и большим запасом кинетической энергии во вращающихся массах. Так как статическая нагрузка мала, то торможение, как правило, сопровождается отдачей этой энергии в сеть.

Так как электроприводы основных механизмов экскаватора в цикле экскавации значительное время работают в генераторном режиме, то вероятность попадания в режим опрокидывания инвертора при внезапных отключениях напряжения велика.

Рис. 1. Принципиальная схема системы НПЧ–АД с трехпульсным преобразователем частоты



Физические процессы, происходящие в режиме опрокидывания инвертора, наглядно объясняются простым количественным сравнением соотношений двух встречно-направленных ЭДС, действующих в силовой цепи: ЭДС двигателя  $E_{дв}$  и ЭДС преобразователя  $E_{пр}$ . В электроприводе по системе ТП–Д при работе в генераторном режиме ток, протекающий по якорной цепи, обусловлен действием ЭДС двигателя, так как  $|E_{дв}| > |E_{пр}|$  и системой управления обеспечивается условие протекания тока в направлении, противоположном двигательному режиму. При этом случайное отключение питающего напряжения обуславливает возникновение аварийного режима опрокидывания инвертора, когда в силу безынерционности тиристорного преобразователя ЭДС преобразователя  $E_{пр}$  скачком падает до нуля и ток, протекающий в якорной цепи под действием ЭДС двигателя, ограничивается только активным и индуктивным сопротивлениями цепи якоря. Если предположить, что скорость двигателя в режиме, предшествующем опрокидыванию инвертора, соответствовала номинальной, то аварийный ток  $I_{ав}$  соответствует режиму короткого замыкания двигателя и может достигать значений, в 10–20 раз превосходящих номинальное значение тока двигателя [1]:

$$I_{ав} = E_{дв} / z_{я} = I_{кз} (10...20) I_{н}.$$

Большие кратности токов при опрокидывании инвертора представляют опасность для двигателя, так как при этом возникают ударные динамические нагрузки, воздействующие на обмотку двигателя, поэтому появляется возможность возникновения кругового огня на коллекторах.

Значительный интерес представляет исследование режима опрокидывания инвертора при внезапном отключении питающего напряжения в электроприводе по системе НПЧ–АД. Периодический характер изменения токов и напряжений в асинхронном двигателе позволяет предполагать, что режим опрокидывания инвертора в этой системе будет иметь более мягкий характер.

При составлении эквивалентной схемы замещения для анализа процесса опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД можно ограничиться рассмотрением лишь одной фазы асинхронного двигателя, так как преобразователь частоты собран из трех унифицированных экскаваторных моноблочных тиристорных преобразователей постоянного тока, включенных по трехпульсной схеме с нулевым проводом (см. рис. 1). Поэтому наличие нулевого провода между обмотками статора асинхронного двигателя, соединенных в звезду и НПЧ, благоприятствует протеканию независимой коммутации токов в каждой фазе.

Для составления полной эквивалентной схемы замещения рассмотрим процессы, происходящие в трансформаторе при внезапном отключении питающего напряжения с допущениями, не снижающими достоверности проводимого качественного анализа.

Будем полагать, что в момент отключения питающего напряжения ток и напряжение первичной об-

мотки исчезают мгновенно. При этом результирующий поток в магнитопроводе в принципе может принимать любое значение. Однако для простоты анализа выделим наиболее тяжелый, как будет показано ниже, режим трансформатора, когда результирующий поток в магнитопроводе имеет максимальное значение. Этому условию соответствует равенство нулю ЭДС вторичной обмотки ( $E_2 = 0$ ). Следовательно, режим опрокидывания инвертора в первом приближении можно рассматривать как включение трансформатора в сеть при ненулевых начальных условиях на синусоидальное напряжение:

$$e = E_m \sin(\omega_2 t - \varphi), \quad (1)$$

в режиме холостого хода, так как первичная обмотка разомкнута. Здесь  $E_m$  – амплитудное значение ЭДС вращения АД;  $\omega_2$  – угловая частота выходного напряжения НПЧ;  $\varphi$  – начальная фаза ЭДС в момент опрокидывания инвертора.

Для этого случая уравнение, описывающее изменение магнитного потока, имеет вид [2]:

$$\Phi_{max} \cos(\omega_2 t - \varphi) - (\Phi_{max} \cos \varphi_{ост}) e^{-(R_2/L_2^*)t}, \quad (2)$$

где  $\Phi_{max}$  – максимальное значение потока в магнитопроводе трансформатора;  $\Phi_{ост}$  – остаточный поток в магнитопроводе трансформатора;  $R_2, L_2^*$  – приведенные активное сопротивление и главная индуктивность вторичной обмотки трансформатора;

$$\arctg(\omega_2 L_2^*/R_2) = \varphi/2; \quad L_2^* = L_{12} + L_2, \quad (3)$$

где  $L_2, L_{12}$  – приведенные индуктивность рассеяния и индуктивность намагничивания вторичной обмотки трансформатора.

С учетом (3) выражение (2) принимает вид

$$\Phi_{max} \sin \omega_2 t - (\Phi_{max} \cos \varphi_{ост}) e^{-(R_2/L_2^*)t}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) показывает, что текущее значение потока в значительной мере зависит от начального угла  $\varphi$ , от величины и знака  $\varphi_{ост}$ . Эти зависимости представлены на рис. 2 в виде кривых, построенных согласно выражению (4) при трех начальных условиях переходного процесса: 1)  $\varphi = 0, \varphi_{ост} = +\Phi_{max}$ ; 2)  $\varphi = \varphi/2, \varphi_{ост} = \Phi_{max}$ ; 3)  $\varphi = 0, \varphi_{ост} = -\Phi_{max}$ .

Из рис. 2 видно, что для первого случая результирующий поток в момент времени  $t = 0$  имеет двукратное максимальное значение и, изменяясь по синусоидальному закону, стремится к своему установившемуся значению по экспоненте с постоянной времени  $T_3 = L_2/R_2$ . Для второго случая результирующий магнитный поток при  $t = 0$  имеет значение  $\Phi_{max}$ , однако через промежуток, равный  $\omega_2 t = \varphi/2$ , достигает значения  $2 \Phi_{max}$ . И только третий случай является наиболее благоприятным, так как сразу устанавливается нормальный режим с синусоидально изменяющимся потоком.

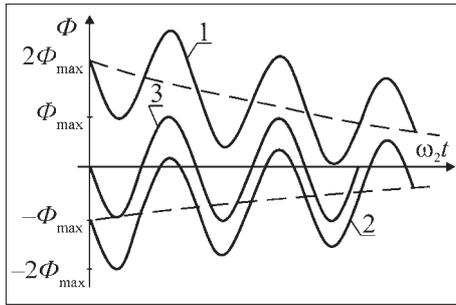


Рис. 2. Изменение магнитного потока при различных начальных условиях в режиме опрокидывания инвертора

Таким образом, можно сделать вывод, что в режиме опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД основной поток трансформатора в большинстве случаев под действием ЭДС вращения асинхронного двигателя возрастает до сверхноминального. При этом, если учесть, что магнитная цепь в номинальном режиме практически насыщена, то увеличение основного потока до сверхноминального приводит к глубокому насыщению и весь процесс опрокидывания инвертора будет определяться только потоками рассеяния обмоток трансформатора. Это дает основание при анализе рассматривать трансформатор упрощенно, учитывая его как дополнительное индуктивное сопротивление в цепи статора асинхронного двигателя.

На основании изложенных выше рассуждений для одной фазы асинхронного двигателя системы НПЧ–АД (см. рис. 1) составлена эквивалентная схема замещения (рис. 3), где трансформатор рассматривается как индуктивное сопротивление рассеяния  $x_{тр}$  обмоток трансформатора, силовая часть преобразователя представлена в виде управляемого вентиля, включенного в проводящем направлении, а асинхронный двигатель – Т-образной схемой замещения с первой гармоникой ЭДС вращения. Здесь  $x_1$ ,  $x_2$  – индуктивные сопротивления рассеяния статора и ротора АД;  $x$  – индуктивное сопротивление намагничивания АД;  $R_1$ ,  $R_2$  – активные сопротивления статора и ротора АД;  $e$  – ЭДС двигателя. Рассматривая рис. 3, нетрудно увидеть, что в режиме опрокидывания инвертора ток в фазе асинхронного двигателя, обусловленный ЭДС вращения, ограничивается только реактансами ротора, статора и трансформатора. При этом контур намагничивания, имеющий значительное индуктивное сопротивление  $x$ ,  $x_2$ ,  $x_1$ ,  $x_{тр}$ , существенного влияния на переходной процесс не оказывает.

Рассмотрим диаграмму изменения токов и ЭДС статора асинхронной машины в момент возникновения опрокидывания инвертора (точка 0 на рис. 4 соответствует началу процесса). Здесь для упрощения

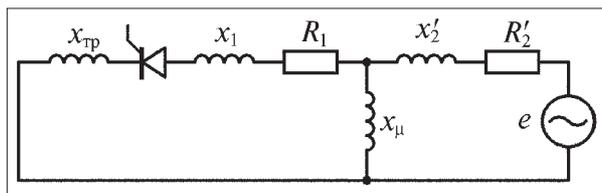


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения фазы системы НПЧ–АД

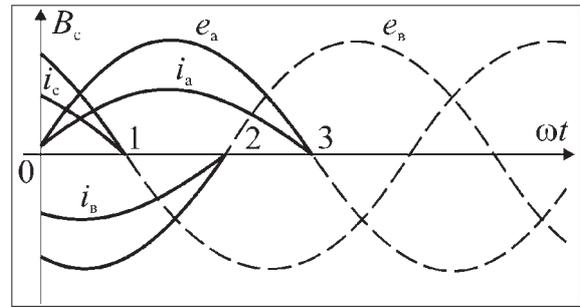


Рис. 4. Диаграмма токов и напряжений, поясняющая режим опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД

анализа не учитывается влияние суммарного индуктивного сопротивления в цепи статора АД на сдвиг фаз между токами и ЭДС.

Как видно из рис. 4, наличие вентилей в контуре оказывает существенное влияние на характер протекания процесса тем, что они запираются в тот момент, когда токи переходят через нуль (точки 1–3), тем самым поочередно разрывая цепи прохождения токов в фазах. По этой причине длительность протекания процесса опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД ограничивается половиной периода изменения ЭДС вращения асинхронного двигателя, частота которой определяется частотой питающего напряжения. Необходимо заметить, что аварийный режим, возникший в точке 0, является наиболее неблагоприятным, так как в этом случае выброс момента асинхронного двигателя, обусловленный затухающими потоками статора и ротора, наибольший. Следовательно, можно предполагать, что в интервале между точками 0 и 1 значение ударного момента будет убывать из-за сокращения интервала протекания токов в фазах.

Для получения количественной оценки динамических процессов опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД при внезапном отключении питающей сети исследование проведем методом математического моделирования дифференциальных уравнений двухфазной обобщенной машины на АВМ [3]. Моделирование целесообразно проводить для электропривода поворота, где возможны наиболее тяжелые переходные процессы в режиме опрокидывания инвертора из-за значительной инерционности масс механизма.

Полная схема модели с учетом логического устройства представлена на рис. 5. Обозначения переменных на рис. 5:  $U_1$ ,  $U_1$  – напряжения питания фаз статора двухфазного двигателя;  $i_1$ ,  $i_1$  – токи фаз статора;  $i_2$ ,  $i_2$  – токи фаз ротора;  $\psi_1$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ ,  $\psi_2$  – потокосцепления фаз статора и ротора АД;  $\omega$  – частота вращения вала двигателя;  $M$  – электромагнитный момент; БП1...БП4 – блоки перемножения переменных.

Режим опрокидывания инвертора на модели достигается включением реле PI (см. рис. 5, б), которое, размыкая свои размыкающие контакты на входе операционных усилителей 1 и 4, имитирует отключение цепи статора от сети (см. рис. 5, а). Кроме этого, од-

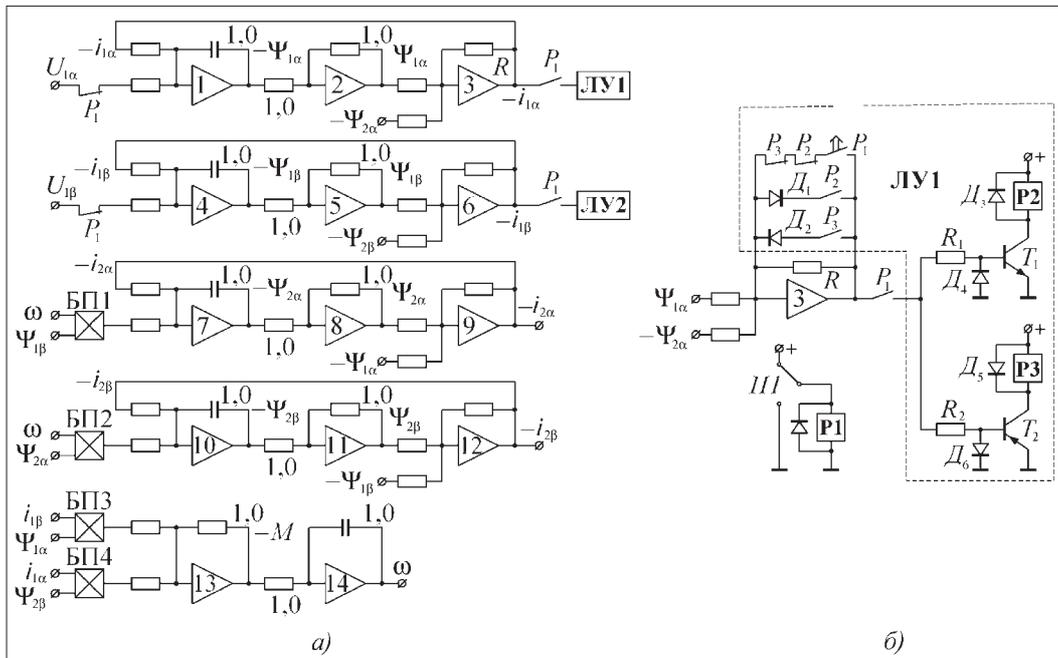


Рис. 5. Схема аналоговой модели (а) и принципиальная схема логического устройства (б)

новременно, замыкая свои замыкающие контакты, оно вводит логические устройства ЛУ1 и ЛУ2 в работу.

Ориентировочно для варианта электропривода поворота по системе НПЧ–АД был выбран асинхронный двигатель серии АЗ-12-52-4 со следующими паспортными данными:  $P_n = 800$  кВт;  $I_n = 182$  А;  $n_n = 1480$  мин<sup>-1</sup>;  $\eta = 94\%$ ;  $I_n/I_n = 5,2$ ;  $M_{max}/M_n = 2,1$ .

На рис. 6 представлены осциллограммы, полученные на модели при работе системы НПЧ–АД на номинальной рабочей скорости 900 мин<sup>-1</sup>, соответствующей частоте 30 Гц для следующих значений параметров системы: с учетом индуктивного сопротивления трансформатора (см. рис. 6, а); без учета индуктивного сопротивления трансформатора (см. рис. 6, б); с учетом индуктивного сопротивления трансформатора, но при  $x_k = 0,5x_{k,расч}$  (см. рис. 6, в). Здесь  $x_k$  – индуктивное сопротивление короткого замыкания АД;

$\omega_0$  – частота вращения без нагрузки;  $I_n$ ,  $M_n$  – номинальные ток и момент двигателя. Из анализа осциллограмм на рис. 6 видно, что ударные значения токов в режиме опрокидывания инвертора в значительной мере зависят от параметров АД. Как это видно из рис. 6, а, наличие индуктивного сопротивления трансформатора в цепи статора АД, которое было учтено из условия  $U_k = 5\%$ , значительно ограничивает выбросы момента и токов в асинхронном двигателе.

Сравнивая рис. 6, а и 6, б, видим, что максимальное значение момента при равных условиях, когда в цепи статора остался включенным один тиристор, равно  $2,4M_n$  в случае без учета  $x_{тр}$  и  $1,3M_n$  с учетом  $x_{тр}$ , соответственно максимальные значения токов  $3,4I_n$  и  $2,6I_n$ .

Полученные данные свидетельствуют, что кратности токов в аварийном режиме меньше кратности пускового тока, а выбросы моментов хотя и большие, однако из-за ограниченной длительности, не превышающей 20 мс, их действие оказывается недостаточным для существенного изменения скорости АД.

Таким образом, полученные осциллограммы переходного процесса опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД показывают, что ударные значения моментов не оказывают заметного влияния на изменение скорости АД. При этом выбросы токов для реаль-

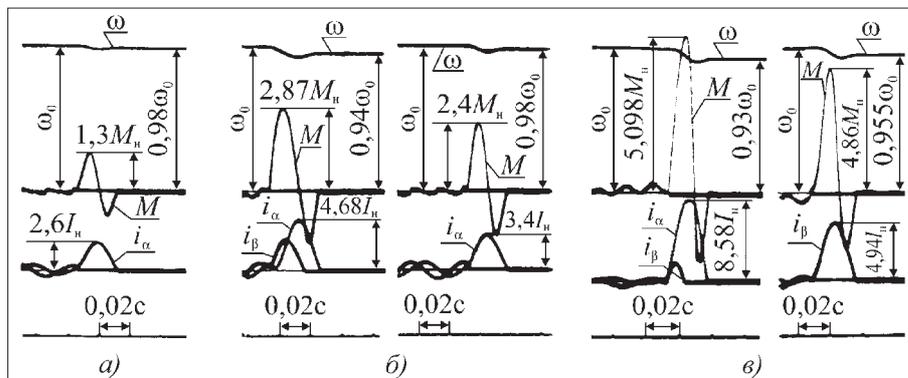


Рис. 6. Переходные процессы режима опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД:  $\omega$  – частота вращения двигателя;  $\omega_0$  – частота вращения без нагрузки

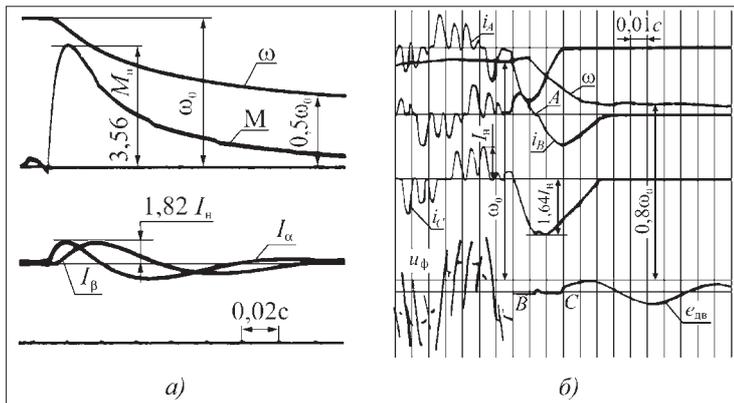


Рис. 7. Осциллограмма переходных процессов опрокидывания инвертора в системе НПЧ–АД, полученная на аналоговой модели (а) и на лабораторной установке (б)

ных параметров АД не представляют опасности как для двигателя, так и для силовых тиристоров, так как время переходного процесса ограничено и составляет немногим больше половины периода ЭДС вращения АД.

Для доказательства адекватности модели реальному объекту на рис. 7 представлены осциллограммы, полученные при работе системы НПЧ–АД на скорости, соответствующей 15 Гц: на аналоговой модели (см. рис. 7, а) и на лабораторной установке (см. рис. 7, б). Здесь  $I$ ,  $I$  – токи фаз двухфазного двигателя;  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  – токи фаз трехфазного двигателя;  $u_\phi$  – напряжение одной из фаз двигателя (в данном случае фаза А);  $e_{дв}$  – ЭДС двигателя (фаза А). Из рассмотрения этих осциллограмм видна хорошая сходимость полученных результатов. Как и предполагалось, интервалы протекания токов в фазах АД имеют разные

длительности в зависимости от начальных фаз ЭДС двигателя. Исключением является фаза В, где из-за ложного срабатывания силового тиристора, причиной которого является несовпадение времени отключения силовой цепи и цепи управления системы НПЧ–АД, ток  $i_B$  в точке А изменил свое направление. Утверждение, что трансформатор в режиме опрокидывания инвертора насыщается, подтверждается участком ВС в кривой выходного напряжения фазы А на рис. 7, б.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Периодический характер токов и напряжений в асинхронном двигателе облегчает протекание переходных процессов опрокидывания инвертора при внезапном отключении питающей сети, ограничивая их длительность.

2. Исследованиями установлено, что максимумы аварийных токов при отключении напряжения сети не превышают кратности пускового тока двигателя.

3. Моделирование на АВМ показало, что выбросы токов и момента асинхронного двигателя, возникающие при отключении напряжения сети благодаря кратковременности воздействия, не представляют опасности для тиристоров и обмоток двигателя.

#### Список литературы

1. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Седаков Л.В. Наладка электроприводов экскаваторов. М.: Недра, 1975. 312 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. 832 с.
3. Калыров И.Ш. Проектирование электромеханических систем для машин автоматического действия. Бишкек: ИЦ "Текник", 2006. 211 с.

УДК 62-83(06)

Ю.П. Сташинов, канд. техн. наук, проф., А.С. Семенчук, асп., Шахтинский институт ЮРГТУ (НПИ)

## Тяговый привод шахтного аккумуляторного электровоза на базе двигателей с независимыми обмотками возбуждения <sup>НГ</sup>

*Рассмотрен вариант бесконтактной реализации двухдвигательного привода шахтного аккумуляторного электровоза, обеспечивающий получение рациональных тяговых характеристик путем индивидуального импульсного регулирования токов возбуждения в функции якорных токов тяговых электродвигателей.*

На отечественных шахтных аккумуляторных электровозах широкое распространение получил

привод с двумя тяговыми электродвигателями последовательного возбуждения с безреостатной системой управления скоростью движения путем секционирования аккумуляторной батареи в сочетании с последовательно-параллельным соединением двигателей и ослаблением магнитного поля. По сравнению с ранее применявшимся приводом с реостатной системой управления он имеет лучшие энергетические показатели благодаря устранению потерь энергии в пусковых реостатах, но малое количество ступеней регули-

рования скорости и как следствие — значительные броски тока и тягового усилия при переходе с одной позиции контроллера на другую приводят к существенному недоиспользованию сцепной массы локомотива, а также к снижению надежности и ресурса его работы [1, 2].

Указанные недостатки в значительной степени устраняются при переходе к импульсным системам регулирования скорости, которые в результате комплекса научных исследований и разработок были реализованным на базе однооперационных (незапираемых) тиристоров [2–4]. К сожалению, по ряду причин они не получили широкого практического применения [2, 3].

Более перспективны системы импульсного регулирования на базе полностью управляемых полупроводниковых бесконтактных ключей элементов, позволяющие повысить надежность работы привода и за счет более высокой частоты коммутации снизить пульсации тока в цепях тяговых электродвигателей [2, 3].

Однако сохранение двигателей последовательного возбуждения в качестве тяговых с необходимостью переключений в силовых цепях при реверсе снижает надежность привода и создает дополнительные трудности перехода на автоматическое управление движением шахтных поездов. Кроме того, электровоз, оборудованный двигателями последовательного возбуждения с мягкой механической характеристикой, более склонен к буксованию при повышенных нагрузках, а в зоне малых и отрицательных нагрузок развивает недопустимо большую скорость движения, что снижает безопасность работы и усложняет процесс управления электровозом [1, 5].

С этой точки зрения более предпочтительны тяговые двигатели с независимыми обмотками возбуждения, имеющие жесткие естественные механические характеристики. Однако на шахтных электровозах они не нашли применения по двум основным причинам:

- большие токовые перегрузки при повышенных сопротивлениях движению;
- возможность существенно неравномерного распределения тока между якорными цепями двигателей при их параллельном соединении.

В настоящее время с использованием достижений силовой электроники и микропроцессорных средств управления эти недостатки могут быть достаточно эффективно устранены разработкой систем автоматического индивидуального регулирования токов возбуждения тяговых электродвигателей с независимыми обмотками возбуждения в функции токов их якорных цепей.

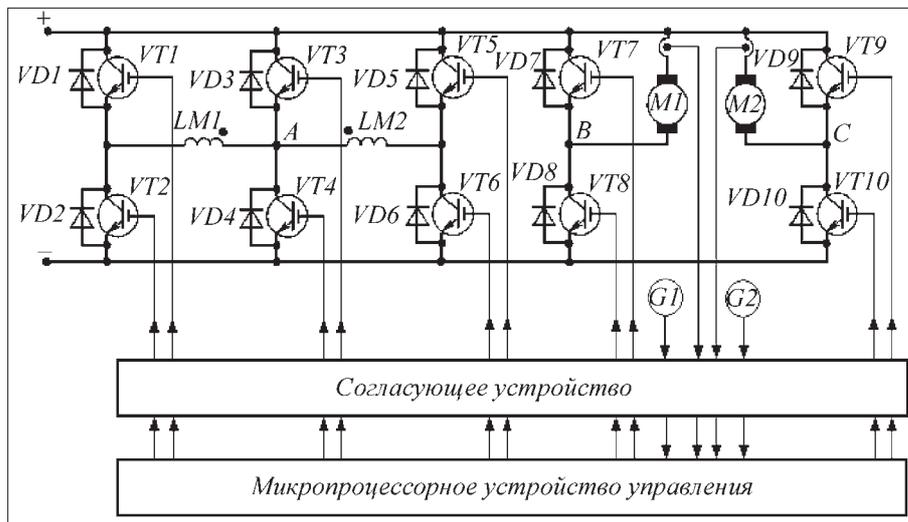


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема варианта тягового электропривода на базе тяговых двигателей с обмотками независимого возбуждения

Кроме того, при реверсировании двигателей переключениями в маломощных и слаботочных цепях независимых обмоток возбуждения возможна практически полностью бесконтактная реализация тягового электропривода. Принципиальная электрическая схема одного из разработанных авторами вариантов такого привода приведена на рис. 1.

Особенностью схемы является то, что обмотки возбуждения  $LM1$  и  $LM2$  двигателей включены в две фазы трехфазного мостового инвертора на твердотельном модуле из шести транзисторов  $VT1–VT6$ , зашунтированных встречными диодами  $VD1–VD6$ . При этом одноименные выводы обмоток возбуждения, например, их начала соединены в общую точку  $A$ .

При движении электровоза "Вперед" постоянно открыт транзистор  $VT3$ , а посредством транзисторов  $VT2$ ,  $VT6$  в совокупности с диодами  $VD1$  и  $VD5$  осуществляется индивидуальное импульсное регулирование токов возбуждения тяговых двигателей в функции токов их якорных цепей. При движении в противоположном направлении аналогично используются транзисторы  $VT4$ ,  $VT1$ ,  $VT5$  и диоды  $VD1$ ,  $VD5$ .

Якорные цепи электродвигателей  $M1$  и  $M2$  реализованы с использованием силового IGBT-модуля на транзисторах  $VT7–VT10$  и диодах  $VD7–VD10$ . Транзисторами  $VT8$ ,  $VT10$  совместно с диодами  $VD7$ ,  $VD9$  обеспечивается импульсное регулирование скорости в двигательском режиме, а транзисторами  $VT7$ ,  $VT9$  совместно с диодами  $VD8$ ,  $VD10$  — импульсное рекуперативное торможение с отдачей энергии в тяговую батарею при остановках или снижении скорости движения.

Возможен вариант выполнения силовой схемы привода с использованием двухтранзисторного IGBT-модуля ( $VT7$ ,  $VD7$ ,  $VT8$ ,  $VD8$ ) при параллельном соединении якорных обмоток электродвигателей (при установке перемычки между точками  $B$  и  $C$ ).

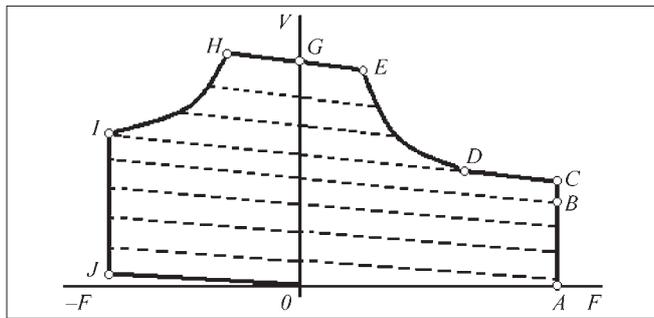


Рис. 2. Рациональная форма тяговых характеристик привода

Для снижения пульсаций потребляемого электроприводом тока в цепь питания при необходимости может быть введен сглаживающий  $L$ - $C$  фильтр.

Сигналы на включение и выключение бесконтактных ключей подаются микропроцессорным устройством управления, на вход которого поступает информация от датчиков тока якорных цепей и датчиков  $G1$ ,  $G2$  частоты вращения электродвигателей. При этом введением искусственной задержки в программу управления либо использованием инерционности обмоток возбуждения необходимо блокировать работу системы выравнивания якорных токов при кратковременных нарушениях их равенства, вызванных процессами пробуксовок при нарушении сцепления колес с рельсами.

Предложенный электропривод позволяет получить практически любые требуемые тяговые характеристики, например, аналогичные приведенным на рис. 2 [6].

Сплошной линией  $ABCDEFGHIJO$  на рисунке изображена предельная зависимость скорости движения  $V$  от тягового (тормозного) усилия  $F$ , а пунктирными линиями — участки промежуточных характеристик для фиксированных средних значений напряжений на зажимах якорных обмоток и обмоток возбуждения. Отрезок  $ABC$  соответствует разгону электровоза с постоянным средним значением тягового усилия, предельно допустимым по условию сцепления колес с рельсами при номинальном (или форсированном на участке  $BC$ ) возбуждении тяговых двигателей. Линия  $CDI$  — это естественная характеристика при номинальном возбуждении и полном напряжении питания якорных цепей. Гиперболический участок  $DE$  соответствует постоянству мощности (стабилизации тока), участок  $EG$  — ограничению скорости движения

в тяговом режиме,  $GHIJO$  — ограничению области тормозных режимов.

Промежуточные характеристики, расположенные ниже линии  $CDI$ , реализуются импульсным регулированием напряжения питания якорных цепей электродвигателей при номинальном возбуждении, а расположенные выше — ослаблением поля при полном напряжении на зажимах якорных обмоток.

Работа привода в зоне повышенных нагрузок на жестких характеристиках с автоматическим ограничением максимальной величины тягового усилия повышает противобуксовочные свойства электровоза и позволяет реализовать более высокие значения коэффициента сцепления, что подтверждено многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями [5].

Аналогичный вариант тягового привода можно получить при питании обмоток возбуждения двигателей последовательного возбуждения от управляемых преобразователей постоянного напряжения с трансформаторной развязкой, что позволяет с минимальными затратами оснастить им аккумуляторные электровозы, находящиеся в эксплуатации на предприятиях угольной промышленности.

Работоспособность предложенного варианта привода предварительно проверена компьютерным моделированием в среде Matlab [6]. Разрабатывается экспериментальный стенд для исследования режимов работы привода на физической модели.

#### Список литературы

1. Беловидов Б.С. Анализ различных типов приводов для рудничных автоматизированных электровозов / Б.С. Беловидов [и др.] // Исследование работы и автоматизация горных машин: Тр. Новочеркасского политехнического института. Новочеркасск: 1964. Т. 159. С. 31–38.
2. Довженко В.П. Транзисторные модули для управления приводом рудничных электровозов / В.П. Довженко [и др.] // Уголь Украины. 2003. № 10. С. 16–18.
3. Евстафенко П.Ф. Перспективы развития электрооборудования для рудничного электровозного транспорта / П.Ф. Евстафенко [и др.] // Уголь Украины. 2003. № 10. С. 22–23.
4. Системы управления рудничным электровозным транспортом / О.Н. Синчук [и др.]. М.: Недра, 1993.
5. Фаминский Г.В. Эффективность использования локомотивов с жесткими тяговыми характеристиками / Г.В. Фаминский // Вестник ВНИИЖТ. 1996. № 6. С. 26–29.
6. Семенчук А.С. Моделирование тягового привода на базе двигателей независимого возбуждения с регулированием магнитного потока в функции тока якоря / А.С. Семенчук, Ю.П. Сташинов // Перспективы развития Восточного Донбасса. Ч. 2: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: УПЦ "Набла" ЮРГТУ (НПИ). 2007. С. 200–206.



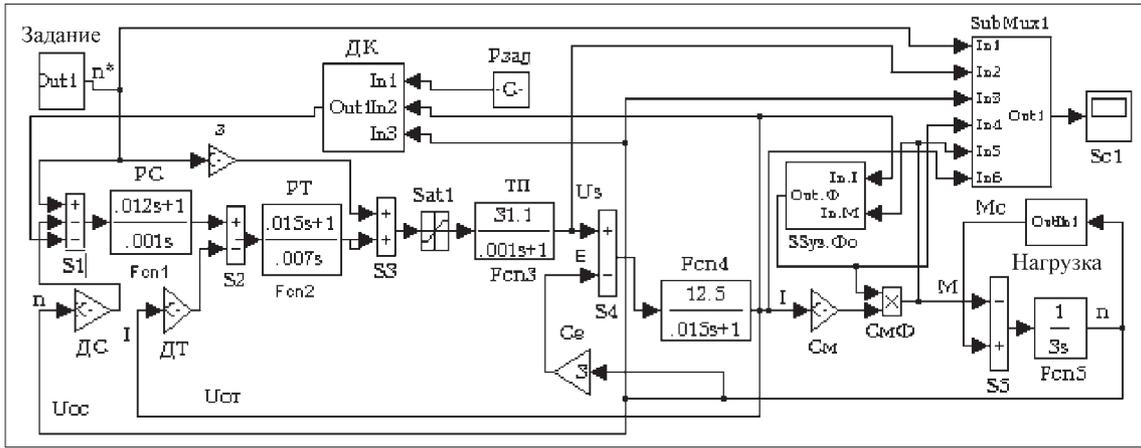


Рис. 2. Модель СПВУ с асинхронным двигателем

ЭДС вращения (в обозначениях рис. 2)

$$E = C_e n,$$

где  $C_e$  – постоянная, равная числу пар полюсов машины ( $p_0$ );  $n$  – угловая скорость.

Двигатель представлен несколькими типовыми звеньями, в том числе инерционным звеном  $Fcn5$  с суммарной постоянной времени  $J = 3 \text{ кг м}^2$  и апериодическим звеном  $Fcn4$  с параметрами [3]:

$$T_i = (L_s (1 - k_r k_s)) / (R_s - k_r R_r) = 0,015 \text{ с},$$

$$K_i = 1 / (R_s - k_r R_r) = 12,5 \text{ См},$$

где  $k_s = 0,9695$  – коэффициент магнитной связи статора;  $k_r = 0,968$  – коэффициент магнитной связи ротора;  $R_s = 0,0492 \text{ Ом}$ ;  $R_r = 0,031 \text{ Ом}$  – сопротивления статора и ротора;  $k_s k_r (1 - k_s k_r) L_s - L_s$  – переходная индуктивность статора.

Преобразователь представлен апериодическим звеном  $Fcn3$ . За постоянную времени  $T = 0,001 \text{ с}$  принят период коммутации широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

В двухконтурной системе частотного регулирования внешний регулятор скорости ( $PC$ ) и регулятор тока ( $PT$ ) во внутреннем контуре пропорционально-интегральные. Параметры регуляторов определены по методике, данной в [3].

Контур регулирования (стабилизации) модуля главного потокосцепления в виде подсистемы  $Ssys_0$  с регулятором потока  $PII$  выполнен в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Добавлено ограни-

чение выходного напряжения ТПЧ и насыщение магнитного потока. Магнитный поток вычисляется в подсистеме "Вычислитель потока" по формуле для моментной характеристики  $M = c_m I_s (\cos \alpha = 1)$ . Задание потока, как и скорости – сигнал 10 В. Подсистема выполнена с введением параметров двигателя 4A280S6 [3]:

$$k = \frac{k_s (1 - k_r) L_r}{1 - k_s k_r R_r} = 0,6 \text{ с};$$

$$T = \frac{1 - k_s k_r L_r}{1 - k_s k_r R_r} = 1,24 \text{ с},$$

где  $L_s = 0,01927 \text{ Гн}$ ;  $L_r = 0,01929 \text{ Гн}$  – индуктивности статора и ротора.

Подсистема  $Ssys_0$  при расчете регуляторов канала скорости векторной системы может быть представлена блоком "постоянная", если не рассматриваются параметры регуляторов контура управления (стабилизации) основного магнитного потокосцепления АД ( $\Phi_0 = \text{const}$ ).

Практический интерес представляют динамические характеристики СПВУ при настройках по условиям технического и симметричного оптимумов.

На рис. 4 даны уровни перерегулирования скорости при моделировании линейного разгона АД для двух моделей СПВУ. На рис. 4, а показаны процессы в модели по рис. 2 и для сравнения на рис. 4, б – для математической модели СПВУ с опорным вектором главного потокосцепления, использующей координатные преобразования и дифференциальные уравнения обобщенной асинхронной машины, при одинаковых настройках регуляторов.

Несмотря на то что модель СПВУ (см. рис. 2) не учитывает особенности характеристик асинхронной машины, наличие контуров, замкнутых по параметрам привода, делает влияние нелинейностей на динамику незначительным.

Результаты моделирования переходных процессов с использованием

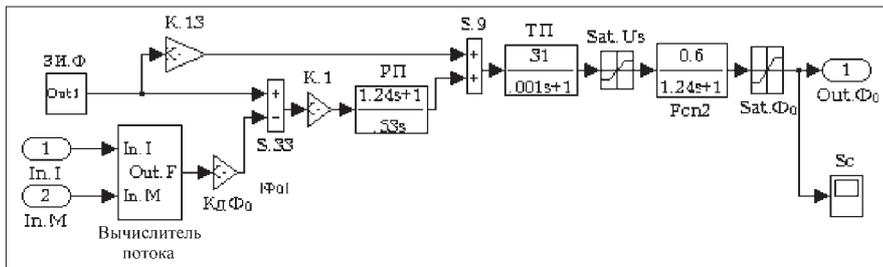


Рис. 3. Подсистема управления модулем главного потокосцепления АД ( $Ssys_0$ )

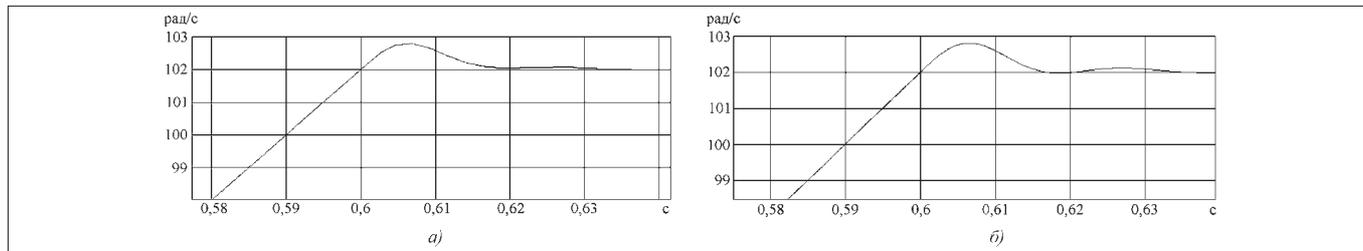


Рис. 4. Результаты моделирования:

а – модель по рис. 2; б – модель по уравнениям Парка–Горева

ем уравнений Горева–Парка (см. рис. 4, б) практически не отличаются от результатов в модели, синтезированной по амплитудным значениям электромагнитных параметров (см. рис. 2). Динамические характеристики совпадают с достаточной точностью и перерегулирования отличаются не более чем на 5...10 %.

С помощью пакета Matlab 6.5 Simulink исследовались также процессы линейного пуска, наброса и сброса номинальной нагрузки  $M_n$ , режимы переменной нагрузки  $M_c = (0,5 + (0,5\sin 60t))M_n$  и торможения. Проводилось также сравнительное исследование динамики на физической модели привода [1, 5]. Исследования подтвердили обоснованность моделирования СПВУ с применением метода аналогии с машиной постоянного тока. Электропривод переменного тока может быть успешно применен вместо существующего привода постоянного тока станка СБШ-250МН на базе преобразователя ТЕЗ-250/460.

Компьютерное моделирование динамики СПВУ с помощью рассмотренной модели привода с векторным

управлением позволяет получить требуемый вид переходного процесса для оптимизации режима бурения.

#### Список литературы

1. Алексеев В.В., Козярук А.Е., Загривный Э.А. Электрические машины. Моделирование электрических машин приводов горного оборудования. СПб.: СПГИ, 2006. 58 с.
2. Моделирование асинхронного электропривода с векторным управлением. Модель асинхронного двигателя. / Т.Н. Бастрон, В.В. Алексеев, П.В. Алексеев, В.Н. Язев // Вестник КрасГАУ. 2005. № 7. С. 218–226.
3. Определение параметров системы подчиненного регулирования в электроприводах с векторным управлением / Т.Н. Бастрон, В.В. Алексеев, П.В. Алексеев, В.Н. Язев // Энергетика и энергосбережение. Приложение к Вестнику КрасГАУ. 2005. Вып. № 3. С. 3–9.
4. Рудаков В.В., Столяров И.М., Даргау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением Л.: Энергаториздат, 1987. 136 с.
5. Сравнительные характеристики систем управления электроприводов для буровых установок / В.В. Алексеев, П.В. Алексеев, В.И. Вершинин // Электрофорум. 2003. № 6. С. 37–38.

УДК 621.316.53

В.И. Гуревич, канд. техн. наук, Центральная лаборатория Израильской электрической компании, г. Хайфа, Израиль

## О режиме питания мощного контактора переменного тока при провалах напряжения в сети 0,4 кВ

*Рассматривается вопрос о режиме питания мощного контактора переменного тока при кратковременных провалах напряжения в сетях 0,4 кВ промышленных предприятий и в сетях собственных нужд подстанций, во время аварийных режимов в сетях высокого напряжения. Предлагается два альтернативных решения, одно из которых основано на удержании контактора в замкнутом положении при кратковременных провалах напряжения, а другое – на мгновенном отключении контактора с последующим его возвратом с выдержкой времени.*

**Ключевые слова:** контактор переменного тока, провалы напряжения, качество электроэнергии, надежность электроснабжения.

### *Gurevich V.I. A Power Supply of Large AC Contactor at Voltage Sags in a 0,4 kV Network*

*In the article the difference between electrical equipment on industrial plant and electrical substation is discussed. These differences dictate two alternative requirements to large AC contactors. According to these requirements it is offered two alternative technical solutions: one of which is based on remaining of the contactor in the closed position at voltage dip, and another – on instant switching-off contactor with its subsequent returning with time delay at voltage level restoration.*

**Keywords:** AC contactor, voltage sag, voltage dip, short interruptions, power quality, power supply reliability.

## 1. Введение

Как известно, основными причинами провалов напряжения в сетях 0,4 кВ собственных нужд подстанций являются короткие замыкания во внешних сетях высокого напряжения. На промышленных предприятиях такие провалы напряжения часто связаны также с режимом работы мощного силового электрооборудования, например, пуском мощных электродвигателей. Провалы напряжения являются одним из показателей качества электроэнергии, нормируемых в ГОСТ 13109–97 [1], а также в международном стандарте IEC 61000-4 [2, 3]. ГОСТ 13109–97 дает следующее определение термину "провал напряжения": "провал напряжения – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже  $0,9U_{ном}$ , за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд". Близкое к этому определение термину: "dip" – аналогу русского термина "провал напряжения" – дает и стандарт IEC 61000-4: по напряжению это уровни ниже  $0,8U_{ном}$  номинального значения (вплоть до нуля), и по длительности от 10 мс до 15 с (рис. 1).

## 2. Провалы напряжения в сети 0,4 кВ промышленных предприятий

Провалы напряжения в сети 0,4 кВ на промышленных предприятиях могут быть связаны с серьезными нарушениями производственного цикла, вызванных массовым выключением (из-за отпадания магнитных пускателей или контакторов), с последующим самозапуском большого количества электродвигателей, что само по себе вызывает значительное снижение напряжения в сети, усугубляющее проблему [4, 5]. Как показано в [6], за время отсутствия напряжения на электродвигателе в течение 0,3...0,5 с векторы остаточной ЭДС электродвигателей могут оказаться в противофазе с вектором напряжения сети. В результате в момент восстановления питания электродвигателей возникнет большой импульс тока, который может вызвать срабатывание электромагнитных расцепителей защитных автоматов и окончательное отключение электродвигателей. С другой стороны, кратковременные провалы напряжения длительностью менее 300 мс (наиболее распространенные в сети) не приносят особого вреда электродвигателям.

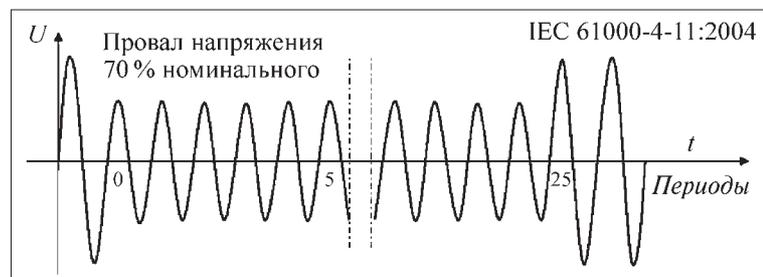


Рис.1. Пример из стандарта IEC 61000-4-11. Провал напряжения до 70 % номинального уровня длительностью 25 циклов (0,5 с)

По этим причинам меры борьбы с провалами напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий обычно включают в себя различные технические решения, направленные на предотвращение (задержку) отключения контакторов в цепи главного питания сети 0,4 кВ; на применение специальных быстродействующих (динамических) регуляторов напряжения, способных компенсировать провалы напряжения; агрегатов бесперебойного питания и т.п.

Поскольку последние два метода борьбы с провалами напряжения в мощной сети весьма дороги, то разрабатываются различные электронные устройства [7, 8], обеспечивающие питание контактора переменного тока небольшой мощности от источника постоянного тока и подпитку катушки управления (удерживающей контактор во включенном состоянии) во время кратковременных провалов напряжения. Как известно, в процессе срабатывания контактора переменного тока имеет место значительное изменение тока, потребляемого катушкой управления, что обеспечивает значительное изменение тягового усилия подвижной части сердечника. При питании катушки управления от источника постоянного тока такого изменения тягового усилия не происходит, в результате чего контактор, конструкция которого рассчитана на переменный ток, не сможет нормально работать. В упомянутых выше электронных устройствах используются четыре уровня постоянного напряжения питания катушки управления, симулирующие естественную тяговую характеристику контактора при включении его на переменном токе. Эти электронные устройства с управлением на микросхемах не предназначены для питания мощных контакторов переменного тока с малым сопротивлением катушки управления (10...15 Ом) и большими пусковыми токами. Например, мощность, потребляемая катушкой управления контактора ЗТФ54, в момент включения составляет 1,6 кВА на переменном токе и 1,2 кВт – на постоянном (со специальной пусковой катушкой).

В связи с этим для крупных контакторов переменного тока с мощной катушкой управления нами разработано специальное устройство, работающее на ином принципе (рис. 2). Это устройство содержит реле напряжения  $KU$ , таймер  $KT$ , реализующий стандартную функцию "Impulse-ON", а также простейший источник питания постоянного тока, включающий понижающий трансформатор  $T$ , мощный выпрямительный мост  $VD2$  и низковольтный конденсатор  $C1$  большой емкости.

При замыкании контактов  $S1/1$  и  $S2/2$  внешнего управляющего реле напряжение сети переменного тока поступает на реле напряжения  $KU$ . Это реле срабатывает в том случае, если поданное на него напряжение превышает минимально допустимое значение (в нашем случае это напряжение выше 180 В) и замыкает свой выходной контакт, подавая питание на таймер  $KT$ . Таймер мгновенно срабатывает и своим замыкающимся контактом подключает катушку контактора к сети переменного

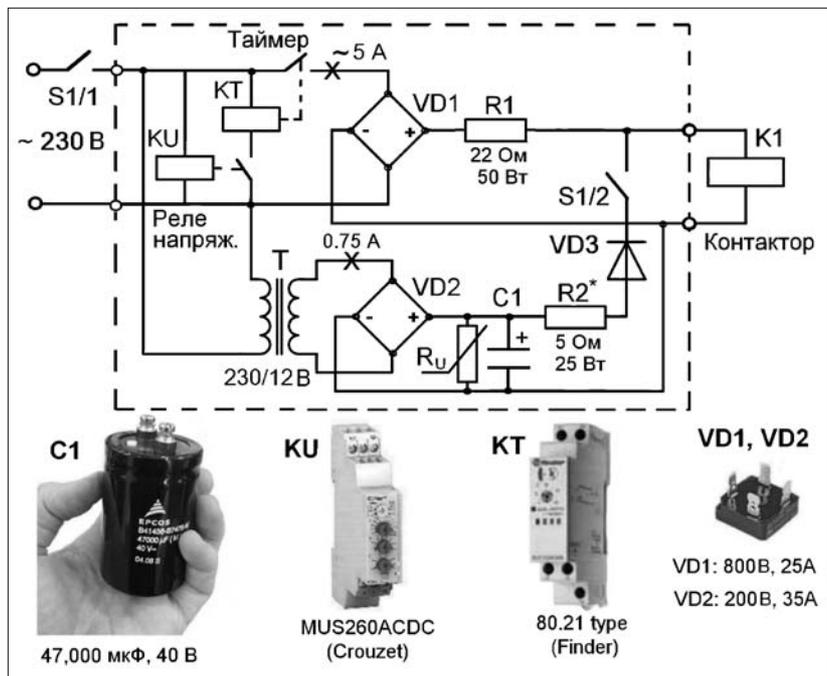


Рис. 2. Принципиальная схема предлагаемого устройства управления мощным контактором переменного тока

тока через выпрямитель  $VD1$  и ограничительный резистор  $R1$ . Через катушку контактора протекает постоянный ток около 5 А, эквивалентный по создаваемому им электромагнитному усилию, пусковому току при обычном включении катушки контактора в сеть переменного тока. Одновременно с этим быстро заряжается конденсатор  $C1$ . Благодаря наличию диода  $VD3$  конденсатор  $C1$ , заряжаемый от источника постоянного напряжения 12 В, оказывается отделенным от катушки контактора и от высокого напряжения, подаваемого в этот момент времени на катушку контактора. Через 2...3 с после срабатывания контактора (время определяется уставкой таймера  $KT$ ) таймер своим контактом разрывает цепь повышенного тока. При этом диод  $VD3$  мгновенно деблокируется и низковольтный источник питания с заряженным конденсатором  $C1$  оказывается подключенным к катушке контактора. С этого момента времени питание катушки контактора осуществляется пониженным постоянным током, дополнительно ограничиваемым низкоомным резистором  $R2$ . Величина этого резистора требует подбора для конкретного типа контактора. Для рассматриваемого контактора типа 3TF54 величина этого резистора составляет 5 Ом. Именно при таком сопротивлении обеспечивается надежное удержание контактора в замкнутом положении при длительном снижении входного напряжения до 140...130 В и одновременно обеспечивается допустимая температура нагрева катушки, не превышающая 50...60 С.

Проведенные исследования показали, что при питании катушки контактора пониженным постоянным током его чувствительность к снижению величины питающего напряжения резко снижается. Например,

в рассматриваемом примере контактор удерживался в замкнутом положении при снижении напряжения на катушке с 12 В до 2...3 В, т.е. в 4–6 раз. Это положительное свойство используется в описанном устройстве для обеспечения удержания контактора при кратковременных понижениях напряжения в сети. При очень глубоких провалах напряжения или даже при полном его исчезновении удержание контактора производится за счет энергии конденсатора  $C1$ . По результатам выполненных испытаний оказалось, что относительно небольшой по размерам конденсатор емкостью 47,000 мкФ на напряжение 40 В способен удерживать мощный контактор (в нашем случае типа 3TF54) в течение 1,3...1,5 с, что вполне достаточно для компенсации реально существующих в сетях кратковременных перерывов напряжения.

Диодный мост  $VD2$  выбран со значительным запасом по току из-за протекающего через него импульса зарядного тока конденсатора. При кратковременных исчезновениях напряжения в сети переменного тока или снижении его до уровня ниже 170 В реле напряжения  $KU$  размыкает свой контакт и отключает питание таймера  $KT$ . При этом положение выходного контакта таймера не изменяется, и катушка контактора продолжает получать питание от низковольтного источника питания постоянного тока до восстановления напряжения в сети или, наоборот, до полного исчерпания энергии конденсатора (если имело место глубокое снижение напряжения или полное его пропадание), после чего контактор отключится. При восстановлении напряжения в сети до уровня не менее чем 180 В реле напряжения  $KU$  вновь сработает и подаст питание на таймер, при этом описанный выше цикл работы устройства повторяется.

Функция "Impulse-ON", которую иногда называют также "Interval", "Fleeting", "Single Shot", "Power ON", "Single Shot Leading Edge", "Rising Edge Pulse", не является чем-то экзотическим, а представляет собой стандартную функцию, обозначаемую иногда как функция номер 21. Эта функция относится к простейшим функциям таймеров и заключается в том, что выходной контакт таймера замыкается мгновенно с подачей питания на таймер, а размыкается он по истечении заданного интервала времени. Таким образом, таймер как бы формирует одиночный импульс. Таймеры, реализующие такую функцию, широко представлены на рынке. Это, например, таймеры типов РВО-Р-У, РВО-П2, РВО-П3 (ЗАО "Меандр", С.-Петербург); СТ-VWE, СТ-WBS, СТ-VWD (ABB); BC7931 (Dold&Soehne); MICV, NMICV (General Electric); KRDI (ABB); 3RP15 (Tyco Electronics); DIL-ET-11-30-A (Moeller); DDT, TZ (Tempatron); 87.21, 81.01 (Finder); MURc3 (Crouzet); RE7-PR11 (Telemecanique); M1SMT (Broyce Control);

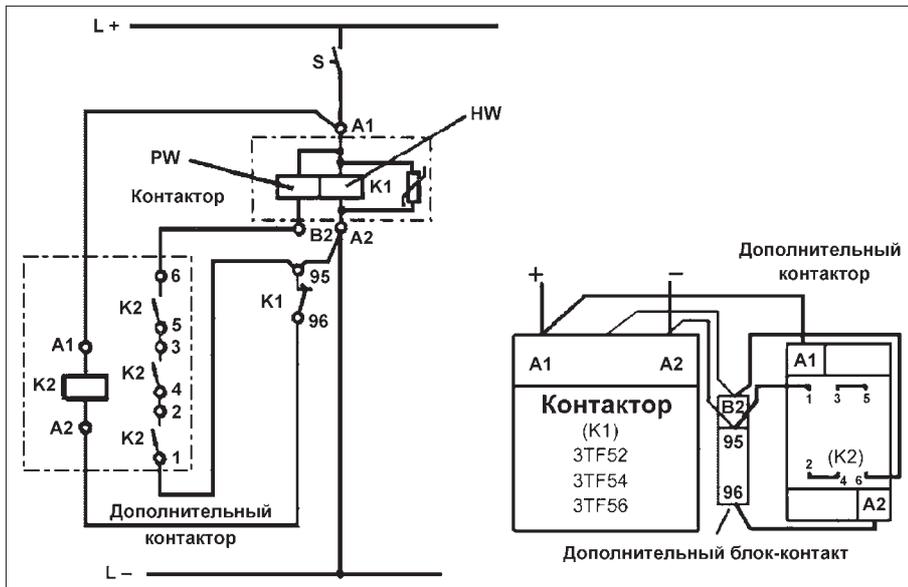


Рис. 3. Решение, предлагаемое компанией Siemens

3RP 1505 (Siemens); TDRPRO-5100 (Magnecraft) и многие другие.

К сожалению, только немногие из них, например, типов: 81.01, 80.01, 80.21 (Finder); 821 (Magnecraft); 4604 (Artizan) и некоторые другие снабжены мощным выходным контактом, достаточным для управления крупными контакторами переменного тока. При использовании таймеров с маломощным выходным контактом придется использовать дополнительное промежуточное реле с контактами достаточной мощности, включенных в схему вместо контактов таймера.

В качестве реле пониженного напряжения можно использовать любые имеющиеся на рынке устройства с регулируемым порогом срабатывания и гистерезиса, не требующие отдельного источника питания. Эти требования удовлетворяют реле типа SUA145 (Bender); EUS (EID Electronics); MUS260ACDC (Crouzet); M200-V1U (Multitek); RM4-UB3 (Telemecanique); PVE (Entelec); UAWA (Thiim A/S), BQP1202 (Midland Jay); РКН-1-1-15 (ЗАО "Меандр") и др.

Устройство, представленное на рис. 2, собрано в закрытом пластмассовом корпусе размером 210 160 90 мм. Совершенно очевидно, что предложенное устройство можно с успехом применять и с контакторами средней и даже малой мощности, при этом емкость удерживающего конденсатора и мощность трансформатора (а, следовательно, и их цена, и габариты) могут быть существенно уменьшены.

Следует отметить, что некоторые производители (в том числе, компания Siemens – изготовитель мощных контакторов серии 3TF5) предусматривают питание своих контакторов от сети постоянного тока. В этом случае катушка управления контактора может питаться от сети постоянного тока с мощными аккумуляторами, что обеспечивает полную незави-

симость состояния контактора от провалов напряжения в сети переменного тока. Это еще один путь решения проблемы, однако и его осуществить не так-то просто из-за упомянутой выше необходимости создания большого пускового тока при включении контактора при разомкнутой магнитной системе. Siemens предлагает для своих контакторов серии 3TF5 использование двух специальных катушек управления: мощной катушки включения (PW) и маломощной катушки удержания (HW), рис. 3. Переключение с одной катушки на другую после срабатывания контактора K1 производится с помощью вспомогательного контактора K2 с набором мощных контактов, соединенных последовательно (для размыкания высокоиндуктивной нагрузки при напряжении 240 В постоянного тока), и дополнительного блок-контакта основного контактора.

При наличии мощной аккумуляторной батареи в сети постоянного тока и возможности подведения постоянного напряжения к месту установки контактора, эта задача может быть решена более "интеллектуальным" методом, чем это предлагает Siemens. Всего лишь два не очень дорогих изделия требуется для реализации этого решения: уже упомянутый таймер типа 81.01 (Finder) и небольшой импульсный источник питания с выходным напряжением 12 В и током 1,2 А (рис. 4). Стоимость двух этих элементов составляет примерно 150 долл. США.

При наличии мощной аккумуляторной батареи в сети постоянного тока и возможности подведения постоянного напряжения к месту установки контактора, эта задача может быть решена более "интеллектуальным" методом, чем это предлагает Siemens. Всего лишь два не очень дорогих изделия требуется для реализации этого решения: уже упомянутый таймер типа 81.01 (Finder) и небольшой импульсный источник питания с выходным напряжением 12 В и током 1,2 А (рис. 4). Стоимость двух этих элементов составляет примерно 150 долл. США.

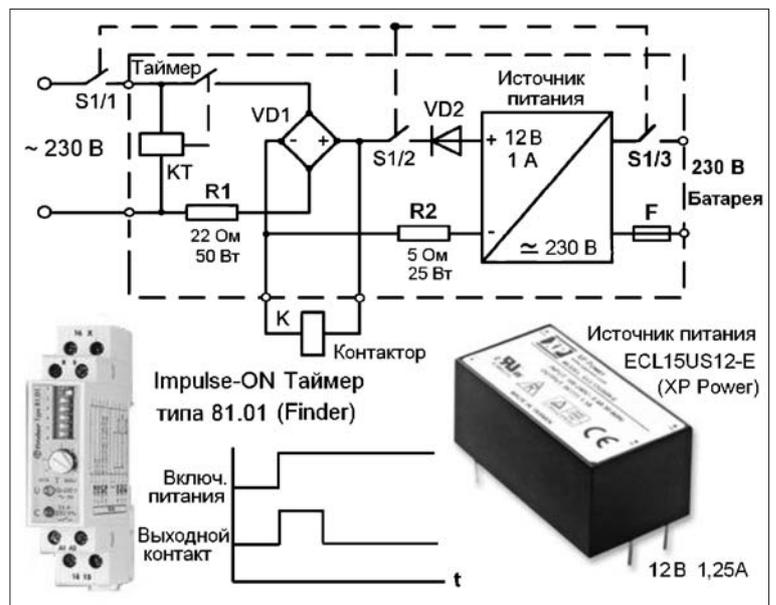


Рис. 4. Устройство для питания крупного контактора переменного тока с использованием мощной аккумуляторной батареи

### 3. Провалы напряжения в цепях собственных нужд подстанций

Особенностью низковольтных сетей переменного тока собственных нужд подстанций является то, что они не содержат технологического оборудования, не допускающего перерывов питания, а все наиболее ответственные потребители электроэнергии (релейная защита, регистраторы аварийных режимов, системы связи, сигнализации и телеуправления) запитаны обычно от мощной аккумуляторной батареи. Вместе с тем от цепей собственных нужд переменного тока подстанций получают питание мощные силовые полупроводниковые устройства, снабженные микропроцессорами, такие, как инверторы, зарядные устройства батарей, источники питания.

Практический опыт эксплуатации таких устройств показывает, что они очень не "любят" кратковременных (50...200 мс) провалов и отключений напряжения питания с последующим его возвратом. Иногда такие устройства успевают "зависнуть" даже во время автоматического быстродействующего переключения с основного на резервный источник питания. Еще одной "болезнью" мощных зарядных устройств, содержащих мощные силовые трансформаторы питания на входе, являются очень большие пусковые токи, возникающие при внезапном пропадании и последующем возврате питания, что вызывает отключение такого устройства электромагнитным расцепителем вводного автомата. Положение дел в цепях собственных нужд подстанций значительно усугубляется в некоторых случаях, когда даже одиночные зарегистрированные провалы напряжения длительностью 100...200 мс вызывают многократные срабатывания и отпускания мощных электромагнитных контакторов в цепи переключения с основного на резервный источник питания.

### 4. Особенность поведения мощных контакторов в цепи переключения основного и резервного источников питания собственных нужд

Для повышения надежности электроснабжения сети 0,4 кВ собственных нужд на подстанциях обычно используются два трансформатора собственных нужд, питающихся от разных линий. Один из них включен постоянно, а другой автоматически включается при пропадании напряжения на первом.

Подключение и отключение цепей собственных нужд к этим двум трансформаторам осуществляются обычно с помощью мощных электромагнитных контакторов на токи 200...400 А с катуш-

ками управления переменного тока. Эти контакторы являются важнейшими элементами системы питания собственных нужд, от свойств которых во многом зависит надежная работа всей подстанции.

В качестве объекта исследования был взят электромагнитный контактор переменного тока типа ЗТФ54 фирмы Siemens с коммутируемым током 300 А (рис. 5), применяемый для переключения цепей питания системы собственных нужд на подстанциях.

В процессе исследования были получены осциллограммы включения и отключения контактора при питании его катушки от сети переменного тока. Осциллограмма, представленная на рис. 5, показывает наличие весьма значительного пускового тока, обусловленного малым индуктивным сопротивлением катушки управления контактора до момента замыкания его магнитной цепи. Осциллограммы, представленные на рис. 6, позволяют определить время срабатывания и отпускания контактора, т.е. время его реакции на провалы напряжения питания.

Анализ полученных осциллограмм показывает, что полное время включения контактора (т.е. время от момента подачи напряжения на катушку до момента замыкания его главных контактов) составляет около 20 мс (20...40 мс по паспортным данным), а время полного выключения (т.е. время от момента выключения напряжения на катушке до момента разрыва главных контактов) составляет около 15...18 мс (10...30 мс для номинального напряжения и 10...15 мс для напряжения 0,8 номинального по паспортным данным). Такие небольшие для такого крупного и тяжелого аппарата времена срабатывания и отпускания свидетельствуют о том, что при типичных по времени провалах напряжения, а также при перемежающихся провалах и восстановлениях напряжения контактор будет успевать отключать и повторно включать главные цепи питания несколько раз. Более того, как показано в [9], реакция контактора на провалы напряжения на 75 % номинального значения более тяжелая, чем на 100 %-ные провалы, при этом время

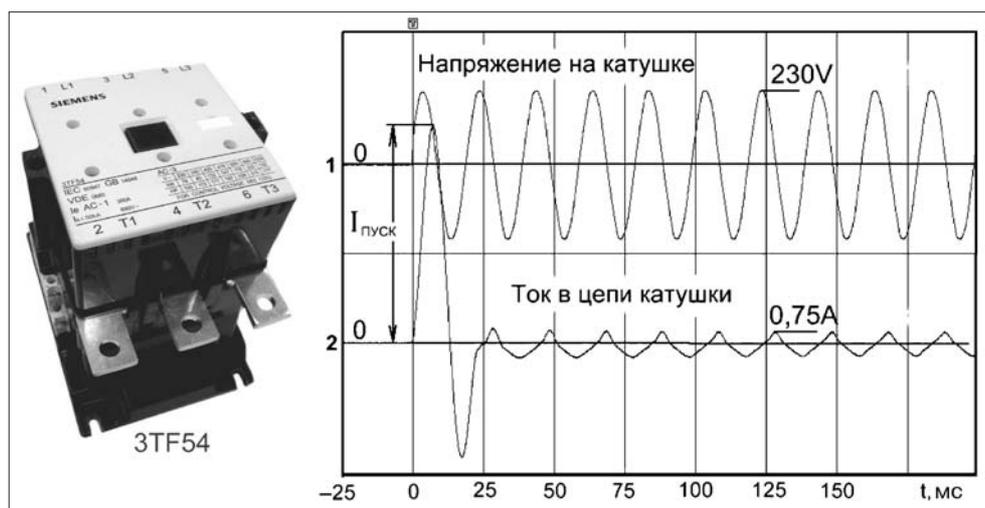


Рис. 5. Электромагнитный контактор переменного тока типа ЗТФ54 фирмы Siemens и осциллограммы изменения тока и напряжения в его катушке в момент включения

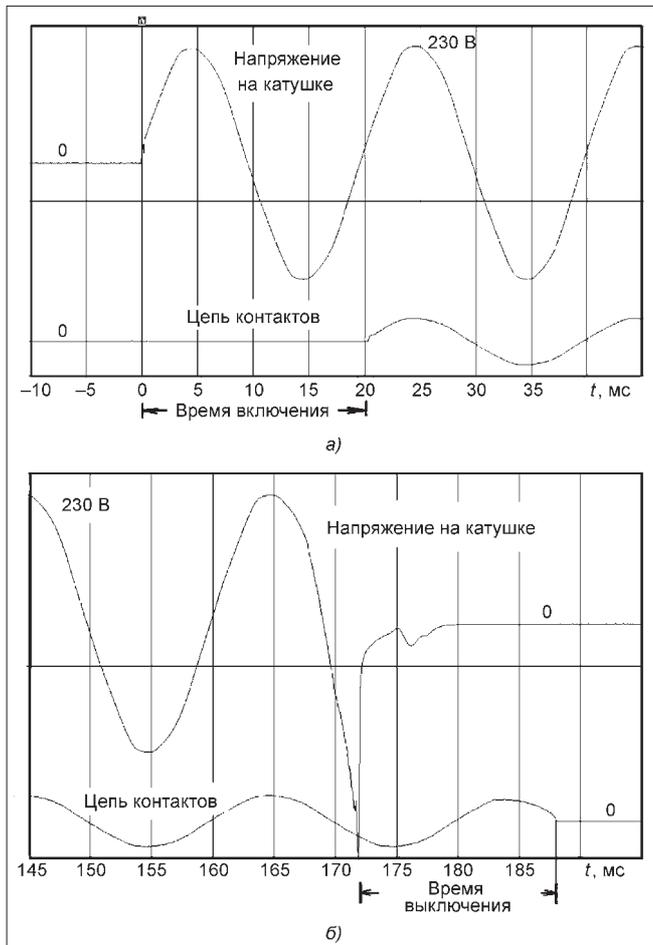


Рис. 6. Осциллограммы включения и выключения контактора

отпадания контактора в первом случае примерно на 40...50 % меньше, чем во втором и может составлять 10 мс даже для крупного аппарата.

Анализ поведения контактора при снижении и увеличении напряжения питания его катушки управления позволил выявить важную особенность этого аппарата. Оказалось, что при снижении напряжения переменного тока на катушке контактора от номинального значения до 150...135 В его магнитная система начинает сильно вибрировать, а амплитуда этих вибраций такова, что его главные контакты замыкаются и размыкаются. Такой же режим работы возникает при увеличении переменного напряжения на катушке от 0 до 160...185 В.

Возможность работы контактора в таком режиме совместно с его высоким быстродействием означает, что даже при однократном устойчивом в течение 100...200 мс провале напряжения до 135...150 В контактор превращается в мощный генератор глубоких многократных провалов напряжения в цепях собственных нужд подстанции, вызывая сильные отрицательные воздействия на силовую электронную аппаратуру. К такому же результату может привести

попытка включения контактора при напряжении 150...170 В.

## 5. Предлагаемые решения проблемы

С учетом характера нагрузки, питающейся от цепей собственных нужд подстанций (чувствительная к кратковременным провалам напряжения силовая электронная аппаратура), техническое решение, предложенное для контакторов, применяющихся в сетях промышленных предприятий (удержание контактора при провалах напряжения), не может, по нашему мнению, считаться эффективной мерой.

Связано это с тем, что через замкнутые контакты контактора кратковременные провалы напряжения будут воздействовать на чувствительную аппаратуру, вызывая нарушение ее работоспособности.

Решением проблемы могло бы быть не удержание контактора, а наоборот, очень быстрое (в течение 10...12 мс) отключение контактора при снижении напряжения в сети ниже 160 В и возврат его в исходное состояние при восстановлении напряжения до значения выше 185 В с выдержкой времени в 5...10 с.

Однократный перерыв в 5...10 с в сети собственных нужд переменного тока подстанций не вызывает сколько-нибудь серьезных нарушений работы подстанции, имеющей мощную аккумуляторную батарею, от которой питаются наиболее ответственные потребители. Вместе с тем, такой алгоритм работы контакторов может предотвратить серьезные сбои в работе мощного электронного оборудования.

Для обеспечения быстросрабатывающего отключения контактора при снижении напряжения в сети большинство имеющихся на рынке электронных реле минимального напряжения, предлагаемые различными производителями, не годятся, поскольку их минимальное время реакции на снижение напряжения составляет обычно 100 мс. За такое время контактор успеет несколько раз замкнуть и разомкнуть цепь питания. В результате проведенного поиска нам удалось обнаружить лишь несколько типов реле, подходящих для управления контактором (рис. 7). Это реле минимального напряжения, совмещенное с таймером (так называемый "brown-out timer") типа GBP2150, производимый компанией Midland Jay (отделение компании Midland Automation, Англия). Время реакции этого устройства на провал напряжения на 30 % номи-

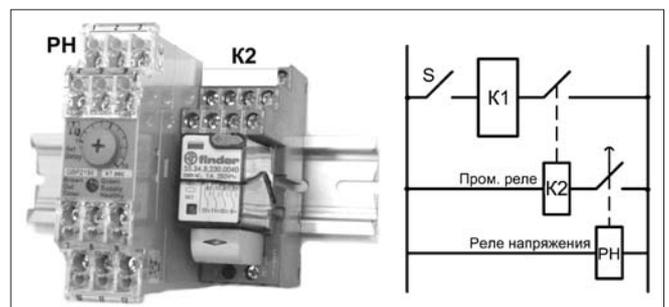


Рис. 7. Устройство для быстрого отключения контактора при провалах напряжения

нального составляет всего лишь 5 мс. Время возврата после восстановления напряжения до 80 % номинального может регулироваться в пределах от 1 до 10 с, что является, по нашему мнению, идеальным решением проблемы. Для уменьшения нагрузки на контакты выходного коммутирующего элемента, применяемого в реле GBP2150, используется промежуточное электромагнитное реле типа 58.32.8.230 (Finder) со временем отпускания около 3 мс. Другой хороший пример, особенно подходящий для российского потребителя: реле контроля провалов напряжения типа РКН-1-3-15 производства ЗАО "Меандр", С.-Петербург.

#### 6. Вывод

Для промышленных предприятий с преобладанием электродвигательной нагрузки и для подстанций с преобладанием силовой электронной аппаратуры, питающейся от сети собственных нужд, должны применяться различные методы борьбы с кратковременными провалами напряжения в сети переменного тока. В первом случае может быть использовано описанное устройство с удерживающим конденсатором, пригодное для контакторов даже большой мощности, а во втором – устройство, обеспечивающее быстрое принудительное отключение контактора.

#### Список литературы

1. **ГОСТ 13109–97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения (Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems).
2. **IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 b:2004.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.
3. **IEC 61000-4-34 Ed. 1.0 b:2005.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-34: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase.
4. **Melhorn C.J., Davis T.D., Beam G.E.** Voltage Sags: their impact on the utility and industrial customers // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, No. 3, 1988. P. 549–558.
5. **McGranaghan M.F., Mueller D.R., Samotyj M.J.** Voltage sags in industrial systems // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, No. 2, 1993. P. 397–404.
6. **Фишман В.** Провалы напряжения в сетях промпредприятий // Новости Электротехники. 2004. № 5 (29), 6 (30).
7. **Kelley A., Cavaroc J., Ledford J., Vassalli L.** Voltage regulator for contactor ride-through // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, No. 2, 2000. P. 697–703.
8. **Andgara P., Navarro G., Perat J.I.** A new power supply system for AC contactor ride-through // 9<sup>th</sup> International Conference "Electric Power Quality and Utilisation", Barcelona, 9–11 October, 2007.
9. **Iyoda I., Hirata M., Shigei N., Pounyakhet S., Ota K.** Affect of Voltage Sags on Electro-magnetic Contactor // 9<sup>th</sup> International Conference "Electric Power Quality and Utilisation", Barcelona, 9–11 October, 2007.

---

---

## А Н О Н С

---

---

**Следующий, августовский, номер журнала будет посвящен деятельности Копейского машиностроительного завода – одного из крупнейших производителей горной техники в современной России.**

*Основные рубрики журнала:*

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ОАО "КОПЕЙСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД"  
ГОРНО-ПРОХОДЧЕСКАЯ ТЕХНИКА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ  
НАДЕЖНОСТЬ, РЕМОНТ. ДИАГНОСТИКА  
ГИДРОПРИВОД  
ПОДГОТОВКА КАДРОВ**

УДК 629.733.3:622

В.Д. Буткин, д-р техн. наук, проф., Сибирский федеральный университет, В.И. Точилин, ЗАО "Спецтехномаш", г. Красноярск

### Применение аэростатной техники для выемки и транспортирования горной массы на открытых горных разработках

*Приведена конструктивная схема и описан принцип работы устройства для транспортирования горной массы на базе аэрогеотехнического комплекса маятникового типа. Показана возможность использования устройства для системы разработки "аэрогеотехнический выемочно-транспортный комплекс—глубокий карьер". Даны рекомендации по использованию устройства при отработке алмазных трубок и отвалообразовании.*

Поиск эффективных видов транспортирования горной массы при ведении открытых горных работ является актуальной задачей, решение которой в определенных условиях может достигаться при совмещении транспортного средства с выемочным рабочим органом и перемещением горной массы в конечное положение по кратчайшему расстоянию. Вариант такого устройства для транспортирования горной массы разработан в Институте горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета [1]. В основу устройства заложены принципы применения на открытых горных работах аэрогеотехнологии, основанной на применении в карьерных машинах и процессах аэростатических аппаратов (АСА) легче воздуха [2].

Общая концепция аэрогеотехнологии открытых горных работ состоит в том, чтобы, используя энергию и уникальные особенности АСА, создавать в карьерном пространстве мобильные "воздушные мосты" с большим грузопотоком и применять экологически благоприятные аэрогеотехнические комплексы (АГТК), несущие разнообразные рабочие органы для выемки, погрузки, транспортирования и планирования горной массы с большим радиусом действия [2].

АГТК условно можно разделить на две самостоятельные группы:

к *первой группе* относятся аэростатно-канатные транспортные системы (АКТС), основанные на использовании транспортных канатных магистралей, по которым перемещаются транспортные тележки, соединенные с перемещающимися совместно с ними аэростатами, при этом тележки оснащаются транспортной емкостью или грейфером;

к *второй группе* относятся аэростатические комплексы маятникового типа (АГТКМ), основанные на использовании соединенных с неподвижными наземными опорами аэростатов, к которым на тросовой маятниковой подвеске прикреплены транспортные сосуды или выемочно-транспортные органы (ковши, грейферы); перемещение рабочих органов осуществляется за счет канатных механизмов горизонтальной тяги или воздушных винтовых движителей, устанавливаемых в зоне крепления рабочего органа к маятниковой подвеске.

Предлагаемое устройство для транспортировки горной массы (УТГМ) относится к указанным выше аэростатическим комплексам маятникового типа (АГТКМ). Конструкция и технические параметры устройства обеспечивают достижение поставленной задачи — возможности работы УТГМ по системе разработки "АГТКМ—глубокий карьер".

Конструкция устройства для транспортирования горной массы показана на рисунках: на рис. 1 изображено устройство для транспортирования горной массы, вид сверху; на рис. 2 — то же, сечение А—А; на рис. 3 — подвесная платформа с реверсивными воздушными винтовыми движителями регулируемого шага и сменным транспортным сосудом; на рис. 4 — вид Б на рис. 3; на рис. 5 — подвесная платформа с двухканатным грейфером; на рис. 6 — подвесная платформа с приводным грейфером. На всех рисунках использованы одни позиции. Для облегчения их нахождения текст сопровождается специальной таблицей.

Устройство работает следующим образом.

Производится загрузка емкости 11 (см. рис. 1, 2) горной массой на рабочей площадке вскрышного или добычного забоя экскаватором или конвейером, включается лебедка подъема 7 емкости 11. Подъемный канат 9, наматываясь на канатный барабан 8, через систему блоков 3, прикрепленных к устройству 2, начинает поднимать емкость 11, с входящей в ее состав подвесной платформой 10, над рабочей площадкой. При этом подъемный канат 9, отклоненный от вертикали, совместно с емкостью 11 и входящей в ее состав платформой 10 под действием силы тяжести начинает перемещаться по траектории маятника к

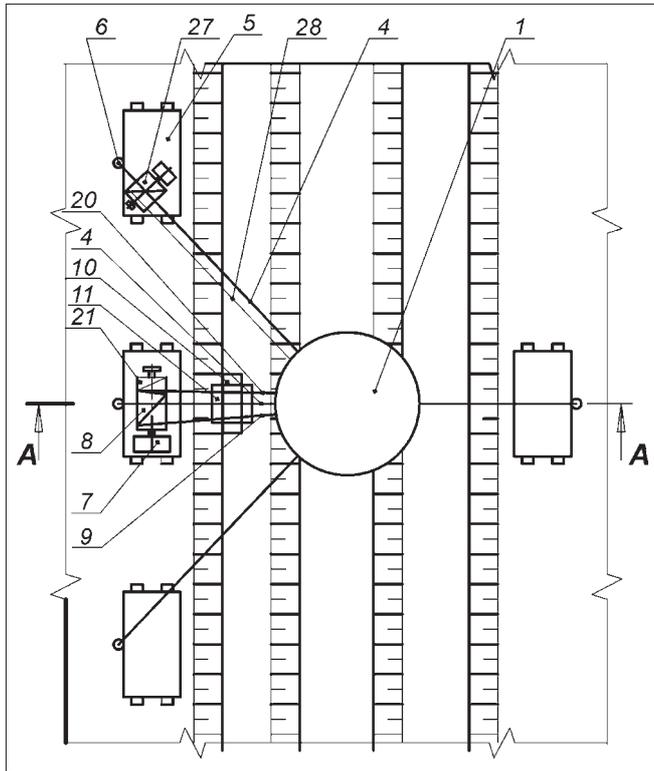


Рис. 1. Устройство для транспортирования горной массы, вид сверху

положению равновесия, при этом лебедка подъема 7 при наборе заданной высоты отключается.

Одновременно с началом подъема емкости 11 поворотные лопасти 15 (см. рис. 3, 4) реверсивных воздушных винтовых движителей регулируемого шага 14 выводятся из режима нейтральной тяги и устанавливаются под углом, обеспечивающим необходимую для преодоления сопротивления воздуха подвижных частей устройства тягу. По мере приближения емкости 11 к средней точке (положению равновесия) амплитуды маятниковой траектории скорость движения растет, возрастает и сопротивление воздуха; для компенсации возрастающих потерь на сопротивление воздуха производят постепенное, соответствующее, увеличение силы тяги реверсивных воздушных винтовых движителей регулируемого шага 14 путем поворота (изменения шага) лопастей 15. После прохождения средней точки скорость емкости и, соответственно, сила сопротивления воздуха уменьшаются. Тягу реверсивных воздушных винтовых движителей регулируемого шага 14 при этом, соответственно, уменьшают.

Разгрузка емкости 11 происходит любым известным способом: путем открывания днища (с использованием дистанционного управления) над зоной разгрузки в любой точке маятниковой траектории или путем опускания емкости 11 при включении механизма лебедки подъема 7 для опускания на поверхность земли в зоне, близкой к крайней точке амплитуды маятниковой траектории, где скорость перемещения емкости 11 равна или меньше допускаемой

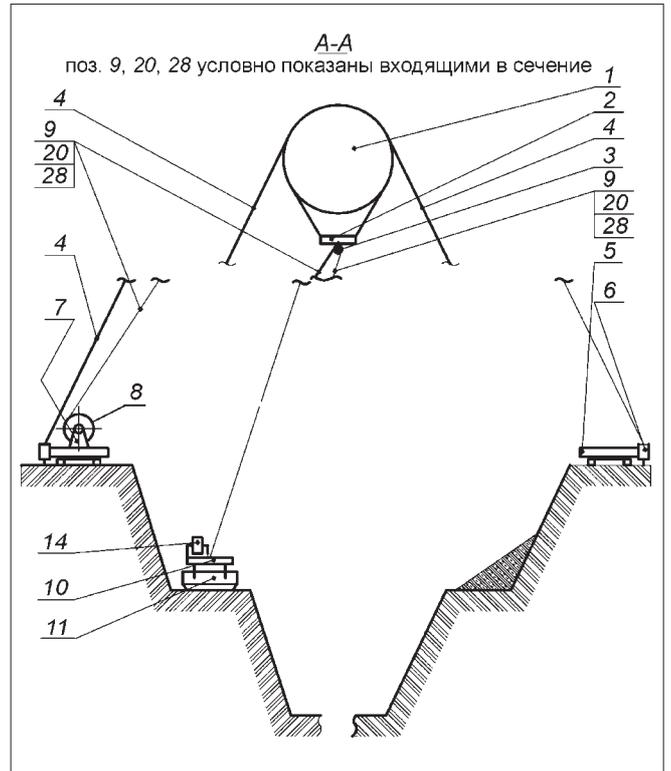


Рис. 2. Устройство для транспортирования горной массы, сечение А-А

посадочной скорости (линейной скорости встречи с землей). При этом поворотные лопасти 15 винтовых движителей 14 устанавливаются в положение нейтральной тяги. Во время движения емкости 11 по маятниковой траектории место разгрузки может быть изменено путем создания дополнительного корректирующего тормозного или разгонного импульса тяги за счет регулировки шага лопастей 15 винтовых движителей 14, в результате чего крайняя точка амплитуды, соответственно, приблизится или удалится от средней точки траектории.

Возврат емкости 11 в зону загрузки при ее разгрузке без опускания на поверхность земли происходит после того, как она по инерции дойдет до крайней точки амплитуды и начнет обратное движение по маятниковой траектории. При разгрузке с опусканием

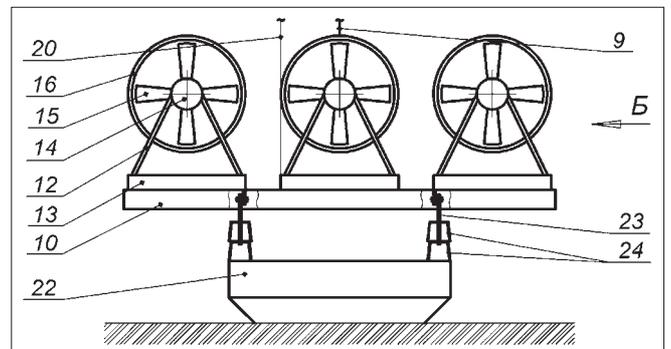


Рис. 3. Подвесная платформа с реверсивными воздушными винтовыми движителями регулируемого шага и сменным транспортным сосудом

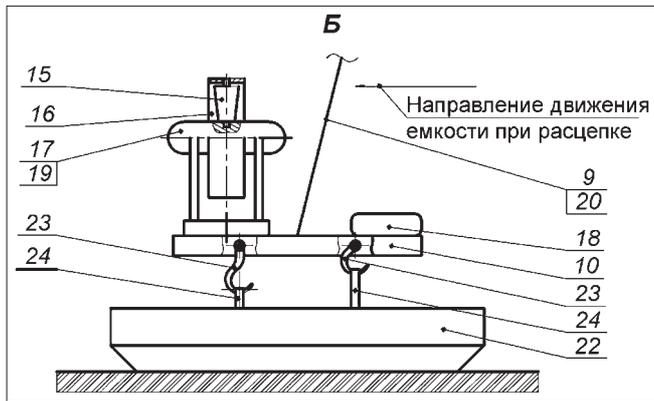


Рис. 4. Вид Б на рис. 3

на поверхность возврат в зону загрузки происходит аналогично ее движению в зону разгрузки после включения лебедки подъема 7 на подъем емкости 11. При этом в обоих случаях винтовые движители 14 путем поворота лопастей 15 реверсируют тягу и работают на участке возврата также в режиме, компенсирующем сопротивление воздуха. Если во время движения в зону разгрузки была выполнена тормозная или разгонная коррекция движения, то при возврате в зону загрузки винтовые движители 14 также должны выполнить дополнительный корректирующий соответственно разгонный или тормозной импульс, обеспечивающий приход в первоначальную или заданную точку загрузки с допустимой посадочной скоростью. В зоне загрузки лебедка подъема 7 работает на опускание, обеспечивая опускание емкости 11 на поверхность, после чего производится ее повторная загрузка горной массой и цикл повторяется.

Маневрирование в зонах загрузки и разгрузки, изменение траектории транспортирования емкости 11 для создания веерной зоны разгрузки при отвалообразовании, а также обеспечение заданной траектории движения при боковом ветре осуществляются при наличии одного или нескольких движителей отклонением вектора тяги винтовых движителей 14 в необходимом направлении путем поворота двигательных

установок 12 их механизмами поворота 13. В варианте использования нескольких двигательных установок 12 каждый винтовой движитель 14 работает в заданном режиме тяги, отличном от других по величине, а при необходимости и по направлению, что обеспечивает поворот подвесной платформы 10 относительно вертикальной оси и изменение траектории транспортирования. Также возможно и маневрирование путем одновременного применения поворота двигательных установок 12 и регулировки тяги винтового движителя 14.

При использовании вместо емкости 11 сменных транспортных сосудов 22 для горной массы устройство работает следующим образом.

Сменный транспортный сосуд 22 с помощью установленных на нем грузоподъемных ловушек 24, подвешивается к шарнирно установленным на подвесной платформе 10 грузозахватным устройствам 23, также имеющих разную по отношению друг к другу длину подвеса к платформе. При подходе порожнего сосуда 22 к зоне загрузки работой винтовых движителей 14, механизмов поворота 13 и лебедки подъема 7 в заданных режимах обеспечивается касание сосудом 22 поверхности земли в заданной точке. В момент касания сосуда 22 поверхности земли нагрузка от его веса на грузозахватные устройства 23 исчезает, лебедка подъема 7 работает на опускание, подвесная платформа 10 продолжает движение вперед по ходу емкости 11. В это время грузозахватные устройства 23 автоматически выходят из зацепления с грузоподъемными ловушками 24, обеспечивая отцепку порожнего сменного транспортного сосуда 22. Задние по ходу сосуда более короткие грузозахватные устройства 23 проходят над передними по его ходу короткими грузоподъемными ловушками 24 другого ряда, не задевая их. Подвесная платформа 10 при этом продолжает двигаться по инерции вперед, начиная в этот момент с помощью винтовых движителей 14 и механизмов поворота 13 маневр захода на груженный сменный транспортный сосуд 22. Пройдя крайнюю точку амплитуды траектории маятника и продолжая маневр захода, подвесная платформа 10 в начальной фазе нового

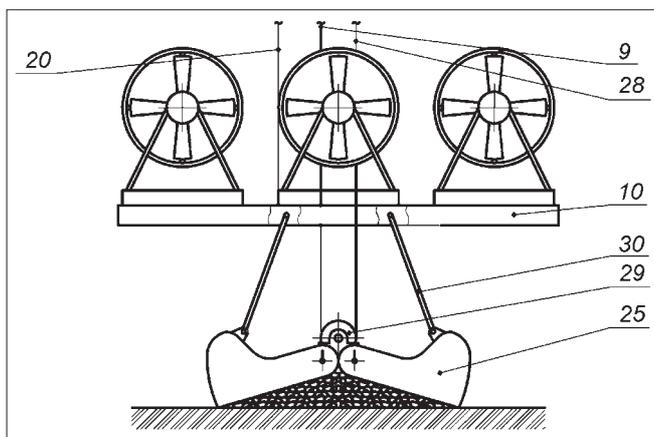


Рис. 5. Подвесная платформа с двухканатным грейфером

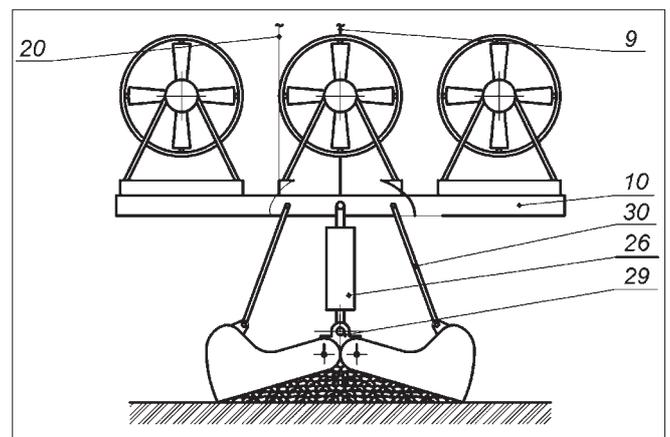


Рис. 6. Подвесная платформа с приводным грейфером

**Обозначение элементов комплекса на рисунках**

Позиции	Наименование элемента	Номер рисунка					
		1	2	3	4	5	6
1	Аэростат-баллон	+	+				
2	Устройство для крепежа		+				
3	Система блоков		+				
4	Канатная растяжка	+	+				
5	Ходовая платформа	+	+				
6	Якорное устройство	+	+				
7	Лебедка подъема емкости для горной массы	+	+				
8	Канатный барабан	+	+				
9	Подъемный канат	+	+	+	+	+	+
10	Подвесная платформа	+	+	+	+	+	+
11	Емкость для горной массы	+	+				
12	Нереверсивная двигательная установка			+			
13	Механизм поворота			+			
14	Реверсивный воздушный винтовой движитель регулируемого шага		+	+			
15	Поворотные лопасти			+	+		
16	Корпус-маховик			+	+		
17	Двигатель внутреннего сгорания				+		
18	Топливный бак				+		
19	Электродвигатель				+		
20	Электрический кабель	+	+	+	+	+	+
21	Кабельный барабан	+					
22	Сменный транспортный сосуд			+	+		
23	Грузозахватное устройство			+	+		
24	Грузоподъемная ловушка			+	+		
25	Двухканатный грейфер					+	
26	Приводный грейфер						+
27	Лебедка механизма замыкания грейфера	+					
28	Замыкающий канат	+	+			+	
29	Блок траверсы грейфера					+	+
30	Тяги грейфера: двухканатного приводного					+	+

Примечание. Знак "+" обозначает присутствие позиции на соответствующем рисунке.

цикла на посадочной скорости проходит над грузе-ным сменным транспортным сосудом 22. При этом соответствующие грузозахватные устройства 23 и грузоподъемные ловушки 24 касаются друг друга и автоматически в начале работы лебедки подъема 7 на подъем подвесной платформы 10 входят в зацепление друг с другом, обеспечивая зацеп данного грузеного сосуда 22; далее цикл транспортирования идет по указанной выше схеме. Отметим, что разное по высоте расположение точек зацепления (передняя по ходу движения выше) также исключает случайный зацеп передним грузозахватным устройством 23 задней ловушки 24.

При использовании в качестве составного элемента емкости 11, вмещающей горную массу двухканатного грейфера 25 (см. рис. 5) или приводного грейфера 26 (см. рис. 6), устройство работает следующим образом. При использовании двухканатного грейфера 25 пустой раскрытый грейфер опускается на горную массу, подъемный 9 и замыкающий 28 канаты имеют одинаковую скорость, лебедка подъема 7 и лебедка механизма замыкания 27 работают синхронно. При касании материала лебедка подъема 7 выключается немного позже лебедки механизма замыкания 27, что обеспечивает ослабление подъемного каната 9. Подвесная платформа 10 с двухканатным грейфером 25

при этом висит на замыкающем канате 28. Далее включается лебедка механизма замыкания 27 на подъем, замыкающий канат 28 обеспечивает смыкание челюстей и зачерпывание двухканатным грейфером 25 горной массы. В момент смыкания челюстей включается лебедка подъема 7, выбирается слабина подъемного каната 9, при этом обеспечивается равномерное распределение нагрузки на подъемный 9 и замыкающий 28 канаты, механизмы работают синхронно, обеспечивая подъем двухканатного грейфера 25 на необходимую высоту. В момент отрыва грейфера от поверхности материала он начинает перемещаться по указанной выше маятниковой схеме. Над зоной разгрузки челюсти двухканатного грейфера 25 раскрываются, при ослаблении замыкающего каната 28 и неподвижном подъемном канате 9 под действием собственного веса двухканатного грейфера 25 и материала происходит разгрузка, после чего подвесная платформа 10 с грейфером, продолжая маятниковое движение, возвращается в зону загрузки и цикл транспортирования повторяется.

В варианте использования приводного грейфера 26 подъем и опускание грейфера происходят при включении лебедки подъема 7. Зачерпывание материала и разгрузка происходят соответственно при смыкании или размыкании челюстей приводными механизмами, входящими в состав приводного грейфера 26, энергия для привода которых подается с подвесной платформы 10.

При использовании подвесной платформы 10 в качестве головной части двухканатного 25 или приводного 26 грейферов, к которой шарнирно крепятся тяги 30 грейфера, в сцепную массу грейфера включается масса подвесной платформы 10, обеспечивая при этом своей массой создание части необходимого для процесса зачерпывания напорного усилия.

Входящие в состав устройства для транспортирования горной массы реверсивные воздушные винтовые движители регулируемого шага 14, как показано выше, обеспечивают маневрирование на маятниковой траектории и компенсацию потерь от сопротивления воздуха. В течение цикла транспортирования путем поворота лопастей 15 сила тяги изменяется от нулевой до максимальной и обратно. Нереверсивные двигательные установки 12 при этом работают в режиме постоянной скорости вращения и мощности, которая выше мощности режима нулевой тяги, но ниже мощности, необходимой для создания максимальной тяги. В режимах малой тяги избыток мощности двигательных установок 12 затрачивается на увеличение скорости вращения элементов воздушных винтовых движителей 14, в том числе кольцевых корпусов-маховиков 16, шарнирно закрепленных на поворотных лопастях 15. При этом аккумулируется механическая энергия. В режимах тяги, когда мощность нереверсивных двигательных установок 12 недостаточна, происходит уменьшение скорости вращения реверсивных воздушных винтовых движителей регулируемого шага, запасенная в кольцевых корпусах-маховиках 16 и вращающихся частях воз-

душных винтовых движителей 14 механическая энергия расходуется на поддержание необходимой силы тяги. Шарнирное крепление передает возникающие при ускорении, замедлении вращения кольцевых корпусов-маховиков 16 усилия на лопасти 15, не препятствуя регулированию шага винтов.

В качестве нереверсивных двигательных установок 12 используются двигатели внутреннего сгорания 17, при этом топливо подается из топливного бака 18, установленного на подвесной платформе 10, или электродвигатели 19, электроэнергия на которые подается по кабелю 20, закрепленному на подвесной платформе 10. При этом кабель 20 движется синхронно с подъемным канатом 9, проходя через систему блоков 3 (см. рис. 2) и наматываясь на кабельный барабан 21 (см. рис. 1), выполненный заодно с барабаном 8.

После отработки участка карьера освобождаются якорные устройства 6 (см. рис. 1, 2), ходовые платформы 5 с помощью канатных растяжек 4 перемещают аэростат-баллон 1 на новый участок, после чего якорные устройства закрепляются, и начинается транспортирование горной массы.

Важно отметить, что аэрогеотехнические комплексы маятникового типа с большим радиусом действия скачкообразно расширяют область рационального применения классической системы "экскаватор-карьер", предложенной академиком Н.В. Мельниковым. АГТКМ позволяют применять такие системы не только для разработки горизонтальных и пологих залежей полезных ископаемых с большой толщиной вскрыши, но и наклонных и крутопадающих залежей до значительной глубины. По существу становится возможной новая система разработки "аэрогеотехнический выемочно-транспортный комплекс-глубокий карьер", которая позволяет кардинально изменить параметры технологических процессов и схем, величины характерных коэффициентов вскрыши, а также по-новому отстраивать борта карьеров. Системы разработки "АГТКМ-глубокий карьер" особенно целесообразны для ускоренной отработки алмазных трубок при кратном снижении объемов строительных горно-капитальных и вскрышных работ, уменьшении сроков подготовки и освоения месторождений по сравнению с традиционно применяемыми технологическими схемами. Также данная схема может быть применена в условиях неустойчивых вскрышных горных пород повышенной влажности и сыпучести, когда транспортирование и отвалообразование при использовании традиционных видов транспорта затруднено или невозможно.

#### Список литературы

1. Пат. РФ № 21119055, МКИ 6 E21 C 41/26, 47/00. Устройство для транспортирования горной массы / В.И. Точилин, В.Д. Буткин // Открытия, Изобретения. 1998. Бюл. № 26.
2. Буткин В.Д. Перспективные аэрогеотехнические комплексы и экологически благоприятные технологии для карьеров // Проблемы открытой разработки угольных месторождений. Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 1994. С. 10–16.

## Регламентация конструкционной прочности с учетом технологической и эксплуатационной наследственности бурового твердосплавного инструмента <sup>НИ</sup>

*Обоснованы регламентирующие параметры конструкционной прочности бурового твердосплавного инструмента ударного действия с учетом механизмов наследования свойств конструкционных элементов при их изготовлении и эксплуатации. Определена совокупность требований конструкционной прочности и надежности, обеспечивающая синергетические эффекты упрочняющих методов обработки, общее действие которых превышает кажущуюся сумму отдельно взятых эффектов.*

Большинство исследователей и практиков представляют конструкционную прочность структурных элементов машин как прочность в реальных условиях эксплуатации с учетом конструктивных, металлургических, технологических и эксплуатационных факторов, которые составляют единство, определяющее более общее понятие надежности таких элементов машин [1].

В горном машиностроении сложилась практика регламентации надежности бурового инструмента, являющегося рабочим органом машины ударного действия, по конструкционной прочности соединения породоразрушающих элементов с корпусом инструмента [2–6].

Основные задачи регламентации исходных свойств конструкционных материалов, особенно в условиях перехода на более высокие уровни нагруженности элементов конструкции инструмента, состоят в разработке методов определения трибологических характеристик, адекватной оценке совокупности эксплуатационных свойств и более полном использовании ресурса применяемых конструкционных материалов. Исходя из единства и взаимосвязи составляющих параметров конструкционной прочности инструмента, требуются дальнейшая систематизация и идентификация уровней воздействий на конструкционные материалы с учетом влияния конструкции (по параметрам напряженно-деформированного состояния, концентраций и характера напряжений в конструктивных элементах, точности их размеров и формы), технологии изготовления (определяющейся способами получения заготовки, термической обработки, соединения элементов армирования и финишной упрочняющей обработки) и эксплуатационных условий (характеризующихся нормируемыми показателями окружающей среды, горно-геологических

условий, режимов и циклического характера нагружения, изнашивания и параметрами восстановления породоразрушающей части инструмента).

В общей системе обеспечения ресурса конструкционной прочности и надежности инструмента определяющую роль играет технологическая надежность, свойства которой закладываются в виде технических требований на стадии конструирования, которые обеспечиваются технологическим процессом изготовления на стадии производства и поддерживаются регламентом применения и восстановления инструмента на стадии эксплуатации. Из этого следует, что с момента получения исходного материала и до придания конструктивным элементам заданных размеров и свойств он проходит в процессах изготовления и эксплуатации через ряд состояний, характеризующихся параметрами конструкционной прочности и надежности. В любой момент времени состояние инструмента и его элементов должно рассматриваться как результат предшествующих состояний, имевших место в прошлом. Поэтому последовательность и характер воздействий на конструкционные материалы инструмента должны рассматриваться во временном аспекте [7].

Кроме этого, рассматривая технологические и эксплуатационные воздействия на материалы конструктивных элементов инструмента, необходимо определить совокупность требований конструкционной прочности и надежности, обеспечивающую положительные синергетические эффекты, общее действие которых превышает кажущуюся сумму отдельно взятых эффектов [8]. Поиск синергетических эффектов упрочняющей обработки бурового инструмента позволил выявить существенный резерв повышения его прочности и надежности.

Исследованиями [9] технологических условий применения различных способов объемного и поверхностного упрочнения твердосплавных породоразрушающих вставок при изготовлении и эксплуатации инструмента установлена возможность повышения долговечности вставок за счет их термической обработки и последующего виброупрочнения в 2–3 раза, относительно суммы отдельных эффектов упрочнения от указанных методов.

Явления, рассмотренные во временном и феноменологическом аспектах, связаны с благоприятной технологической наследственностью материала породоразрушающих вставок. Под наследственностью в

технологии машиностроения подразумевается явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин [1].

Носителями наследственной информации применительно к буровому твердосплавному инструменту являются элементы армирования – породоразрушающие вставки, корпус и их соединение (прессовое или паяное) со всей совокупностью описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя через вышеуказанные операции и испытывая воздействия технологических факторов. Имея количественную и качественную оценки этого воздействия, можно управлять механизмом технологического наследования, таким образом, чтобы свойства, положительно влияющие на состояние конструктивных элементов инструмента, можно было не только сохранить, но и развивать в течение всего периода изготовления и эксплуатации, а свойства, влияющие отрицательно, планомерно устранять.

Анализ факторов, влияющих на технологическую наследственность при выполнении операций изготовления инструмента, по данным исследований в

этом направлении [12] позволяет дать качественную оценку эффекта наследования основных параметров, определяющих конструкционную прочность и надежность инструмента (табл. 1).

Установлено [2, 6], что большинству технологических операций изготовления инструмента (шлифованию, пайке, запрессовке, термообработке и др.) сопутствуют отрицательные явления, которые должны учитываться при формировании технологического процесса, обеспечивающего выполнение технических требований к конструкционной прочности инструмента. Определяющими факторами технологической надежности являются остаточные напряжения в поверхностном слое породоразрушающих вставок и элементов их соединения с корпусом пайкой [2] и запрессовкой [6].

При рассмотрении конструкционной прочности следует учитывать, что поверхность конструктивных элементов инструмента при эксплуатации также испытывает неблагоприятное воздействие изнашивания, усталости, заточки и других факторов. При этом проявление внутренних и поверхностных дефектов под влиянием масштабного фактора нагружаемых объемов и поверхностей носит ярко выраженный вероятностный характер [7]. Кроме того, в большинстве

Таблица 1

Основное назначение и факторы технологической наследственности конструктивных элементов бурового твердосплавного инструмента

Способ обработки	Элементы соединения	Геометрическая форма	Макро- и микро-рельеф	Структура фазового состава	Химический состав	Наклеп	Остаточные напряжения	Плотность соединений
Механическая обработка	СК	Н	Н	–		+	+–	–
Шлифование	СК	Н	Н	–	–	+	–	+
	ТВ	Н	Н	–	–	+	–	+
Термообработка Виброобработка	ТВ	+	+	Н	+	+	+	+
Пайка	СК	–	–	Н	–		+–	+–
	ТВ	–	–	Н	–		–	–
Термообработка	СК	–		Н	–		–	–
	ТВ	–		Н	–		–	–
Запрессовка	СК	Н	–			+	–	+–
	ТВ	Н	+–			–	+–	–
Виброобработка	СК	+	+	+		Н	+	+
	ТВ	+	+	+		Н	+	+
Алмазное шлифование Виброобработка	ТВ	Н	+	Н	+	+	+	+
Термообработка ЛНК Виброобработка	ТВ	Н			Н			+
Виброобработка	СК	Н	+	+		Н	+	
	ТВ	Н	+	+		Н	+	

Примечание. "+" – факторы, влияющие положительно; "–" – факторы, влияющие отрицательно; Н – основное назначение процесса; СК – стальной корпус; ТВ – твердосплавная вставка; ЛНК – локальное насыщение кобальтом

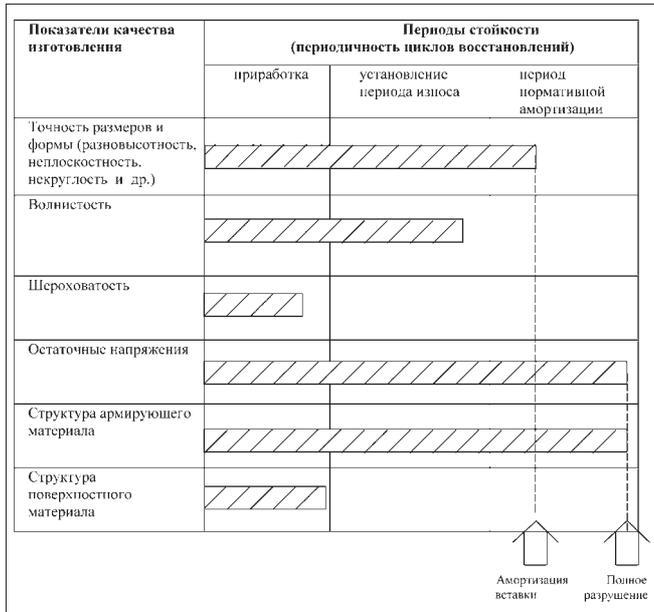


Рис. 1. Продолжительность сохранения начальных показателей дефектности и износостойкости материалов бурового инструмента в процессе эксплуатации (заштрихованные области)

типичных схем нагружения (изгиб, сжатие, растяжение и др.) максимальное напряжение возникает на поверхности деталей. Это подтверждается результатами испытаний образцов с различным отношением периметра сечения к его площади. В результате показано, что образцы с относительно большим периметром (т.е. с большей поверхностью) имеют меньшее значение прочности [1, 9].

Параметры, определяющие конструкционную прочность материалов инструмента ударного действия, укрупненно можно разделить на две группы по продолжительности нагружения: действующие кратковременно и долговременно [1]. К первой группе отнесены: временное сопротивление разрушению  $\sigma_B$ , относительное удлинение  $\epsilon$ , предел текучести  $\sigma_{0.2}$ , ударная вязкость  $A_{H2}$ , которые определяют сопротивление материалов кратковременно действующим нагрузкам.

Более адекватными для оценки надежности и ресурса являются характеристики, зависящие от продолжительности нагружения: длительная прочность, релаксация напряжений, многоцикловая усталость, контактная выносливость, износ, скорость развития трещины и др. [1].

Конструкционная прочность наиболее адекватно оценивается и прогнозируется на основе системных позиций, устанавливающих механизмы наследования свойств конструктивных элементов при изготовлении и эксплуатации бурового инструмента.

Различные показатели длительной прочности бурового инструмента в процессе эксплуатации сохраняют нормативные значения в пре-

делах допустимых отклонений в широком временном диапазоне, что дает возможность оценить характерные моменты изменения состояний (рис. 1).

В период приработки породоразрушающих элементов инструмента существенно изменяются шероховатость и структура поверхностных слоев материалов, волнистость, размеры и форма контактных поверхностей, вследствие этого происходит перераспределение остаточных технологических напряжений и нагруженности породоразрушающих вставок и корпуса [10]. Остаточные напряжения и структура армирующего материала при этом могут сохраняться до полного разрушения породоразрушающих вставок.

В системе исследований конструкционной прочности материалов инструмента каждый из параметров (табл. 2) определяется с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

В качестве организационно-технической основы приведенной систематизации факторов и параметров, определяющей конструкционную прочность бурового инструмента ударного действия, следует принять систему контроля параметров качества бурового инструмента ударного действия.

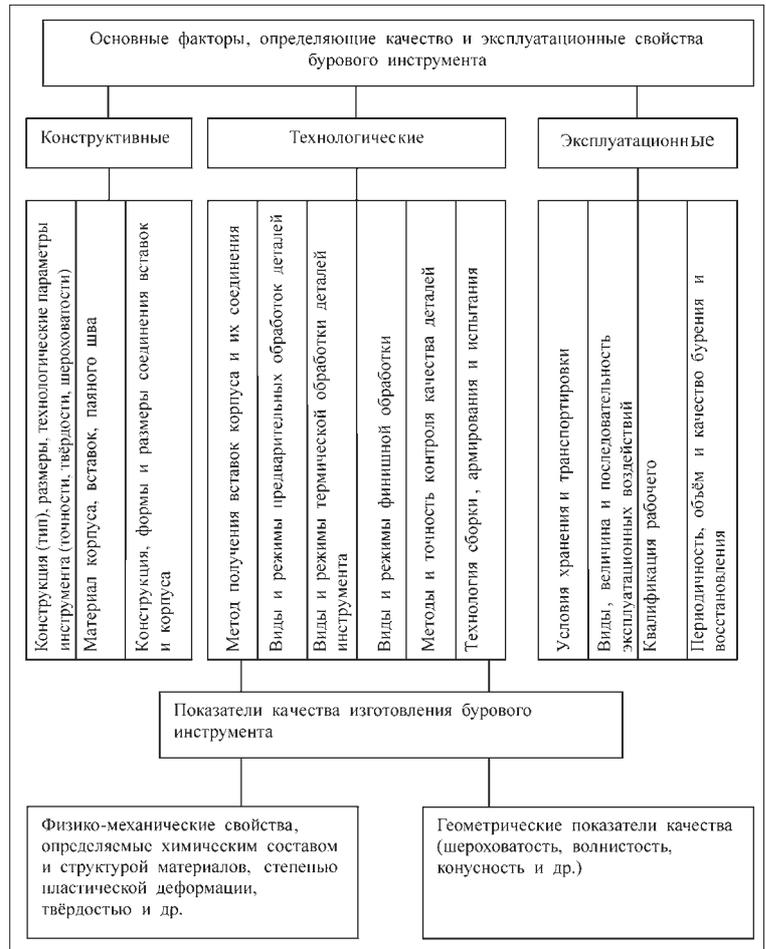


Рис. 2. Конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы, определяющие качество и технологическую наследственность бурового твердосплавного инструмента

Конструкционная прочность материалов бурового инструмента

Исследуемые характеристики	Конструкция				Технология								Эксплуатация				
	Химический состав	Форма детали	Структура материалов	Напряженное состояние	Входной контроль качества деталей	Механическая обработка	Упрочняющая обработка деталей	Пайка	Запрессовка	Заточка	Упрочняющая обработка инструмента	Контроль качества	Входной контроль качества инструмента	Переточка	Упрочняющая обработка	Приработка инструмента	Контроль состояния
Стандартные $a_H$	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Циклическая прочность	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X			X		X
Износостойкость		X		X	X	X	X	X	X	X	X					X	X
Надежность		X			X		X	X	X	X	X				X	X	X

Примечание.  $\sigma_{в}$  – временное сопротивление разрушению;  $\sigma_{т}$  – предел текучести;  $a_H$  – ударная вязкость;  $\sigma_{1}$  – предел выносливости; x – влияние факторов конструкции технологии изготовления и эксплуатации инструмента на параметры конструкционной прочности исследовано.

Задачи оценки и обеспечения длительного сопротивления конструктивных элементов бурового инструмента трибологическим, усталостным, коррозионным и релаксационным воздействиям, наиболее характерным в процессе бурения и восстановления геометрических размеров, требуют использования показателей второй группы по продолжительности нагружения.

Определение этих показателей с учетом технологической и эксплуатационной наследственности

предлагается осуществить на основе следующих принципов и методов управления механизмами наследования заданных свойств конструктивных элементов инструмента путем обеспечения (рис. 2):

– заданной износостойкости методами упрочняющего поверхностного деформирования, интенсивность которого согласуется со степенью утраты работоспособности или с остаточным ресурсом инструмента [13];

– управляемой точности размеров и формы породурушающих вставок с применением оптимального сочетания методов размерной и упрочняющей обработки [12];

– независимости действия отрицательных факторов и условий, вызывающих при совместном действии негативный синергетический эффект [1].

Согласно сформулированным нами условий и на основе выполненных работ [12] можно определить следующие предпосылки увеличения синергетического положительного и снижения отрицательного эффектов:

1) применение твердосплавных породоразрушающих вставок, рабочая поверхность которых образована кривой  $n$ -го порядка в соответствии с эпюрой ее нагруженности и износа [15];

2) самоорганизация процессов изнашивания и развития процессов усталости, достигаемая применением материала и технологии изготовления породоразрушающих вставок с дифференцированными свойствами в их объеме и поверхностном слое [16];

3) учет временного аспекта изменения таких параметров, как износ, размерная точность и форма элементов армирования;

4) использование разработанной нами структурной модели надежности бурового инструмента для всех стадий жизненного цикла [11], как основы синтеза и декомпозиции системы параметров конструкционной прочности, обладающих синергетическим эффектом.

Кроме того, следует учесть, что модель связи конструкционной прочности и технологической наследственности бурового инструмента, при которой достигается максимальный эффект применяемых и разрабатываемых технологических систем обеспечения надежности, характеризуется коэффициентами изменения параметров элементов инструмента, а механизм наследования конструкционной прочности при переходах между технологическими операциями изготовления и ее изменение в процессе эксплуатации адекватно отражается графами обратных и прямых связей, определяющих величину синергетического эффекта наследуемых свойств [12].

Эти коэффициенты и указанные связи носят вероятностный характер, поэтому структурная модель надежности бурового инструмента строится с учетом стадий ее формирования [11].

Предложенная методическая основа позволяет интегрировать модели наследования параметров конструкционной прочности бурового инструмента по

этапам ее формирования в структурную модель надежности [11].

#### Список литературы

1. Васильев А.С., Дальский А.М. и др. Технологические основы управления качеством машин. М.: Машиностроение, 2003. 255 с.
2. Ключко Н.А. Основы технологии пайки и технологии термообработки твердосплавного инструмента. М.: Металлургия, 1981. 200 с.
3. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М.: Наука, 1969.
4. ВНИИТС. Пути совершенствования производства твердосплавного и алмазного бурового инструмента и расширение областей его применения // Тезисы докладов к Всесоюзной научно-технической конференции. М.: 1979.
5. Иванов К.П., Латышев В.А., Андреев В.Д. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. 272 с.
6. Коган Б.Н. Технологическое обеспечение качества производства горных машин и инструментов. Кемерово, 1996. 260 с.
7. Боярских Г.А. Теория старения машин. Екатеринбург, УГГУ. 2006.
8. Ящерицын П.И., Скорынин Ю.В. Технологическая и эксплуатационная наследственность и ее влияние на долговечность машин. Минск.: Наука и техника, 1978. 120 с.
9. Лошак М.Г., Фридман В.М. Эффект масштаба в металлокерамических твердых сплавах вольфрамовой группы // Проблемы прочности. 1971. № 8. С. 43–47.
10. Боярских Г.А. Статистическая оценка износа упрочненного перфораторного инструмента в условиях Березовского рудника // Известия вузов. Горный журнал / Уральское горное обозрение. 1994. № 6/94. С. 107–110.
11. Боярских Г.А. Анализ и методика структурной надежности бурового инструмента // Известия вузов. Горный журнал. 1996. № 2. С. 110–114.
12. Боярских Г.А., Боярских И.Г. Предпосылки моделирования управляемой технологической наследственности твердосплавных вставок бурового инструмента ударного действия / Материалы Международной научно-технической конференции "Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья" 21–26.05.2007. Екатеринбург: ОАО "Форт Диалог – Исеть", 2007. С. 285–292.
13. Боярских Г.А., Балин В.С., Куклин Л.Г. Оценка устойчивости состояния упрочненного металлокерамического сплава при циклическом нагружении // В сб. тезисов науч. сообщений VI Всесоюзной конференции по строению и свойствам металла и шлаковых расплавов. Свердловск, 1986. С. 95–97.
14. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. Киев: Наукова думка, 1984. 325 с.
15. А.с. 327326.Е21С 13/04. Породоразрушающая цилиндрическая вставка / В.Т. Зыкин, Э.А. Вольхин, Г.А. Боярских и др. Заявл. 15.09.70. Опубл. 31.03.1972. Бюлл. № 5.
16. А.с. 907937. Способ изготовления твердосплавных изделий / ИСМ АН УССР, ЦНИИтяжмаш, ВНИИТС. Г.А. Боярских, А.Ф. Лисовский, М.Г. Лошак и др. Заявл. 10.10.80. № 2993649.

## Физическое моделирование динамических схем трубопроводного проветривания глубоких карьеров

*Изложены принципы физического моделирования динамических схем трубопроводного проветривания карьеров. Приведены основные параметры разработанной модели карьерного вентиляционного комплекса и результаты опытных исследований на ней.*

Основные задачи искусственного проветривания глубоких и сверхглубоких карьеров наиболее полно решаются трубопроводным способом механической вентиляции, реализуемого с помощью мобильных систем [1].

Для опытного изучения воздухообмена в очагах загрязнения при трубопроводном проветривании было выполнено физическое моделирование этого процесса. Воздушный бассейн карьера был заменен водным, воздушные потоки всасывания и нагнетания – водяными, а очаги загрязнения – водными растворами сульфата меди. Такая замена сред позволила простыми средствами создавать и измерять необходимые потоки и концентрацию растворов, а циклические воздействия всасывающих и нагнетательных трубопроводных вентиляционных систем (ТВС) имитировать стационарными водяными струями из патрубков у моделируемых очагов загрязнения (рис. 1).

По результатам теоретических исследований [1] при разработке модели были приняты следующие условия натурного карьера.

1. Объем выработанного пространства  $V_n = 150$  млн  $m^3$ .
2. Отсутствие естественного воздухообмена через верхнюю границу выработанного пространства.
3. Суммарное пылевыведение в очагах загрязнения  $Z_n = 30000$  мг/с.
4. Диаметр выходных сечений воздухопроводных каналов  $D_{0n} = 2,5$  м.
5. Индивидуальная подача нагнетательных и всасывающих средств  $Q_{0n} = 105$   $m^3/c$ .
6. Интенсивность искусственного воздухообмена  $Q_n = 210$   $m^3/c$ .
7. Время непрерывной работы вентиляционного комплекса – 24 ч (86400 с).

Модель карьера (см. рис. 1) представляла собой усеченный эллиптический конус. Длина большой и малой осей: по дну – 0,474 0,370 м; по поверхности воды – 0,535 0,425 м. Объем  $V_m$  и высота слоя воды – 0,025  $m^3$  и 0,162 м соответственно. Характерные размеры карьера и его модели составили:  $L_n \sqrt[3]{V_n} \sqrt[3]{150 \cdot 10^6} = 531,2$  м;  $L_m \sqrt[3]{V_m} \sqrt[3]{0,025} = 0,2924$  м. Масштаб моделирования линейных размеров  $M_L = L_n/L_m = 531,3/0,2924 = 1817$ , что находится в пределах его рекомендуемых значений [2].

Кроме геометрического соблюдались условия кинематического и динамического подобия, что обеспечивалось

равенством чисел Фруда ( $Fr$ ) за выходными сечениями воздухопроводов в натуре и водяных патрубков в модели ( $Fr_n = Fr_m$ ).

Кроме отмеченных условий подобия, при расчете параметров модели использовались фундаментальные положения гидроаэромеханики, в частности, теория свободных турбулентных струй Г.Н. Абрамовича [3].

Результаты расчетов основных элементов модели приведены ниже.

### Расчетные параметры модели карьерного вентиляционного комплекса

Геометрические размеры заполненной водой пространства, имитирующего глубокий карьер:	
длина осей по дну, мм . . . . .	474 370
длина осей по поверхности, мм . . . . .	535 425
глубина, мм . . . . .	162
объем, л . . . . .	25000
Длина рабочих патрубков (нагнетательных/вытяжных), мм . . . . .	30/88
Расстояние от очага загрязнения до среза патрубков (нагнетательных/вытяжных), мм . . . . .	63/5
Внутренний диаметр патрубков, мм . . . . .	1,4
Расход воды в трубке, мл/с . . . . .	0,773
Высота горизонтальной оси патрубков относительно дна, мм . . . . .	3
Необходимый напор перед входом в нагнетательный патрубок, мм . . . . .	218
Необходимый напор на выходе вытяжного патрубка, мм . . . . .	54
Начальная загрязненность рабочего объема модели, мг/л . . . . .	2,2
Количество очагов загрязнения, шт. . . . .	4
Высота очага загрязнения относительно дна, мм . . . . .	3,6
Расход загрязняющего раствора в одном очаге, мл/с . . . . .	0,025
Суммарный расход загрязняющего раствора, мл/с . . . . .	0,1
Концентрация ( $C_m$ ) сульфата меди ( $CuSO_4$ ) в загрязняющем растворе, мг/л . . . . .	22000
Интенсивность подачи ( $Z_m$ ) $CuSO_4$ в рабочий объем модели, мг/с . . . . .	2,2

Подача раствора сульфата меди к четырем очагам загрязнения, имитировавшим пункты погрузки горной массы и примыкающие к ним участки автодорог, осуществлялась из сосуда Мариотта. Этот сосуд обеспечивает постоянство расхода при понижении уровня жидкости в нем. Аналогич-

ные сосуды были использованы для подачи воды к нагнетательным патрубкам и к верхнему приточному отверстию (рис. 2, см. 3-ю стр. обложки).

Было также учтено, что при трубопроводной вентиляции реального карьера через его верхнее сечение перемещаются потоки приточного или вытесняемого воздуха в зависимости от принятой схемы проветривания. Такой же механизм обмена соблюдался и в модели, причем уровень жидкости в емкости, имитирующей карьер, при любых условиях оставался неизменным  $h_m = 0,162$  м. Для этого в стенке модели карьера на высоте  $h_m$  от дна был смонтирован патрубок, через который избыток жидкости сливался в емкость приема воды 2. Несколько ниже сливного (на 30 мм) располагалось приточное отверстие, соединенное трубкой с заполненным свежей водой сосудом Мариотта, что автоматически компенсировало удаляемый объем воды в модели при работе всасывающих патрубков.

Перед каждым опытом в заполненной свежей водой емкости модели создавалась фоновая загрязненность  $C_{нач.м} = 2,2$  мг/л, соответствующая принятой фоновой загрязненности натурального глубокого карьера  $C_{нач.н} = 0,22$  мг/м<sup>3</sup> [1]. Для этого в течение времени  $t_{фон.м} = 25$  с в нее подавался раствор сульфата меди с раствором  $Q_{3м} = 0,1$  мл/с.

Концентрация ( $C_m$ ) и интенсивность подачи ( $Z_m$ ) загрязняющего раствора  $CuSO_4$ , указанные выше, рассчитывались из условия  $Z_n/Q_n = C_n = 10^4 C_m = Z_m/Q_m$ . Увеличение концентрации  $C_m$  в 10000 раз было принято из соображений возможности приборной оценки получаемой концентрации водного раствора  $CuSO_4$  в пробах. Забор проб осуществлялся в конце каждого опыта из рабочей емкости модели и сосуда приема сливной жидкости.

Анализ проб на содержание в них катионов меди ( $Cu^{2+}$ ) выполнялся на атомно-адсорбционном спектрофотометре АAnalyst-400. Результаты опыта признавались достоверными, когда суммарное фактическое количество  $CuSO_4$  (в сливе и в рабочей емкости) отличалось от расчетного (4490 мг) не более чем на 10 %.

Экспериментальная модель карьерного вентиляционного комплекса позволила имитировать воздухообменные процессы при различной суммарной производительности нагнетательных ( $Q_{0м}^{наг}$ ) и вытяжных ( $Q_{0м}^{выт}$ ) патрубков и соответствующих расходах через верхние сливное ( $Q_{сл.м}$ ) и приточное ( $Q_{пр.м}$ ) отверстия.

При заданных значениях  $V_n$ ,  $Q_n$ ,  $Z_n$  (и подобных им  $V_m$ ,  $Q_m$ ,  $Z_m$ ) основными факторами, влияющими на содержание загрязняющих веществ в проветриваемом пространстве, являются используемая схема вентиляции (первый фактор), порядок чередования и длительность воздействия нагнетательных и всасывающих систем (второй фактор).

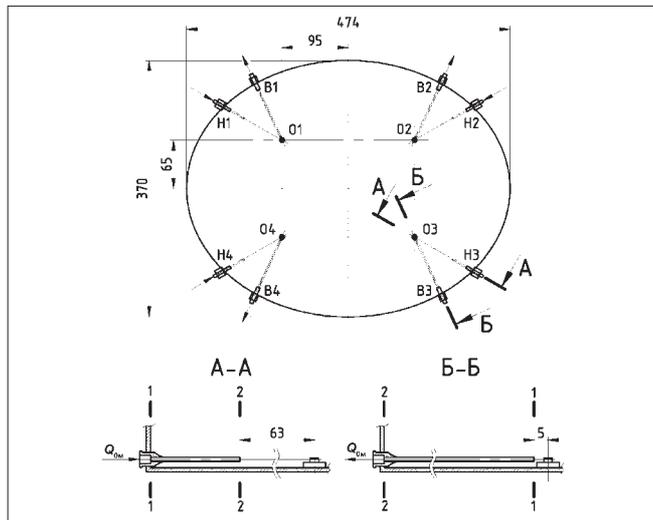


Рис. 1. Схема размещения водяных патрубков в рабочей емкости модели: H1–H4 – нагнетательные патрубки; B1–B4 – вытяжные патрубки; O1–O4 – очаги загрязнения

Для реализации первого фактора на модели были назначены четыре схемы трубопроводного проветривания: нагнетательная ( $Q_{0м}^{наг} Q_m$ ;  $Q_{0м}^{выт} 0$ ;  $Q_{пр.м} = 0$ ;  $Q_{сл.м} = Q_m + Q_{3м}$ ), всасывающая ( $Q_{0м}^{наг} 0$ ;  $Q_{0м}^{выт} Q_m$ ;  $Q_{пр.м} = Q_m - Q_{3м}$ ;  $Q_{сл.м} = 0$ ), комбинированная уравновешенная ( $Q_{0м}^{наг} Q_{0м}^{выт}$

$Q_m$ ;  $Q_{пр.м} = 0$ ;  $Q_{сл.м} = Q_{3м}$ ) и комбинированная неуравновешенная ( $Q_{0м}^{наг} 0,5 Q_m$ ;  $Q_{0м}^{выт} Q_m$ ;  $Q_{пр.м} = 0,5 Q_m - Q_{3м}$ ;  $Q_{сл.м} = 0$ ). Интенсивность водообмена рабочей емкости модели с внешней средой во всех схемах близка к  $Q_m = 1,546$  мл/с (расход загрязняющей жидкости  $Q_{3м}$  составлял около 6 % от  $Q_m$  и определяющего влияния на водообменный баланс не оказывал). Температура воды контролировалась термометром и поддерживалась в пределах 20 0,5 С.

Рабочий процесс экспериментальной установки обеспечивался циклическим воздействием водяных нагнетательных и вытяжных патрубков на очаги загрязнения (см. рис. 1). Полный модельный цикл воздействия продолжительностью  $t_{цм}$  при различных схемах состоял из четырех стадий (что соответствует количеству очагов загрязнения в модели) продолжительностью  $t_{ст.м} = t_{цм}/4$ . Каждая стадия цикла характеризовалась работой определенных патрубков, порядок включения которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

Водообменные схемы (расходы потоков, формирующих заданный водообмен $Q_m$ между емкостью и внешней средой)	Патрубки, используемые на различных стадиях цикла в течение времени $t_{ст.м} = t_{цм}/4$			
	1-я стадия	2-я стадия	3-я стадия	4-я стадия
Нагнетательная $Q_{0м}^{наг} 1,546$ мл/с; $Q_{сл.м} = 1,646$ мл/с; $Q_{3м} = 0,1$ мл/с)	H1+H4	H2+H3	H1+H4	H2+H3
Всасывающая $Q_{0м}^{выт} 1,546$ мл/с; $Q_{пр.м} = 1,446$ мл/с; $Q_{3м} = 0,1$ мл/с)	B2+B3	B1+B4	B2+B3	B1+B4
Комбинированная уравновешенная $Q_{0м}^{наг} Q_{0м}^{выт} 1,546$ мл/с; $Q_{сл.м} = 0,1$ мл/с; $Q_{3м} = 0,1$ мл/с)	H1+H4+B2+B3	H2+H3+B1+B4	H1+H4+B2+B3	H2+H3+B1+B4
Комбинированная неуравновешенная $Q_{0м}^{наг} 0,773$ мл/с; $Q_{0м}^{выт} 1,546$ мл/с; $Q_{пр.м} = 0,673$ мл/с; $Q_{3м} = 0,1$ мл/с)	H1+B2+B3	H2+B3+B4	H3+B1+B4	H4+B1+B2

Расчетные объемы водообмена при проведении опыта продолжительностью  $t_m = 2016$  с

Моделируемые схемы проветривания при $Q_{зм} = 0,1$ мл/с	Объем свежей воды, поступающей в рабочую емкость, мл		Объем загрязненной воды, удаляемой из рабочей емкости, мл	
	через нагнетательные патрубки	через верхнее приточное отверстие	через вытяжные патрубки	через верхнее сливное отверстие
Нагнетательная	3116,7	0	0	3318,3
Всасывающая	0	2915,1	3116,7	0
Комбинированная уравновешенная	3116,7	0	3116,7	201,6
Комбинированная неуравновешенная	1558,3	1356,8	3116,7	0

Для определения временных параметров воздействия на очаги загрязнения  $t_{цм}$  и  $t_{ст.м}$ , связанных со вторым фактором моделируемого процесса, использовался критерий гомохронности Струхалия (St), который регламентирует равенство отношений следующих параметров двух подобных нестационарных гидродинамических явлений:

$$\frac{u_{он} t_{цн}}{L_n} St_n St_m \frac{u_{ом} t_{цм}}{L_m}, \quad (1)$$

где  $u_0$  – средняя скорость потока в начальном сечении трубы, м/с.

При  $L_n/L_m = M_L$  и  $u_{он}/u_{ом} = \sqrt{M_L}$  из (1) продолжительность одного модельного цикла рассчитывалась по формуле

$$t_{цм} = t_{цн} / \sqrt{M_L}, \text{ с.} \quad (2)$$

В опытах исследовались варианты, при которых вентиляционные средства в карьере осуществляют 3, 6 и 12 циклов проветривания в течение суток (86400 с). Продолжительность натуральных циклов  $t_{цн}$  составила 28800, 14400 и 7200 с, а модельных  $t_{цм}$  (рассчитанных по уравнению (2) и округленных до целых, кратных количеству стадий, значений) – 672, 336 и 168 с. Соответственно длительность стадий в модели составила  $t_{ст.м} = 168, 84$  и  $42$  с. Продолжительность условных суток  $t_m = 2016$  с, продолжительность подачи загрязнителя  $t_{зм} + t_m + t_{фон.м} = 2016 + 25 = 2041$  с (за это время в рабочую емкость модели поступало 204,1 мл водного раствора сульфата меди, содержащего 4490 мг  $\text{CuSO}_4$ ). Здесь  $t_{фон.м}$  – продолжительность подачи сульфата меди, необходимая для создания фонового загрязнения.

Параметры процессов, моделирующих искусственный воздухообмен атмосферы карьера с внешней средой, приведены в табл. 2, а результаты исследований – в табл. 3.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований водообменных схем

№ опыта	Схема водообмена	Количество циклов за усл. сутки	Концентрация $\text{Cu}^{2+}/\text{CuSO}_4$ , мг/дм <sup>3</sup>		Фактический объем слива, дм <sup>3</sup>	Фактическое количество $\text{CuSO}_4$ , мг			Коэффициент выноса $\text{CuSO}_4$ , %
			в сливе	в рабочей емкости		в сливе	в рабочей емкости	суммарное	
1	Нагнетательная	3	13,6/34,1	68,2/171,2	3,635	124,0	4280,0	4404,0	2,8
2		6	17,4/43,7	67,8/170,2	3,485	152,3	4255,0	4407,3	3,5
3		12	18,7/46,9	67,9/170,4	3,385	158,8	4260,0	4418,8	3,6
4	Всасывающая	3	147,0/369,0	50,9/127,8	3,250	1170,7	3195,0	4365,7	26,8
5		6	161,4/405,1	47,0/118,0	3,395	1375,3	2950,0	4325,3	31,8
6		12	188,4/472,9	47,4/119,0	3,185	1506,2	2975,0	4481,2	33,6
7	Комбинированная уравновешенная	3	72,8/182,7	59,8/150,1	3,485	636,7	3752,5	4389,2	14,5
8		6	79,2/198,8	58,0/145,6	3,575	710,7	3640,0	4350,7	16,3
9		12	64,7/162,4	60,0/150,6	3,495	567,6	3765,0	4332,6	13,1
10	Комбинированная неуравновешенная	3	126,9/318,5	55,8/140,1	2,850	907,7	3502,5	4410,2	20,6
11		6	143,5/360,2	53,1/133,3	3,115	1122,0	3332,5	4454,5	25,2
12		12	117,6/295,2	57,1/143,3	2,940	867,9	3582,5	4450,4	19,5

Анализ результатов исследований показал следующее. Во-первых, при общеобменном трубопроводном проветривании глубоких карьеров наиболее эффективное удаление загрязнений наблюдается при всасывающей схеме, которая для рассмотренных условий физической модели обеспечивает коэффициент выноса вредных веществ в пределах 26,8...33,6 %. Несколько ниже эти показатели у комбинированной неуравновешенной (19,5...25,2 %) и комбинированной уравновешенной (13,1...16,3 %) схем. Наименее эффективной (в 9,3 раза) оказалась нагнетательная схема (вынос  $\text{CuSO}_4$  составил 2,8...3,6 %). Во-вторых, при всасывающих схемах концентрация загрязняющих веществ у источников их образования (т.е. там, где находятся люди) остается весьма значительной (рис. 3, см. 3-ю стр. обложки) и может быть существенно снижена лишь при подаче свежего воздуха.

Поэтому наиболее приемлемой для глубоких карьеров является комбинированная схема трубопроводного проветривания (рис. 4, см. 3-ю стр. обложки), при которой всасывающие ТВС удаляют вредные вещества за пределы выработанного пространства, а нагнетательные ТВС разгоняют их остатки по всему объему карьерного бассейна с последующим их вытеснением через верхнее сечение карьера.

## Выводы

Созданная на основе теории подобия физическая модель трубопроводного вентиляционного комплекса показала, что она является работоспособной и адекватно отражает основные процессы искусственного воздухообмена в натурном карьере. Выполненные опыты позволили подтвердить теоретическое положение о том, что комбинированная схема трубопроводного проветривания является оптимальной для создания благоприятных условий в очагах загрязнения и выноса вредных веществ за пределы глубоких и сверхглубоких карьеров.

## Список литературы

1. Морин А.С. Технология проветривания глубоких и сверхглубоких карьеров. М.: МАКС Пресс, 2006, 160 с.
2. Алоян А.Е., Бакланов А.А., Битколов Н.З., Вассерман А.Д., Зорин А.В., Иванова Л.И., Луковский В.Д., Пененко В.В. Нормализация атмосферных глубоких карьеров. Л.: Наука, 1986. 296 с.
3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.: Физматгиз, 1960. 624 с.

## ИНФОРМАЦИЯ

21–22 мая 2008 года в Санкт-Петербурге состоялась IV Международная научно-практическая конференция "Перспективы создания и развития горной техники ИЗ-КАРТЭКС (группа ОМЗ)".

В конференции приняли участие специалисты из пяти стран: России, Белоруссии, Украины, Казахстана и Узбекистана. Это топ-менеджеры ведущих горно-добывающих компаний РФ и СНГ, производители горного и транспортного оборудования, представители проектных институтов-проектировщиков горно-добывающих предприятий, ученые и практики горного дела (см. также 4-ю стр. обложки).

Конференция была посвящена развитию продуктовой линейки ИЗ-КАРТЭКС и производству экскаваторов большой единичной мощности (с ковшами вместимостью до  $55 \text{ м}^3$ ), обоснованию рациональных экскаваторно-автомобильных комплексов, сервисной политике компании и проблемам эксплуатации горной техники на карьерах и разрезах РФ и СНГ.

Подробная информация о конференции будет дана в одном из ближайших номеров журнала.

**Владимир Иванович ГЕРОНТЬЕВ  
(27.10(09.11.н.с.) 1889–22.02.1966)**



Геронтьев Владимир Иванович – горный инженер, горный генеральный директор III ранга, профессор, д-р техн. наук, основатель и заведующий кафедрой "Рудничный транспорт" (1937–1964 г.), заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Родился в 1889 г. в г. Сызрань в семье священника. По окончании школы поступил в 1910 г. на 1-й курс физико-математического факультета Казанского университета, а в 1911 г. поступил в Петербургский горный институт, который окончил в 1918 г.

После окончания горного института с 1920 по 1922 г. работал на шахтах Кизеловского угольного бассейна в должностях заведующего шахтой, заведующего группой угольных шахт. В 1922–1926 гг. – заведующий шахтой, заведующий горными работами в Рутченковском рудоуправлении. В 1926 г. перешел на работу в Брянское рудоуправление, где до 1928 г. работал в должности заведующего горными работами. В 1928–1929 гг. работал в Донбассе, где возглавлял крупнейший в бассейне Щегловский рудник. В 1929 г. приказом Наркома тяжелой промышленности был направлен в Ленинград для организации института по проектированию шахт ("Ленгипрошахт") и стал его первым главным инженером, а затем управляющим этого института, который он возглавлял по 1936 г. Под руководством В.И. Геронтьева и при его личном участии были разработаны рабочие проекты первых механизированных шахт Подмосковского бассейна, Урала, Карагандинского угольного бассейна, Донбасса, Воркуты, Шпицбергена, Кузбасса и ряда других. С 1929 г. В.И. Геронтьев по совместительству работает в Ленинградском горном институте, в котором он в 1930 г. приказом был назначен профессором и заведующим кафедрой механизации горных работ. В 1931 г. он возглавил объединенную кафедру разработки пластовых месторождений и специальных статей горного дела. В 1937 г. полностью перешел на работу в горный институт и после разделения кафедры механизации горных работ возглавил кафедру рудничного транспорта, заведующим которой он был до 1964 г.

В годы Великой Отечественной войны он находился в Свердловске и Москве, по совместительству работая старшим научным сотрудником ИГД АН СССР (1941–1944 гг.), членом комиссии АН СССР по мобилизации ресурсов промышленности на нужды обороны. После войны в 1945 г. В.И. Геронтьев защитил докторскую диссертацию, посвя-

шенную механизации работ по закладке выработанного пространства угольных шахт.

Как один из крупнейших специалистов в области механизации горных работ он привлекается для работ (1946–1948 гг.) в Совет АН СССР по изучению производительных сил, принимал активное участие в работах по восстановлению шахт Донбасса, являясь председателем комиссии по отбору для восстановления шахт 2-й очереди. В эти же годы он входит в состав техсовета Минуглепрома восточных районов СССР.

Научная деятельность В.И. Геронтьева была посвящена решению актуальных проблем механизации горных работ и, в первую очередь, рудничного транспорта, а в последние годы его жизни – гидромеханизации горных работ. Им опубликовано более 70 научных работ, в том числе монография "Методы закладки выработанного пространства", учебник "Рудничный транспорт", выдержавший два издания и являвшийся настольной книгой для нескольких поколений горных инженеров-механиков. Он, используя свой богатый производственный опыт, внес большой вклад в формирование учебных курсов по рудничному транспорту, транспорту на обогатительных фабриках. В.И. Геронтьевым были подготовлены несколько десятков кандидатов и докторов наук, из числа которых пополнился преподавательский коллектив кафедры. Научную, преподавательскую и производственную работу он сочетал с активной общественной деятельностью.

Долгое время он возглавлял Ленинградское отделение Всесоюзного инженерно-технического горного общества. Производственная, научная, педагогическая и общественная деятельность В.И. Геронтьева отмечена высокими государственными наградами: орденами Ленина, Трудового Красного знамени, Знаком Почета и медалью за доблестный труд.

*Основные труды:* "Методы закладки выработанного пространства" (1948 г.), "Рудничный транспорт" (1957 г., 1962 г.).

Подготовил д-р техн. наук, проф. *С.Л. Иванов*, СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова

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 20.05.08 г. Подписано в печать 25.06.08 г. Формат 60 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 8,50. Заказ 683. 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.