

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

6
2013

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ИВАНОВ С.Л.
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И.
(сопредседатель)
ТРУБЕЦКОЙ К.Н.
(сопредседатель)
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.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КУЛАГИН В.П.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗNER Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я.
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ТРИФАНОВ Г.Д.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА О.В.
ДАНИЛИНА И.С.
Телефоны редакции:
(499) 269-53-97, 269-55-10
Факс (499) 269-55-10
E-mail: gma@novtex.ru
http://novtex.ru/gormash

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

Зырянов И. В., Головизин Л. И., Решетников С. В., Цымбалова А. И. Нормы расходования средств на запасные части для технического обслуживания и ремонта автосамосвалов CAT-777 в условиях Нюрбинского ГОКа 2

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

Бельский А. А. Оценка влияния параметров ветроэлектрической установки на эффективность энергообеспечения геологоразведочных работ 7

ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ

Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Оценка технического уровня добычи угля открытым способом 14

Глебов А. В., Репин Л. А. Оценка эффективности применения мехлопат и гидравлических экскаваторов в условиях Кузбасса 20

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Островский М. С., Масляков Н. С. Новый подход к созданию гибкой технологии производства запасных частей для самообеспечения горных предприятий 23

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

Воронова Э. Ю., Антипов Ю. В. Опыт создания и развитие агрегатированных проходческих систем для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок 30

Лагунова Ю. А. Основные тезисы III Международной научно-практической конференции "Техгормет—21 век" 37

ОБОГАТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Петухов А. Н., Каратунов В. Ю., Еремеев И. В. Противоточный сепаратор для обогащения мелких классов угля (0...3 мм) 46

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, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 622.684:629.622.271

И. В. Зырянов, д-р техн. наук, зам. директора по науке, **Л. И. Головизин**², нач. транспортного отдела, **С. В. Решетников**¹, инж., **А. И. Цымбалова**¹, науч. сотр.

¹ Институт Якутнипроалмаз АК "АЛРОСА", г. Мирный

² Нюрбинский ГОК АК "АЛРОСА", г. Мирный

E-mail: ZyryanovIV@alrosa.ru

Нормы расходования средств на запасные части для технического обслуживания и ремонта автосамосвалов CAT-777 в условиях Нюрбинского ГОКа

Дано обоснование и определены этапы разработки норм расходования запасных частей для планирования проведения ТО и ремонта самосвалов CAT-777 с учетом нормативного срока их службы. При этом учитывалось, что в Нюрбинском ГОКе планирование затрат на запасные части для проведения ТО и ремонта самосвалов CAT-777 происходит исходя из фактической и прогнозной наработки агрегатов на основании опыта технического обслуживания и ремонта. Нормативный пробег до списания автомобилей увеличен с 700 до 800 тыс. км и планируется ввод в эксплуатацию новой модификации CAT-777G.

В результате проведенных исследований установлена динамика технико-эксплуатационных показателей работы подвижного состава, определены фактические и расчетные расходы на материально-технические ресурсы за весь срок эксплуатации автомобилей и разработаны нормы расходования средств на запасные части для технического обслуживания и ремонта самосвалов CAT-777 с учетом нормативного срока их службы.

Ключевые слова: карьерный самосвал, текущий ремонт, капитальный ремонт, техническое обслуживание, нормы расходования средств на запасные части.

I. V. Zyryanov, L. I. Golovizin, S. V. Reshetnikov, A. I. Tsymbalova

Rates of Expenditures on Spare Parts for Maintenance and Repair of Dump Trucks CAT-777 in Conditions of Nyurbinsky GOK

The manuscript expounds substantiation and stages of spare capacity rates development for planning maintenance and repair of dump trucks CAT-777 with consideration of their rated resource. At present planning expenditures on spare parts for maintenance and repair of dump trucks CAT-777 in Nyurbinsky GOK takes place in terms of actual and forecast running hours of aggregates basing on experience in maintenance and repair. Know-how of operation and repair of trucks, changing mining-technical conditions of work, extension of normative run of trucks before retirement from 700 000 to 800 000 km, planning of bringing new modification CAT-777G into operation, pre-determined relevance and necessity of investigation and development of expenditure rates on maintenance and repair of CAT-777 trucks in conditions of Nyurbinsky GOK, considering their rated resource.

As a result of carried out research dynamics of technical-operational performance of mobile fleet was established, actual and estimated expenses on material-technical resource for the whole operation life of trucks were determined and rates of expenditures on spare parts for maintenance and repair of CAT-777 trucks were worked out, with consideration of their normative service life. By forecast assessments compliance of these rates in the course of the trucks' service life will provide technical readiness coefficient value at the level of 0,85.

Keywords: mine dump truck, current repairs, general overhaul, maintenance, rates of expenditures on spare parts.

Одной из приоритетных задач, направленных на повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта на горно-добывающих предприятиях, является поддержание исправного технического состояния карьерных самосвалов.

Анализ механизма влияния эксплуатационных расходов на показатель "коэффициент технической готовности" автомобилей позволяет более точно спрогнозировать на перспективу затраты на запасные части для проведения ТО и ремонта и тем

самым обеспечить рациональное потребление материально-технических ресурсов подвижным составом.

Для транспортирования горной массы в Нюрбинском ГОКе "АК АЛРОСА" (ОАО) используют самосвалы САТ-777D и САТ-777F грузоподъемностью 91 т, общее списочное число которых составляет 30 ед. Согласно графику поступления—списания машин планируется ввод в эксплуатацию 12 ед. новых САТ-777G.

С начала разработки карьера "Нюрбинский" в 2000 г. горно-технические условия эксплуатации транспортных систем на предприятии подверглись существенным изменениям. Так, например, к 2013 г. ожидаемая глубина карьера достигнет 250 м, а расстояние транспортирования составит около 3,5 км. Изменение условий работы, накапливаемый опыт эксплуатации, повышение технического уровня самосвалов и другие факторы требуют новых подходов к обеспечению устойчивого функционирования технологического транспорта, особенно в районах Крайнего Севера.

В 2002 г. срок службы самосвалов САТ-777 был установлен специалистами института "Якутнипроалмаз" 7 лет при пробеге не менее 500 тыс. км. Учитывая, что ожидаемый нормативный пробег до списания автомобилей на тот момент составлял 700 тыс. км, нормы расхода запасных частей были установлены для двух сроков службы машин: 500 и 700 тыс. км. В 2006 г. накопленный опыт эксплуатации позволил рекомендовать срок полезного применения самосвалов на уровне 10 лет при пробеге не менее 700 тыс. км. В 2012 г. срок полезного применения машин был пересмотрен и составил 13 лет при пробеге не менее 800 тыс. км.

В настоящее время изменение срока службы машин, накопленный опыт их эксплуатации, изменяющиеся горно-технические условия работы и планирование ввода в эксплуатацию новой модификации САТ-777G предопределили необходимость разработки норм расходования запасных частей для планирования проведения ТО и ремонта самосвалов САТ-777 с учетом нормативного срока их службы. В связи с этим в 2012 г. специалистами Компании проведена работа по разработке норм расходования средств самосвалами САТ-777 Нюрбинского ГОКа. В рамках данной работы установлена динамика фактических технико-эксплуатационных показателей работы само-

свалов в зависимости от их "возраста", обработаны данные по долговечности основных узлов и агрегатов, а также определены фактические и расчетные расходы на запасные части. Отсутствие опыта эксплуатации САТ-777G послужило предпосылкой к разработке прогнозных норм для самосвалов данной модификации.

На рис. 1 представлен график динамики фактического значения коэффициента технической готовности (КТГ) в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777 за период с 2001 по 2013 гг. (данные за 2013 г. — прогнозные).

Как видно на рисунке, показатель КТГ за анализируемый период имеет тенденцию снижения с 0,91 до 0,85 ед. (на 6,6 %) при минимальном значении 0,66 в 2010 г. На величину КТГ сильное воздействие оказала экономическая обстановка в 2009 г., которая вызвала дефицит запасных частей, что соответственно привело к низким показателям в период с 2009 по 2011 гг.

Фактическое значение годового пробега в зависимости от возраста одного среднесписочного самосвала САТ-777 с 2000 по 2013 гг. увеличилось с 45,1 до 79,7 тыс. км (в 1,8 раза) при максимальной величине 86,3 тыс. км в 2012 г. Подобный рост показателя связан с отсутствием достаточного фронта работ автотранспорта за первые 3—4 года применения машин, характеризующегося начальной стадией становления предприятия (рис. 2).

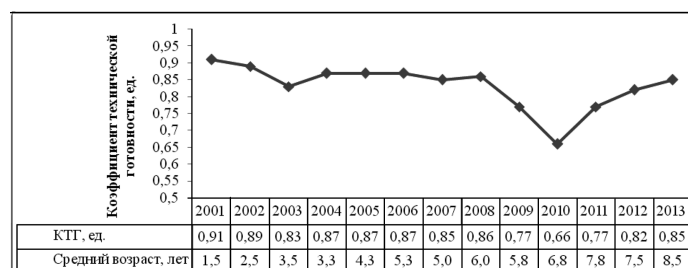


Рис. 1. Динамика фактического значения КТГ в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777

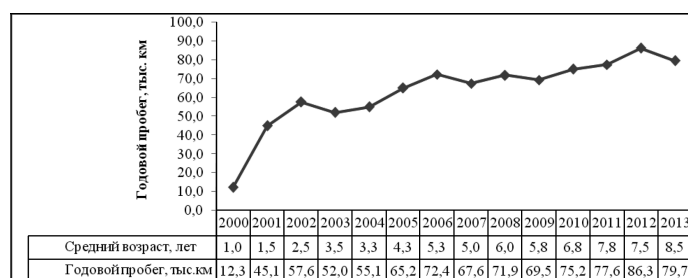


Рис. 2. Динамика фактического значения годового пробега в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777

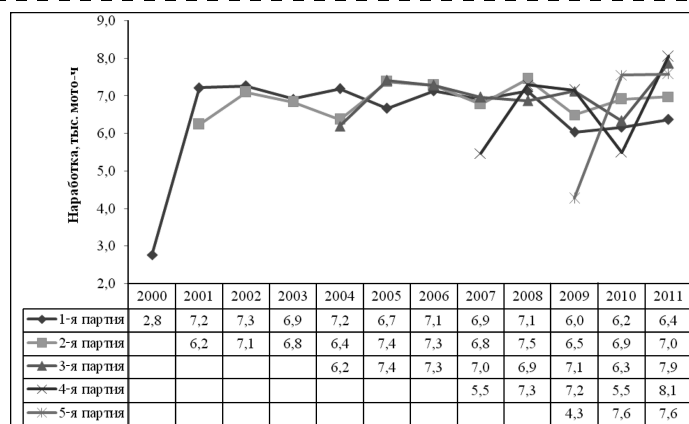


Рис. 3. Динамика фактической годовой наработки одного среднесписочного самосвала CAT-777 разных партий*

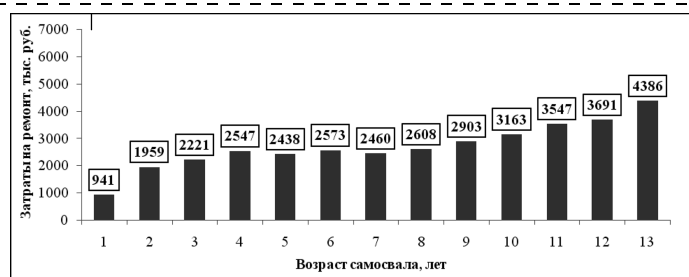


Рис. 4. Динамика затрат на текущий ремонт в зависимости от возраста одного среднесписочного CAT-777

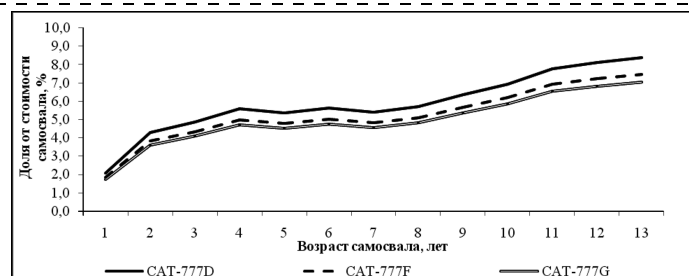


Рис. 5. Динамика затрат на текущий ремонт в зависимости от возраста одного среднесписочного CAT-777D, CAT-777F и CAT-777G в % от стоимости самосвала

Таблица 1

Средние показатели наработки основных узлов и агрегатов до КР одного среднесписочного самосвала CAT-777

Основные узлы	КР-1, тыс. мото-ч		КР-2, тыс. мото-ч		КР-3, тыс. мото-ч	
	CAT-777D (факт)	CAT-777F (факт)	CAT-777D (факт)	CAT-777F (прогноз*)	CAT-777D (факт)	CAT-777F (прогноз*)
ДВС	22	20	22	20	22	20
ГТ	22	19	22	19	22	19
КП	22	19	22	19	22	19
БП	22	20	22	20	22	20

Примечание: ДВС — двигатель внутреннего сгорания; ГТ — гидротрансформатор; КП — коробка передач (трансмиссия); БП — бортовая передача.
* Прогноз составлен на основании фактических данных CAT-777D.

* Состав партий и сроки поставки см. статью "Продление сроков службы карьерных автосамосвалов CAT-777 различных модификаций в условиях Нюрбинского ГОКа" в № 5 журнала.

Динамика среднегодовой наработки самосвалов CAT-777D первой партии (5 ед. 2000 г. ввода в эксплуатацию), CAT-777D второй партии (5 ед. 2001 г.), CAT-777D третьей партии (5 ед. 2004 г.), CAT-777F четвертой партии (5 ед. 2007 г.) и CAT-777F пятой партии (4 ед. 2009 г.) представлена на рис. 3. В целом за срок эксплуатации самосвалов данный показатель находится на стабильном среднем уровне 6,5 тыс. мото-ч.

В целях определения норм расходования запасных частей самосвалами проведены сбор и обработка данных о фактическом расходе материально-технических ресурсов в условиях Нюрбинского ГОКа. Обработка данных выполнена по статьям затрат на текущий ремонт (внеплановый), капитальный ремонт основных узлов и агрегатов и техническое обслуживание [1].

На рис. 4 представлен график динамики затрат на проведение текущего ремонта в зависимости от возраста одного среднесписочного CAT-777. Расходы на проведение ремонта определены расчетным методом на основании фактических данных парка самосвалов. Учитывая одинаковый модельный ряд и аналогичный класс грузоподъемности, затраты на данный вид ремонта приняты для всех модификаций автомобилей аналогичными. На рис. 5 представлены графики затрат на данный вид ремонта, выраженные в % от стоимости самосвалов.

Для определения динамики затрат на капитальный ремонт основных агрегатов в зависимости от возраста одного среднесписочного самосвала CAT-777 выполнен сбор данных о долговечности базовых узлов, стоимости новых узлов и ремонтных комплектов для их восстановления. Средние показатели наработки основных узлов до капитального ремонта (КР) представлены в табл. 1.

На основе имеющейся информации по долговечности и стоимости основных узлов и агрегатов построены графики динамики расчетных затрат на проведение данного вида ремонта в зависимости от возраста одного среднесписочного CAT-777, выраженные в тыс. руб. и в % от стоимости самосвалов (рис. 6 и 7).

Опыт технического обслуживания и ремонта автомобилей в условиях Нюрбин-

ского ГОКа показал, что проведение более двух ремонтных воздействий на одном агрегате (ДВС, ГТ, КП и БП) самосвалов САТ-777 нецелесообразно, поэтому при наступлении третьего капитального ремонта следует замена старых узлов на новые.

Как видно на графиках, максимальные затраты за весь срок службы самосвалов приходятся на замену отработавших свой ресурс узлов на новые на 8...10 год работы. При этом затраты на ремонт и приобретение основных агрегатов машин разных модификаций неодинаковы, что в первую очередь объясняется их различной наработкой до капитального ремонта (см. табл. 1), а также отличием моделей ДВС (САТ-777D — серии 3508, САТ-777F — серии С32).

Среднегодовая стоимость проведения технического обслуживания одного среднесписочного САТ-777 составляет около 107,4 тыс. руб. (в ценах 2012 г. с НДС 18 %, без учета таможенных сборов) и остается неизменной на протяжении всего срока эксплуатации машин.

Фактические и расчетные данные по затратам на проведение ТО и ремонта машин позволили определить динамику суммарных расходов в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777D, САТ-777F и САТ-777G (рис. 8 и 9). Общие затраты включают в себя расходы на проведение текущего ремонта, капитального ремонта основных узлов и технического обслуживания машин.

Таким образом, суммарные затраты на ТО и ремонт самосвалов имеют тенденцию постепенного роста, с максимальными значениями, приходящимися на момент проведения капитального ремонта основных узлов и агрегатов.

На основании исходных данных о потребности в запасных частях, долговечности основных узлов и агрегатов, динамике фактических технико-эксплуатационных показателей работы в зависимости от возраста самосвалов и фактического расхода запасных частей были установлены уточненные дифференцированные нормы расходования средств для планирования проведения ТО и ремонта автосамосвалов САТ-777 в условиях Нюрбинского ГОКа с учетом нормативного срока их службы (табл. 2).

Показатели наработки и пробега одного среднесписочного самосвала САТ-777D с 1-го по 8-й год приняты по факту, с 9-го по 13-й год — расчетные. Аналогичные показатели са-

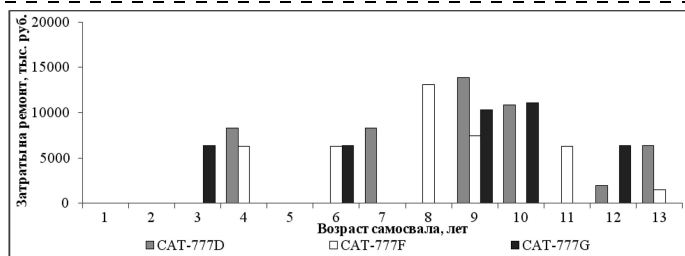


Рис. 6. Динамика расчетных затрат на проведение КР основных узлов и агрегатов в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777D, САТ-777F и САТ-777G

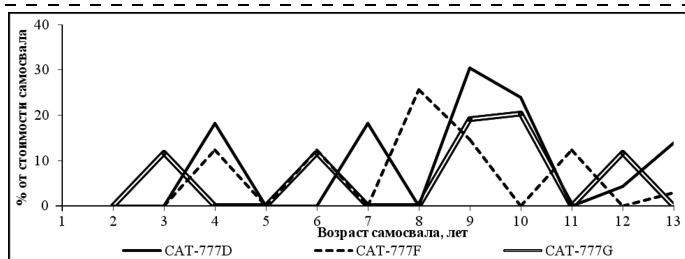


Рис. 7. Динамика расчетных затрат на проведение КР основных узлов и агрегатов в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777D, САТ-777F и САТ-777G в % от стоимости самосвалов

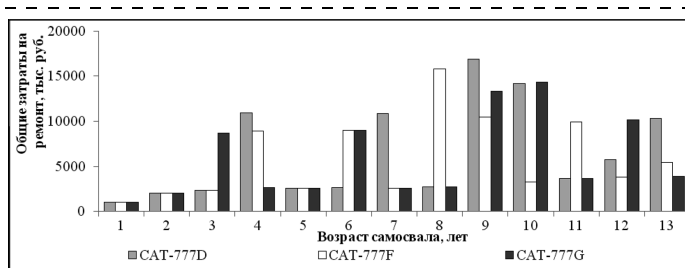


Рис. 8. Динамика общих затрат на проведение ТО и ремонта в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777D, САТ-777F и САТ-777G

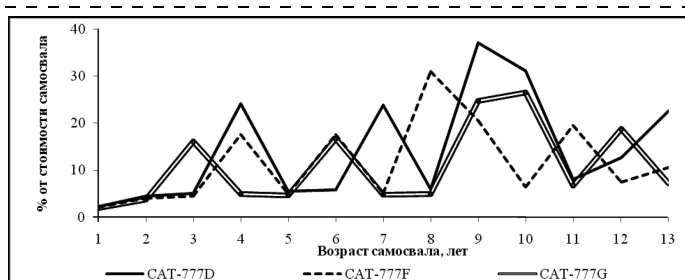


Рис. 9. Динамика общих затрат на проведение ТО и ремонта в зависимости от возраста одного среднесписочного САТ-777D, САТ-777F и САТ-777G в % от стоимости самосвалов

мосвала САТ-777F за первые 5 лет эксплуатации приняты по факту, с 5-го по 13-й год — расчетные.

Нормы расходования средств для планирования проведения ТО и ремонта для самосвалов САТ-777 составлены следующим образом:

в начальный период времени (1...3 год), когда машина новая, запасные части необходимы в минимальном объеме для проведения ТО и непланового текущего ремонта в незначительном объеме. Крупные отказы уст-

Таблица 2

**Уточненные дифференцированные нормы расходования средств
для планирования проведения ТО и ремонта автосамосвалов САТ-777**

Срок эксплуата- ции, лет	КТГ, ед. (про- гноз)	CAT-777D		CAT-777F		CAT-777G	
		Наработ- ка, тыс. мото-ч	Нор- ма, %*	Наработ- ка, тыс. мото-ч	Нор- ма, %*	Наработ- ка, тыс. мото-ч	Нор- ма, %*
0...1	0,91	0...5,0	2,3	0...5,5	2,1	0...7,0	1,9
1...2		5,0...12,0	4,5	5,5...12,8	4,0	7,0...13,5	3,8
2...3		12,0...18,5	5,1	12,8...18,5	4,6	13,5...20,0	16,0
3...4	0,85	18,5...25,2	24,1	18,5...25,0	17,5	20,0...26,5	4,9
4...5		25,2...31,8	5,6	25,0...32,4	5,0	26,5...33,0	4,7
5...6		31,8...38,4	5,9	32,4...39,7	17,1	33,0...39,5	16,7
6...7		38,4...45,3	23,9	39,7...46,9	5,0	39,5...46,0	4,7
7...8		45,3...51,2	6,0	46,9...53,5	30,9	46,0...52,5	5,0
8...9		51,2...58,2	37,0	53,5...60,0	20,5	52,5...59,0	24,7
9...10		58,2...64,4	31,1	60,0...66,1	6,4	59,0...65,5	26,5
10...11	0,81	64,4...70,4	8,0	66,1...72,3	7,2	65,5...72,0	6,8
11...12		70,4...76,1	8,3	72,3...78,1	7,4	72,0...78,0	7,0
12...13		76,1...81,5	8,6	78,1...83,8	7,7	78,0...83,5	7,2
Всего, %		170,4		135,4		129,9	
Среднее в год, %		13,1		10,4		10,0	
* % от стоимости самосвала.							

Таблица 3

Потребность в запасных частях для проведения ТО и ремонта одного среднесписочного самосвала САТ-777 (доля от общих затрат)

Направление потребления	САТ-777D	САТ-777F	САТ-777G
Техническое обслуживание, %	2	2	2
Текущий ремонт (внеплановый), %	39	44	45
Капитальный ремонт основных узлов и агрегатов, %	59	54	53
Итого, %	100	100	100

раняются по гарантийным обязательствам за счет фирмы-изготовителя. Прогнозная величина КТГ находится на уровне 0,91;

в средний период (4...10 год) основной объем средств потребляется для проведения капитальных ремонтов агрегатов и узлов, которым соответствуют пиковые значения норм расхода запасных частей. Прогнозная величина КТГ находится на уровне 0,85;

в заключительный период (11...13 год), когда машина приближается к моменту списания, капитальные ремонты не планируются, агрегаты дорабатывают свой ресурс и запасные части планируются только на ТО и внеплановый текущий ремонт, объемы которого возрастают. Прогнозная величина КТГ находится на уровне 0,81.

Укрупненная (расчетная) потребность в запасных частях по направлениям расходования за срок службы 13 лет при пробеге не менее 800 тыс. км представлена в табл. 3.

Анализ потребности в запасных частях для проведения ремонта за установленный нормативный

срок службы машины показал, что основная доля из общих затрат одного среднесписочного самосвала приходится на проведение ремонта базовых агрегатов автомобиля: дизельного двигателя, гидротрансформатора, трансмиссии и бортовых передач. На втором месте — проведение текущего ремонта. Таким образом, большее внимание при эксплуатации самосвалов САТ-777 в условиях Нюрбинского ГОКа должно уделяться повышению ресурса, наработки на отказ и качеству ремонта основных узлов и агрегатов.

В настоящее время в Нюрбинском ГОКе используется агрегатно-узловой метод ремонта автотранспорта. Имеется оборотный фонд, состоящий из ранее капитально отремонтированных агрегатов и узлов. Использование разработанных норм расхода запасных частей позволит использовать преимущества агрегатно-узловой метода ремонта через оборотный фонд, повысить наработку на отказ отдельных агрегатов, узлов и автомобилей в целом, и следовательно, увеличить производительность парка машин.

При планировании расходования денежных средств и поставок запасных частей для проведения ТО и ремонта следует обязательно учитывать время: оплаты контрактов, доставки запасных частей, растаможивания грузов и прочие задержки, обуславливающие период между планированием расходов и фактическим

поступлением материальных ценностей на склады и ремонтные участки. Значительные периоды задержки при потребности в запасных частях могут привести к неплановым простоям техники.

Ежегодные затраты на проведение ТО и ремонта согласно разработанным нормам находятся на уровне 10...13 % от стоимости одного среднесписочного САТ-777 в зависимости от его модификации. По прогнозным оценкам соблюдение данных норм в течение срока службы самосвалов обеспечит величину КТГ на уровне 0,85. Результаты работы позволяют оптимизировать нормы расходования средств для планирования проведения ТО и ремонта самосвалов САТ-777 с учетом нормативного срока их службы. Установленные нормы расходования средств рекомендованы к внедрению и практическому применению в Нюрбинском ГОКе.

Список литературы

1. **Положение** о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ. Жодио, 2004. 45 с.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 620.9

А. А. Бельский, асп.,
НМСУ "Горный", г. Санкт-Петербург

E-mail: abelskij@gmail.com

Оценка влияния параметров ветроэлектрической установки на эффективность энергообеспечения геологоразведочных работ

Рассмотрены паспортные параметры ветроэлектрических установок (ВЭУ), влияющие на эффективность ее работы. Предложен алгоритм расчета годового количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ. Приведены рекомендации по выбору номинальных параметров ВЭУ для энергообеспечения ручных (переносных) буровых станков и комплексов для ведения геологоразведочных работ.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, эффективность, годовая выработка, номинальные (паспортные) параметры, геологоразведочные работы, ручные (переносные) буровые станки.

A. A. Belsky

Evaluation of a Wind Power Plant Parameters for the Efficiency of Energy Exploration Work

In article passport parameters of wind turbines are considered, which affect the working efficiency of wind turbines, the algorithm of calculation of annual quantity of the electric power developed by the wind turbine is offered. Recommendations about a choice of nominal parameters of wind turbines for power supply of manual (figurative) drilling rigs and complexes for conducting prospecting works are provided.

Keywords: wind turbine, wind power plant, efficiency, annual generation, nominal (passport) parameters, prospecting works, manual (figurative) drilling rigs.

Поддержание и увеличение балансовых (доказанных) запасов полезных ископаемых Российской Федерации требуют значительных финансовых затрат со стороны государства и частных компаний на проведение геологоразведочных работ (ГРП) по освоению месторождений в удаленных и труднодоступных районах РФ, большинство из которых расположены в регионах с суровыми климатическими условиями — Сибирь, Дальний Восток, Арктическое побережье, и относятся к зонам децентрализованного электроснабжения. При этом с учетом активного использования в качестве автономных источников электропитания дизельных электростанций (ДЭС) доля затрат на электроснабжение ГРП в этих условиях может достигать 20 % от общего финансирования [1]. Альтернативой ДЭС является применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Включение в схему энергообеспечения ГРП в качестве основного или дополнительного источника питания, собственной ветро-

энергетической электростанции (ВЭС) позволяет снизить топливную составляющую в себестоимости вырабатываемой электроэнергии, тем самым существенно снизить затраты на электроснабжение и повысить безопасность жизнедеятельности на объектах ГРП, включая рабочие поселки для геологов и их семей. Однако недостаточная разработанность методов обоснования экономической эффективности ветровых установок и выбора их основных параметров активно препятствует использованию ветровой энергии [2]. Таким образом, оценка и последующий выбор параметров ВЭУ, обеспечивающих максимальную эффективность работы ВЭУ в заданных ветровых условиях в составе систем энергообеспечения ГРП, представляют собой актуальную задачу.

В качестве критерия оценки эффективности работы различных ВЭУ выбрана годовая выработка электроэнергии, для расчета которой необходимы данные по повторяемости средних скоростей ветра

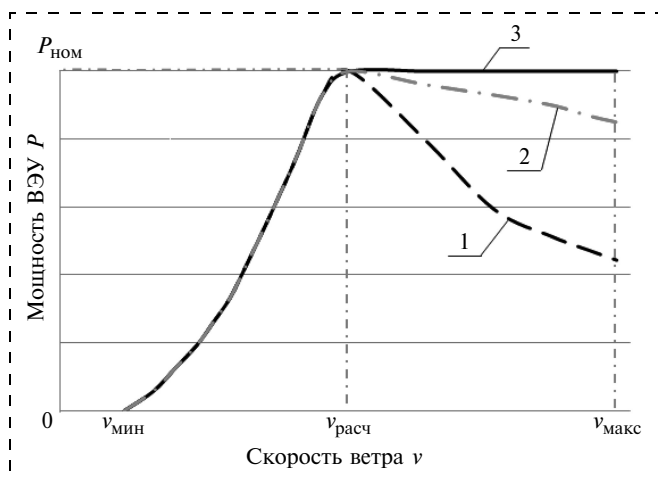


Рис. 1. Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра:

1 — мощность ВЭУ, регулируемая за счет вывода ветроколеса из-под ветра; 2 — мощность ВЭУ, регулируемая за счет срыва части потока воздуха с профиля лопасти; 3 — мощность ВЭУ, регулируемая за счет поворота лопасти около оси маха

в течение года и рабочая характеристика ВЭУ (зависимость мощности, развиваемой ВЭУ, от скорости ветра).

Вид рабочей характеристики ВЭУ определяется типом используемой системы регулирования мощности (рис. 1) и имеет ряд характерных точек, свойственных всем ВЭУ:

при минимальной скорости ветра $v_{\min}$ (2...5 м/с) ВЭУ начинает вырабатывать электроэнергию;

при расчетной скорости ветра $v_{\text{расч}}$ (8...16 м/с) ВЭУ развивает свою номинальную мощность $P_{\text{ном}}$;

при максимальной скорости ветра $v_{\text{макс}}$ (20...30 м/с) ВЭУ перестает генерировать электроэнергию, генератор установки отключается;

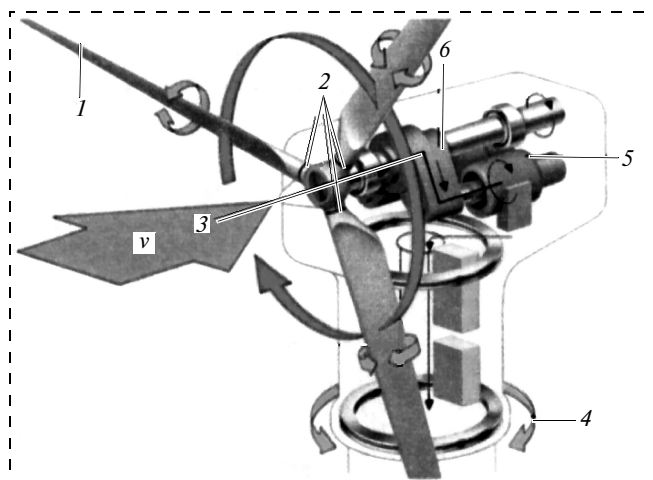


Рис. 2. Конструкция ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветроколеса:

1 — ветроколесо; 2 — система поворота лопастей (может отсутствовать); 3 — ступица ветроколеса, расположена на горизонтальной оси вращения (оси маха); 4 — система поворота гондолы, расположена на вертикальной оси вращения; 5 — генератор; 6 — мультипликатор (может отсутствовать)

при скорости ветра $v_{\text{ост}}$ (30...35 м/с) происходит полный останов вращения ветроколеса в целях снижения ветродинамических нагрузок на конструкцию ВЭУ.

При этом в диапазоне скоростей ветра от минимальной $v_{\min}$ до расчетной $v_{\text{расч}}$ регулирование не происходит. Регулирование ветродвигателя начинается при достижении потоком воздуха скорости выше расчетной $v_{\text{расч}}$.

Возможность реализации того или иного способа регулирования (ограничения) мощности (табл. 1) определяется конструктивными особенностями ВЭУ (рис. 2), а именно, наличием/отсутствием системы поворота лопастей 2, схемной реализацией систе-

Таблица 1

Способы (системы) регулирования (ограничения) мощности ВЭУ

Способ	Область применения	Принцип действия и реализации
Вывод ветроколеса из-под ветра	В основном применяется в ВЭУ малой мощности (до 100 кВт)	За счет поворота гондолы ВЭУ относительно вертикальной оси вращения происходит регулирование угла γ между направлением ветра и осью вращения ветроколеса (осью маха) от 0 до 90°, тем самым осуществляется изменение обдуваемой ветром ометаемой площади ветроколеса* от максимального значения до нуля. При этом мощность, развиваемая ВЭУ, изменяется пропорционально кубу косинуса угла γ поворота гондолы [3]. В настоящее время наибольшее распространение получили два способа вывода ветроколеса из-под ветра. Первый с использованием флюгера (хвоста) и установкой гондолы ВЭУ с некоторым эксцентриситетом относительно вертикальной оси ее вращения (башни), при этом за счет возникновения разности моментов сил, действующих на ветроколесо и хвост (флюгер), происходит поворот гондолы на некоторый угол γ в зависимости от скорости ветра. Второй с использованием электропривода поворота гондолы по сигналам от датчиков направления ветра
Срыв части потока воздуха с профиля лопасти	В основном применяется в ВЭУ средней и большой мощности (от 100 кВт)	За счет выполнения профиля лопасти изменяющимся вдоль радиуса специальным образом, начиная с некоторой скорости ветра, на периферии лопасти возникает срыв потока, охватывающий с ростом скорости ветра все большее расстояние, начиная от периферии лопасти в направлении к ступице ветроколеса. Наличие срыва воздуха уменьшает ометаемую площадь ветроколеса, тем самым уменьшает развиваемую ВЭУ мощность при увеличении скорости ветра
Поворот лопасти около оси маха	Применяется в ВЭУ любой мощности	За счет поворота лопасти около оси маха (оси вращения ветроколеса) изменяется ее наклон по отношению к ветру, тем самым меняется подъемная сила, а следовательно, и ее составляющая, действующая в направлении вращения ветроколеса

*Ометаемая площадь ветроколеса — геометрическая проекция площади ветроколеса на плоскость, перпендикулярную вектору скорости ветра.

мы поворота гондолы 4. Генерирование электроэнергии происходит за счет передачи крутящего момента вращения ветроколеса 1 через мультипликатор 6 на вал быстроходного генератора 5. Появление тихоходных многополюсных генераторов на постоянных магнитах сделало возможным применение прямого привода между ветроколесом и генератором.

В ходе проведенного исследования для построения среднестатистической рабочей характеристики малой ВЭУ (рис. 3) мощностью до 100 кВт были рассмотрены параметры более 20 серийно выпускаемых ветроагрегатов с системой регулирования мощности за счет вывода ветроколеса из-под ветра десятию фирмами различных стран-производителей. При этом характеристика 1 (рис. 3) определяет величину электрической мощности, развиваемой генератором ВЭУ при отсутствии турбулентности и порывов ветра. У современных ВЭУ система поворота гондолы обладает некоторой зоной нечувствительности к изменению направления ветра на $5...15^\circ$ от оси ветроколеса, тем самым снижая КПД ВЭУ на $10...20\%$. При дальнейшем расчете в качестве базовой зависимости мощности от скорости ветра выбрана характеристика 2 (см. рис. 3).

При выполнении расчетов мощность и вырабатываемое ВЭУ количество электроэнергии выражаются в относительных единицах (о. е.) и определяются выражениями $P^* = P_{\text{факт}}/P_{\text{ном}}$ и $W^* = W_{\text{факт}}/8760P_{\text{ном}}$ соответственно, где за базисную величину мощности ВЭУ принята номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, указанная в паспорте установки.

Известны различные виды аппроксимации рабочих характеристик ВЭУ. В данном исследовании аппроксимация ранее выбранной характеристики 2 на рис. 3 выполнялась двумя полиномиальными функциями второго порядка (1) с заданными начальными условиями (2), так как данный вид аппроксимации обеспечил точность свыше 95% :

$$P^*(v) = \begin{cases} P_1^*(v) = a_{12}v^2 + a_{10} & \text{при } v \leq v_{\text{расч}}; \\ P_2^*(v) = a_{22}v^2 + a_{21}v + a_{20} & \text{при } v_{\text{расч}} < v \leq v_{\text{макс}}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} P^*(v) &= 0 \text{ при } v = v_{\text{мин}}; \\ P^*(v) &= P_{\text{ном}}^* = 1 \text{ при } v = v_{\text{расч}}; \\ P^*(v) &= 0 \text{ при } v = v_{\text{ост}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где a_{12} , a_{10} и a_{22} , a_{21} , a_{20} — коэффициенты первого и второго полинома соответственно; v , $v_{\text{мин}}$, $v_{\text{расч}}$, $v_{\text{макс}}$, $v_{\text{ост}}$ — текущая, минимальная, расчетная, мак-

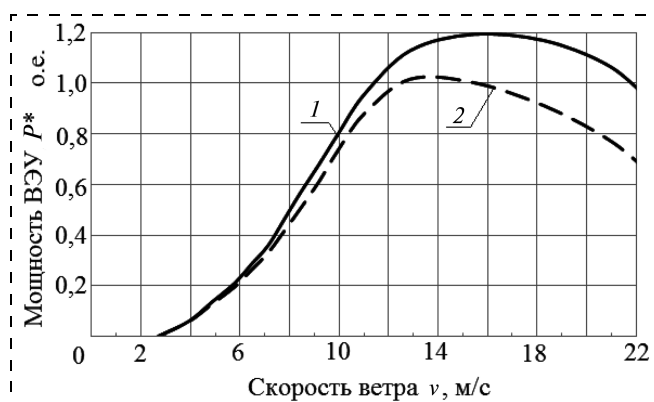


Рис. 3. Рабочие характеристики ВЭУ с системой регулирования (ограничения) мощности — вывод ветроколеса из-под ветра:

1 — работа ВЭУ при отсутствии турбулентности и порывов ветра; 2 — работа ВЭУ в реальных условиях с порывами ветра по скорости и направлению

симальная и остановочная скорости ветра соответственно, м/с.

Выражение (1) описывает рабочую характеристику ВЭУ с системой регулирования мощности за счет вывода ветроколеса из-под ветра, для иных систем регулирования — за счет срыва части потока воздуха с профиля лопасти и с использованием поворота лопасти около оси маха — рабочая характеристика ВЭУ описывается выражениями:

$$P^*(v) = \begin{cases} P_1^*(v) = a_{12}v^2 + a_{10} & \text{при } v \leq v_{\text{расч}}; \\ P_2^*(v) = 1 - \frac{3}{20} \frac{(v_{\text{расч}} - v)}{(v_{\text{расч}} - v_{\text{макс}})} & \text{при } v_{\text{расч}} < v \leq v_{\text{макс}}; \end{cases} \quad (3)$$

$$P^*(v) = \begin{cases} P_1^*(v) = a_{12}v^2 + a_{10} & \text{при } v \leq v_{\text{расч}}; \\ P_2^*(v) = 1 & \text{при } v_{\text{расч}} < v \leq v_{\text{макс}}. \end{cases} \quad (4)$$

Подставляя начальные условия (2) в выражение (1), получаем формулы для нахождения коэффициентов полиномов:

$$\begin{aligned} a_{12} &= \frac{1}{v_{\text{расч}}^2 - v_{\text{мин}}^2}; \\ a_{10} &= -v_{\text{мин}}^2 a_{12}; \\ a_{22} &= \frac{1}{v_{\text{расч}}^2 + v_{\text{расч}}\Omega - v_{\text{ост}}^2 - v_{\text{расч}}\Omega}; \\ a_{21} &= a_{22}\Omega; \\ a_{20} &= -(v_{\text{ост}}^2 a_{22} + v_{\text{ост}} a_{21}); \\ \Omega &= \frac{2(v_{\text{расч}}^2 - v_{\text{расч}}v_{\text{ост}})}{v_{\text{ост}} - v_{\text{расч}}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Расчетное количество электрической энергии, о. е., вырабатываемое ВЭУ за год, определяется по формуле:

$$W_{\text{расч}}^* = \frac{\int_{v_{\text{мин}}}^{v_{\text{расч}}} P_1^*(v)t(v)dv + \int_{v_{\text{расч}}}^{v_{\text{макс}}} P_2^*(v)t(v)dv}{8760} \cong$$

$$\cong \frac{\sum_{i=0}^n (P_1^*(v_{\text{мин}} + \Delta vi)t(v_{\text{мин}} + \Delta vi)) + \sum_{j=1}^m (P_2^*(v_{\text{расч}} + \Delta vj)t(v_{\text{расч}} + \Delta vj))}{8760} \quad (6)$$

при $n = \frac{v_{\text{расч}} - v_{\text{мин}}}{\Delta v}$; $m = \frac{v_{\text{макс}} - v_{\text{расч}}}{\Delta v}$,

где $P_1^*(v)$ — зависимость мощности ВЭУ, о. е., от скорости ветра из диапазона от минимальной $v_{\text{мин}}$ до расчетной $v_{\text{расч}}$; $P_2^*(v)$ — зависимость мощности ВЭУ, о. е., от скорости ветра из диапазона от расчетной $v_{\text{расч}}$ до максимальной $v_{\text{макс}}$; $t(v)$ — распределение повторяемости скоростей ветра в течение года, ч; Δv — интервал изменения скорости, м/с.

В качестве данных о повторяемости ветров в течение года были использованы зависимости числа часов действия различных скоростей ветра с интервалом изменения (Δv) 1 м/с в диапазоне от 0 до 24 м/с, полученные М. М. Поморцевым и А. Гулленом для различных среднегодовых скоростей ветра от 4 до 10 м/с с шагом 1 м/с, которые для многих районов РФ обеспечивают достаточную для практики точность энергобалансовых и экономических расчетов [3]. Согласно рекомендациям д-ра техн. наук, проф. Е. М. Фатеева следует, что зависимостями, полученными А. Гулленом, необходимо пользоваться при определении повторяемости скоростей ветра для районов со средними скоростями от 6 м/с и выше, а зависимости, полученные М. М. Поморцевым, дадут более точные значения повторяемости ветров для районов со средними скоростями ветра меньше 6 м/с [4].

На рис. 4 показаны зависимости значения годового количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ с регулированием мощности путем вывода ветроколеса из-под ветра, о. е., от расчетной скорости ветра, при различных среднегодовых скоростях ветра. На рис. 5 и 6 показаны годовые приращения количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ при различных среднегодовых скоростях ветра о. е., при использовании других систем (способов) регулирования (ограничения) мощности ВЭУ: за счет срыва части потока воздуха с профиля лопасти и поворота лопасти около оси маха соответственно. Сопоставление полученных результатов показывает, что характер зависимости годовой выработки ВЭУ, о. е., от расчетной

скорости ветра не зависит от используемой системы регулирования мощности ВЭУ.

Представленные на рис. 4—6 зависимости рассчитаны для ВЭУ со скоростями ветра $v_{\text{мин}} = 3$ м/с, $v_{\text{макс}} = 24$ м/с и $v_{\text{ост}} = 30...35$ м/с. Если $v_{\text{мин}} > 3$ м/с, а $v_{\text{макс}} < 24$ м/с, то объем годовой выработки элек-

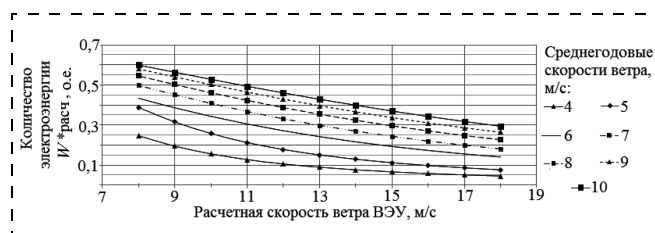


Рис. 4. Зависимость годового количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ, о. е., от расчетной и среднегодовой скорости ветра при регулировании мощности путем вывода ветроколеса из-под ветра

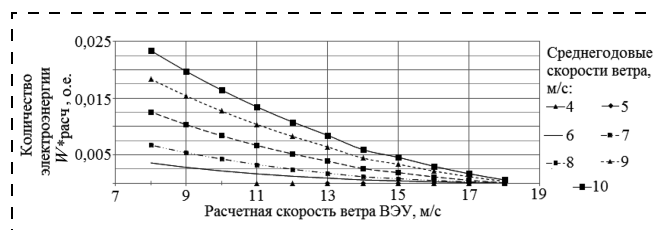


Рис. 5. Зависимость годового приращения количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ, о. е., от расчетной и среднегодовой скорости ветра при регулировании мощности за счет срыва части воздуха с профиля лопасти



Рис. 6. Зависимость годового приращения количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ, о. е., от расчетной и среднегодовой скорости ветра при регулировании мощности за счет поворота лопасти около оси маха

троэнергии ВЭУ можно скорректировать, используя формулы:

$$\delta W_{\min} = \frac{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} P_1^*(v)t(v)dv}{8760 W_{\text{расч}}^*} \cong \frac{\sum_{i=1}^k (P_1^*(v_{\min} - \Delta v i)t(v_{\min} - \Delta v i))}{8760 W_{\text{расч}}^*}$$

при $k = \frac{v_{\min} - 3}{\Delta v}$; (7)

$$\delta W_{\max} = \frac{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} P_2^*(v)t(v)dv}{8760 W_{\text{расч}}^*} \cong \frac{\sum_{j=1}^p (P_2^*(v_{\max} + \Delta v j)t(v_{\max} + \Delta v j))}{8760 W_{\text{расч}}^*},$$

при $p = \frac{24 - v_{\max}}{\Delta v}$. (8)

Если $v_{\min} \leq 3$ м/с, а $v_{\max} \geq 24$ м/с, то $\delta W_{\min}$ и $\delta W_{\max}$ равны нулю из-за слишком малого теоретически возможного и реального вклада данных скоростей в годовую выработку электроэнергии ВЭУ.

В качестве примера значения $\delta W_{\min}$ и $\delta W_{\max}$ для ВЭУ с системой (способом) регулирования мощности "вывод ветроколеса из-под ветра" при среднегодовой скорости ветра 6 и 10 м/с представлены в табл. 2.

Степень влияния изменения того или иного номинального параметра ВЭУ на коэффициент использования установленной мощности ($K_{\text{иум}}$) ВЭУ, численно равного количеству электрической энергии, о. е., вырабатываемому ВЭУ за год (W^*), отражена в формуле:

$$K_{\text{иум}} = \frac{P_{\text{ср.г}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{W_{\text{факт}}}{8760 P_{\text{ном}}} = W^* = (W_{\text{расч}}^* + \Delta W_{\text{расч}}^*) \left(1 - \frac{\delta W_{\min} W_{\text{расч}}^*}{W_{\text{расч}}^* + \Delta W_{\text{расч}}^*} - \frac{\delta W_{\max} (W_{\text{расч}}^* + W_{\text{расч}}^*)}{W_{\text{расч}}^*} \right), \quad (9)$$

где $P_{\text{ср.г}}$ — средняя мощность, развиваемая ВЭУ в течение года, кВт; $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность ВЭУ, указанная в паспорте установки, кВт; $W_{\text{факт}}$ — фактическое количество электрической энергии, вырабатываемое ВЭУ за год, кВт·ч; $W_{\text{расч}}^*$ — расчетное количество электрической энергии, о. е., вырабатываемое ВЭУ с регулированием мощности за счет вывода ветроколеса из-под ветра за год; $\Delta W_{\text{расч}}^*$ — расчетное приращение годового количества электрической энергии, вырабатываемого ВЭУ за год, о. е., в случае использования системы регулирования (ограничения) мощности: за счет срыва части потока воздуха с профиля лопасти или поворота лопасти около оси маха; $\delta W_{\min}$ — удельный вклад ветра в диапазоне скоростей от 3 м/с до $v_{\min}$ с учетом их повторяемости в годовое количество вырабатываемой ВЭУ электроэнергии, опре-

Таблица 2

Значения $\delta W_{\min}$ и $\delta W_{\max}$ для ВЭУ с системой (способом) регулирования мощности "вывод ветроколеса из-под ветра" при среднегодовой скорости ветра 6 и 10 м/с

$v_{\text{ср.г}}, \text{ м/с}$	$v_{\text{расч}}, \text{ м/с}$	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6	$v_{\min}, \text{ м/с}$	$\delta W_{\min}, \%$										
	≤ 3	0										
	4	6,1	4,9	4,1	3,5	3,1	2,8	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1
	5	13,1	10,5	8,8	7,6	6,7	6,0	5,5	5,1	4,9	4,7	4,5
	6	23,6	18,9	15,8	13,6	12,0	10,9	9,8	9,2	8,8	8,4	8,1
	$v_{\max}, \text{ м/с}$	$\delta W_{\max}, \%$										
	≥ 24	0										
	23,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
	22,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2
	21,0	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,2	2,6
	20,0	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,5	3,1	3,7	4,4
10	$v_{\min}, \text{ м/с}$	$\delta W_{\min}, \%$										
	≤ 3	0										
	4	2,6	2,0	1,5	1,2	1,0	0,9	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5
	5	6,2	4,6	3,6	2,9	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2
	6	12,2	9,2	7,2	5,8	4,9	4,1	3,5	3,1	2,8	2,6	2,4
	$v_{\max}, \text{ м/с}$	$\delta W_{\max}, \%$										
	≥ 24	0										
	23,0	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3
	22,0	1,4	1,6	1,7	2,0	2,2	2,5	2,9	3,4	3,9	4,5	5,2
	21,0	2,5	2,8	3,1	3,5	3,9	4,4	5,2	5,9	6,8	7,8	9,1
	20,0	3,8	4,2	4,7	5,3	6,0	6,8	7,9	9,0	10,3	11,8	13,6

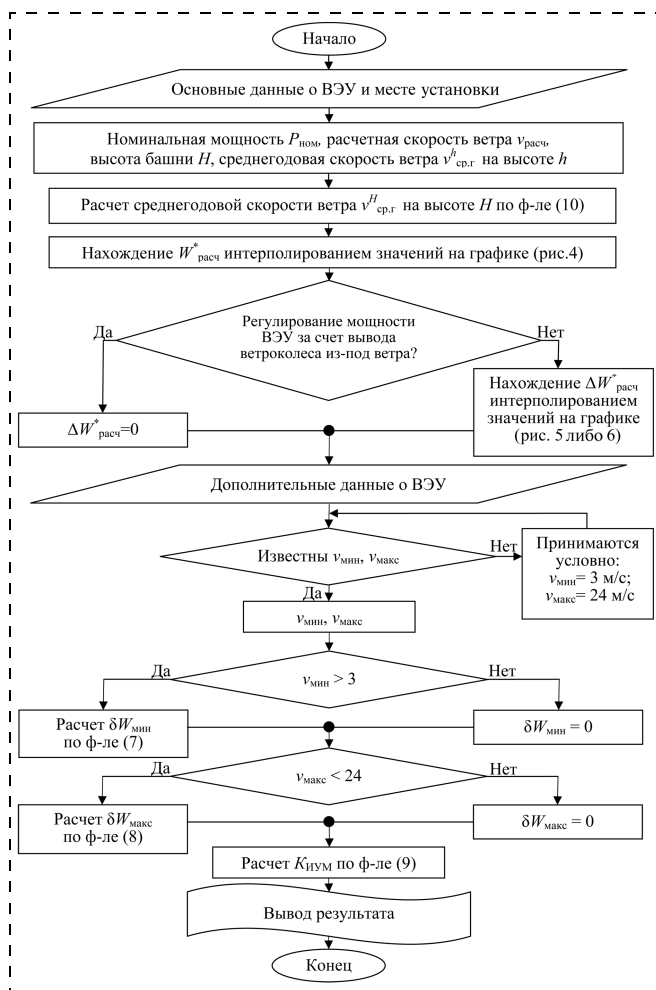


Рис. 7. Алгоритм расчета годовой выработки электроэнергии ВЭУ, о. е., ($K_{иум}$) при вариации ее номинальных параметров

деляемый выражением (7); $\delta W_{макс}$ — удельный вклад ветра в диапазоне скоростей от $v_{макс}$ до 24 м/с с учетом их повторяемости в годовое количество вырабатываемой ВЭУ электроэнергии, определяемый выражением (8).

При сравнении различных ВЭУ необходимо учитывать высоту расположения оси ветроколеса, так как скорость ветра меняется с высотой:

$$v_{ср.г}^H = v_{ср.г}^h \left(\frac{H}{h} \right)^m, \quad (10)$$

где $v_{ср.г}^H$ — среднегодовая скорость ветра на высоте расположения оси ветроколеса над уровнем земли H ; $v_{ср.г}^h$ — среднегодовая скорость ветра на высоте замера над уровнем земли h ; m — показатель степени, зависящий от скорости ветра, рельефа местности и шероховатости поверхности, однако для основного ветрового диапазона работы ВЭУ на ровной площадке можно принять $m \approx 0,14$ [5].

Таким образом, расчет годового количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭУ, о. е., $K_{иум}$

при вариации ее номинальных параметров и использовании различных систем регулирования (ограничения) мощности ВЭУ при заданной среднегодовой скорости ветра на высоте h в месте ее установки должен выполняться по предложенному автором алгоритму (рис. 7) на основании выполненных в статье расчетов.

Гибридные комплексы на базе ВЭУ с комплектом аккумуляторных батарей и ДЭС позволяют повысить эффективность энергоисточника в целом и существенно снизить расход топлива [6, 7]. При этом в районах с благоприятными ветровыми условиями при передвижном характере работ для электроснабжения ручных (переносных) буровых станков и комплексов (табл. 3) можно полностью отказаться от ДЭС, обеспечив резервирование выработки электроэнергии за счет использования фотоэлектрических станций.

Число ВЭУ, необходимое для обеспечения электроэнергией одной буровой установки (БУ), можно рассчитать по формуле:

$$N = \frac{W_{БУ}}{8760 P_{ном} K_{иум} 0,85}, \quad (11)$$

где $W_{БУ}$ — годовой расход электроэнергии одной БУ во время ГРП, кВт · ч; $P_{ном}$ — номинальная мощность ВЭУ, указанная в паспорте установки, кВт; $K_{иум}$ — коэффициент использования установленной мощности ВЭУ с учетом ее номинальных параметров; 0,85 — коэффициент, учитывающий КПД аккумуляторных батарей.

Для энергообеспечения двух буровых станков или комплексов Э1Р, КМБ1-10 или КМБ1-10У при организации работ в одну 8-часовую смену и при высокой интенсивности работ (коэффициент использования установленной мощности БУ ра-

Таблица 3
Технические характеристики буровых станков и комплексов

Параметры	Станки		Комплексы		
	Э1Р (ручной)	Э1Р (на стойке)	КМБ1-10	КМБ1-10У	КМБ2-15У
Глубина скважины, м	3...5	10...15	До 10	До 15	До 25
Диаметр скважин, мм:					
при шнековом бурении	76, 93, 112		76...112	59...112	76...130
при колонковом бурении	36, 46, 59, 76, 93, 112		36...112	36...112	59...112
Номинальная мощность электродвигателя, кВт		1,5	1,5		5,5
Масса в сборе, кг	32,6	56,6	54	56	250...300

вен 0,75) потребуется три ВЭУ номинальной мощностью 1 кВт при $K_{иум}$, равном 0,3, а при использовании ВЭУ с малой расчетной скоростью (8...9 м/с) их количество можно снизить до двух. В благоприятных ветровых условиях (среднегодовая скорость ветра свыше 7 м/с) возможно использовать только одну ВЭУ номинальной мощностью 1,5 кВт при расчетной скорости ветра 8...9 м/с.

Выводы

Приведены рекомендации по выбору номинальных параметров ВЭУ для энергообеспечения ручных (переносных) буровых станков и комплексов для ведения ГРП.

Результаты исследований являются методической основой выбора параметров ВЭУ, обеспечивающих максимальную эффективность работы ВЭУ в заданных ветровых условиях в составе систем энергообеспечения ГРП.

Показано, что основным параметром, определяющим количество электрической энергии, вырабатываемое ВЭУ, о. е., в течение года, является расчетная скорость ветра установки (см. рис. 4—6).

Способ регулирования (ограничения) мощности ВЭУ не оказывает значительного влияния на объемы годовой выработки ВЭУ (см. рис. 5, 6). Однако при среднегодовых скоростях ветра свыше 7 м/с использование систем, обеспечивающих ограничение мощности за счет срыва воздуха с лопасти и за счет поворота лопасти около оси маха, позволяет повысить годовую выработку на 4 и 9 % соответственно. При этом наибольший эффект от рассматриваемых систем регулирования мощности достигается при наименьших расчетных скоростях ВЭУ, а с ростом расчетных скоростей падает практически до нуля.

Установлено, что в регионах со среднегодовой скоростью ветра ниже 6...7 м/с на объем годовой выработки ВЭУ в значительной мере оказывает влияние минимальная скорость ветра, при которой начинается генерация электроэнергии, однако с увеличением расчетной скорости ВЭУ влияние минимальной скорости ветра снижается в несколько раз (см. табл. 2).

В регионах со среднегодовой скоростью ветра свыше 7 м/с на объем годовой выработки ВЭУ с расчетными скоростями ветра менее 12 м/с в большей мере оказывает влияние минимальная скорость ветра, при которой начинается генерация электроэнергии, а при расчетных скоростях более 12 м/с наоборот: годовая выработка ВЭУ в большей степени зависит от максимальной скорости ветра ВЭУ.

Сравнение полученных в ходе проведенного исследования теоретических зависимостей мощности ВЭУ от скорости ветра и $K_{иум}$ от среднегодовой скорости ветра с экспериментальными рабочими характеристиками и фактическим $K_{иум}$ ВЭУ, полученными в ходе опытной эксплуатации ВЭУ "Бриз 5000" в составе гибридного электротехнического комплекса, показало, что отклонение экспериментальных данных от расчетных составило не более 5 и 8 % соответственно. ВЭУ "Бриз 5000" (разработка НПО "Электросфера") является установкой с горизонтальной осью вращения ветроколеса с системой регулирования (ограничения) мощности за счет вывода ветроколеса из-под ветра с помощью флюгера. Номинальная мощность установки $P_{ном} = 5$ кВт при расчетной скорости ветра $v_{расч} = 12$ м/с, рабочий диапазон скоростей ветра от $v_{мин} = 3$ м/с до $v_{макс} = 25$ м/с, высота мачты $H = 18$ м, диаметр ветроколеса 5 м, диапазон рабочих температур от -40 до $+50$ °С [9]. ВЭУ эксплуатируется в составе горного электротехнического комплекса на территории опытно-экспериментальной базы "Нефтяник" НМСУ "Горный".

Список литературы

1. **Энергообеспечение** технологических потребителей геологоразведочных работ / А. М. Лимитовский, М. В. Меркулов, В. А. Косьянов, М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2008. 135 с.
2. **Использование возобновляемой энергии:** учеб. пособие / В. В. Елистратов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 114.
3. **Использование энергии ветра** / Я. И. Шефтер. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 45.
4. **Ветро двигатели** и ветроустановки / Е. М. Фатеев. М.: ОГИЗ, 1978. С. 207, 326.
5. **Теоретические основы** нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ч. 1. Определение ветроэнергетических ресурсов региона. Методические указания / В. В. Елистратов, М. В. Кузнецов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. С. 29.
6. **Бельский А. А., Абрамович Б. Н.** Оценка перспектив использования ветроэлектрических установок для энергообеспечения геологоразведочных работ на территории обской губы (тезисы), XLI Неделя науки СПбГПУ 2012, 44—46 с.
7. **Косьянов В. А., Лимитовский А. М.** Перспектива и область использования возобновляемых энергоресурсов при ведении геологоразведочных работ / Материалы X Междунар. конф. "Новые идеи в науках о Земле". Т. 2. М.: РГГРУ, 2011.
8. **Елистратов В. В.** Использование энергии ветра на северо-западе России // Электронный журнал "Экологические системы". 2009. № 2.

ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ

УДК 622.236

Ю. Н. Линник, д-р техн. наук, проф., нач. Центра обеспечения научных исследований,
В. Ю. Линник, канд. техн. наук, доц., нач. Отдела информационной поддержки
научной деятельности и мероприятий, ГУУ, г. Москва

E-mail: ylinnik@rambler.ru

Оценка технического уровня добычи угля открытым способом

Дана оценка технического уровня применяемых на угольных разрезах России карьерных экскаваторов, технологических автомобилей, буровых станков, погрузчиков и бульдозеров.

Ключевые слова: угольный разрез, экскаватор, технологический автомобиль, буровой станок, погрузчик, бульдозер, производительность, грузоподъемность, емкость ковша.

Yu. N. Linnik, V. Yu. Linnik

Assessment of the Technical Level of the Open Pit Mining

The estimation of technical standards applicable to coal mines Russia shovels, industrial vehicles, drilling rigs, loaders and bulldozers.

Keywords: coal mine, an excavator, the technological vehicle, drilling machine, forklift, bulldozer, performance, capacity, bucket capacity.

Нарращивание объемов добычи угля, предусмотренное Энергетической стратегией развития России на период до 2030 г., и снижение его себестоимости невозможно без технического и технологического перевооружения угольных разрезов. Для повышения уровня рентабельности открытого способа добычи угля необходима стратегия ускорения научно-технического прогресса угольной промышленности. В ее основе должны стоять прорывные технологии добычи угля и новейшие достижения мировой науки в создании горного оборудования. Последнее жизненно необходимо для повышения конкурентоспособности угля перед нефтью и газом. В связи с этим был выполнен анализ технического уровня применяемого на разрезах России оборудования, результаты которого изложены ниже.

Оценка технического уровня карьерных экскаваторов

В отечественной угольной промышленности по состоянию на 01.01.2012 г. действовало 211 угледобывающих предприятий, в том числе 130 разрезов и 81 шахта, которые в общей сложности добыли в 2011 г. порядка 336 млн т угля. Анализ динамики действующих разрезов показал, что их число за последнее десятилетие не претерпевало существенных изменений — только в 2001 г. их число состав-

ляло 115, а в остальные годы колебалось в пределах от 123 до 137 [1, 2].

Основным оборудованием при производстве добычных и вскрышных работ, на переэкскавации, при формировании отвалов, в погрузочных работах на угольных разрезах являются карьерные экскаваторы. На разрезах применяются четыре типа экскаваторов — роторные (многоковшовые), одноковшовые, шагающие (драглайны) и гидравлические.

Парк роторных экскаваторов, работающих на добыче угля, состоит на 76 % из экскаваторов ЭР 1250. На вскрышных работах эксплуатируются также немецкие роторные экскаваторы SRSk 4000 и SRSk 470.

Сравнение данных о производительности отечественных и зарубежных роторных экскаваторов показало, что роторные экскаваторы тяжелого типа отечественного производства существенно уступают зарубежным по теоретической и годовой производительности. Так, если годовая производительность наиболее мощного отечественного экскаватора по добыче угля составляет в среднем 2294,0 тыс. м³/год, то использование зарубежного экскаватора SRSk 4000 обеспечивает добычу 10468,7 тыс. м³/год, что в 4,6 раза выше. Экскаваторы среднего типа отечественного и зарубежного производства по производительности сопоставимы. Причем, экскаваторы

такого типа составляют 81,5 % всего парка экскаваторов. Соответственно на экскаваторы тяжело-го типа приходится всего 18,5 %.

Анализ доступной информации показал, что из-за низкой готовности механизмов к работе, простоев по организационным причинам и отсутствия транспорта, внеплановых остановок и ремонтов роторные экскаваторы на разрезах России используется крайне неэффективно, всего на 20...50 % своих технических возможностей. Помимо того, износ парка роторных экскаваторов составляет 75...80 %.

По данным за 2011 г., в работе на разрезах России находилось всего 27 роторных экскаваторов. Основной объем работ на разрезах приходится на одноковшовые экскаваторы. Парк одноковшовых карьерных экскаваторов угольных разрезов характеризуется большим разнообразием по маркам, по техническим характеристикам и производителям этой техники.

Основу парка одноковшовых экскаваторов составляют экскаваторы ЭКГ (экскаватор электрический на гусеничном ходу). На разрезах также широко применяются экскаваторы ЭШ (экскаватор шагающий) и ЭГ (экскаватор гидравлический на гусеничном ходу). На вспомогательных работах в небольшом количестве применяются экскаваторы ЭО (экскаватор одноковшовый универсальный) с ковшом объемом менее 4 м³.

На рис. 1 приведено распределение электрических экскаваторов по типам исполнений.

Как видно, наибольшее распространение в отрасли получили электрические экскаваторы типов ЭКГ-4, ЭКГ-4,6, ЭКГ-5, ЭКГ-5А, ЭКГ-8, ЭКГ-10, которые составляют более 82 % всего парка. Из них самыми многочисленными являются ЭКГ-5. Импортные экскаваторы, эксплуатирующиеся на разрезах Кузбасса и Якутии, представлены экскаваторами P&N (11 шт.) и экскаваторами Bucyrus 495 HD (2 шт.).

Суммарная вместимость ковшей одноковшовых электрических экскаваторов составляет 5032 м³, а средняя вместимость одного ковша — 7,2 м³.

Основу парка шагающих экскаваторов (драглайнов) составляют экскаваторы ЭШ 10/50, ЭШ 10/60, ЭШ 10/70 с ковшом емкостью 10 м³ (рис. 2).

Суммарная вместимость ковшей драглайнов составляет порядка 3311 м³.

Доля гидравлических экскаваторов, применяющихся на разрезах, сравнительно невелика и представлена в основном импортными экскаваторами разных производителей с ковшом емкостью 1,2...3,5 м³ (рис. 3).

Основными российскими поставщиками (производителями) экскаваторов для угольных разре-

зов являются "Уралмаш" и "Ижорские заводы", входящие в группу ОМЗ (Объединенные машиностроительные заводы). Продукция этих заводов по номенклатуре, в основном, удовлетворяет нужды отечественных угольных разрезов в электрических экскаваторах с ковшами вместимостью до 15 м³ и практически полностью в шагающих драглайнах с ковшами вместимостью до 40 м³. Отметим при этом, что сервисное обслуживание экскаваторов, организованное ОМЗ, сводится лишь к реализации запасных частей и комплектующих. Запланированное на этих заводах производство гидравлических экскаваторов с ковшами вместимостью от 5,5 до 15 м³ не покрывает потребности горных

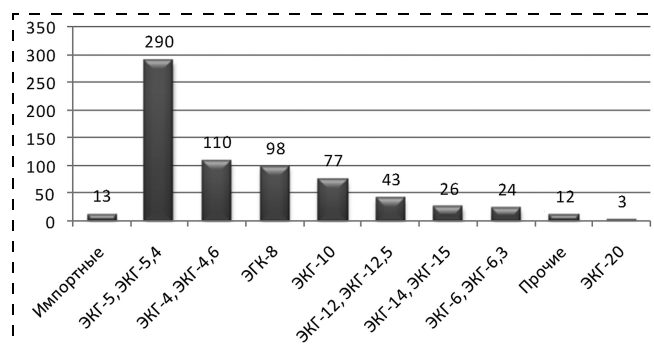


Рис. 1. Распределение экскаваторов электрических ЭКГ всех моделей на разрезах России

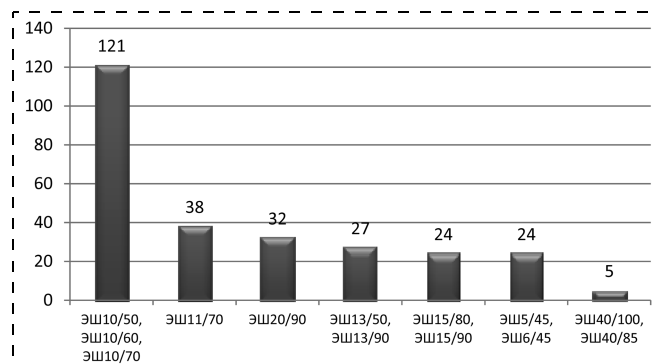


Рис. 2. Распределение шагающих экскаваторов ЭШ всех моделей на разрезах России

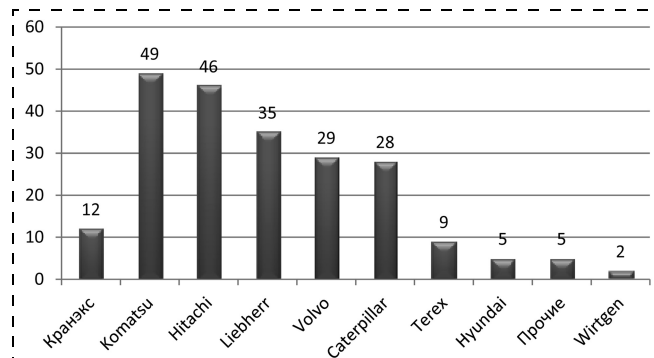


Рис. 3. Распределение гидравлических экскаваторов всех моделей на разрезах России

предприятий в такого рода оборудовании ни по номенклатуре, ни по качеству и проектным решениям. Отсутствие серийного производства современных гидравлических экскаваторов привело к тому, что разрезы России вынуждены закупать гидравлические экскаваторы у иностранных фирм "Komatsu", "Liebherr", "Terex" и др.

В последние десятилетия в мировой практике открытой угледобычи произошло значительное повышение технического уровня основного оборудования и, прежде всего, за счет применения гидрофицированной техники с принципиально новыми технологическими параметрами и повышенной энерговооруженностью. Так, мировой парк карьерных экскаваторов на 80 % состоит из гидравлических экскаваторов. Напротив, на разрезах России гидрофицированные экскаваторы пока не заняли достойного места. Зачастую при приобретении новой техники специалисты отечественных предприятий предпочтение отдают традиционным электрическим экскаваторам, несмотря на то, что они уступают последним по металлоемкости в 1,7—2,0 раза, по удельной энерговооруженности в 2,0—2,5 раза, по высоте копания в 1,5—1,8 раза. По-видимому это связано с тем, что электрический экскаватор проще в эксплуатации и дешевле в обслуживании. Применительно к крупным предприятиям с развитым электроснабжением, где горно-геологические условия эксплуатации не требуют выборочной экскавации на одном уровне, применение электрических экскаваторов оправдано. Кроме того, применение гидравлических экскаваторов ограничивается суровыми климатическими условиями Крайнего Севера России в зимнее время года. Так, опыт эксплуатации экскаваторов в условиях разреза "Нерюнгринский" (Якутия) показал, что эксплуатация гидравлических экскаваторов обходится на 20 % дороже, чем электрических. В допустимых по климатическим условиям эксплуатации, особенно для сложных горно-геологических условий, более предпочтителен гидравлический экскаватор, как более надежный, энерговооруженный, производительный и более адаптированный к сложным условиям работы, зачастую требующим осуществлять селективную выемку пластов. К примеру, на предприятиях компании "Кузбассразрезуголь" гидравлические экскаваторы Liebherr, рассчитанные на температурный диапазон эксплуатации от +40 до -40 °С, безотказно эксплуатировались в течение 7—8 лет. Кроме того, гидравлические экскаваторы имеют массу в среднем на 40...60 % ниже, чем отечественные электрические экскаваторы с базовым ковшем той же вместимости. Поскольку стоимость машин

Таблица 1
Годовая производительность списочного одноковшового экскаватора в 2010 г., тыс. м³

Компания	Всего	На добыче угля	На вскрыше	На перекладке	На отвальных работах
По отрасли	1351	595	1640	1960	1603
Кузбассразрезуголь	2056	1969	2564	2022	1227
Р. "Черниговец"	2230	1394	2475	2098	1780
Кузбасская ТК	1987	1436	2117	2293	—
Р. "Киселевский"	2275	1252	2774	2677	—
Р. "Междуреченский"	2517	2093	2518	2703	2363

находится в прямой зависимости от массы и цены металла, идущего на их изготовление, то ценовое преимущество у гидравлического экскаватора очевидно. Вышеизложенные обстоятельства приводят к постепенному вытеснению электрических экскаваторов в классе карьерных экскаваторов с базовым ковшем вместимостью до 10 м³. Примером тому служит крупнейшая в Кузбассе компания "Кузбассразрезуголь", которая в своей технической политике делает ставку на замену электрических экскаваторов, в первую очередь ЭКГ-5, ЭКГ 8И, на гидравлические, рабочей массой до 100...120 т. Данная тенденция наблюдается во многих успешных российских компаниях.

В табл. 1 приведены данные о производительности экскаваторов по компаниям, в которых доля применяемых на разрезах гидравлических экскаваторов выше, чем в других компаниях.

Из приведенных в таблице данных видно, что годовая производительность экскаваторов в этих компаниях существенно превосходит среднеотраслевые показатели практически по всем видам работ.

Для подтверждения мнения о целесообразности внедрения гидравлических экскаваторов в компании "Кузбассразрезуголь" были сопоставлены эксплуатационные параметры электрических экскаваторов ЭКГ15 и гидравлических Liebherr R9350, работающих долгое время в равных условиях на разрезе "Красногорский". Средняя часовая производительность экскаватора ЭКГ15 составила 523 м³, а R9350 — 670 м³. При этом коэффициент готовности составил 0,83 и 0,95 соответственно.

Оценка технического уровня технологических автомобилей¹

Весь парк технологического транспорта на угольных разрезах представлен импортными большегрузными автомобилями. На сегодняшний день безусловным лидером на российском рынке явля-

¹ В подготовке материалов по работе автомобильного транспорта на открытых горных работах использованы публикации угольных компаний и производителей карьерного транспорта.

ются большегрузные карьерные автомобили производства завода "БелАЗ". По оценкам специалистов, на разрезах России работают 95 % самосвалов этой марки. Причинами этого является существенно более низкая их цена по сравнению с зарубежными аналогами. Кроме того, завод активно развивает сеть сервисных услуг и совместное производство кузовов. Более того, существенные преимущества завод имеет в связи с существующими преференциями между странами Таможенного союза.

ОАО "Белорусский автомобильный завод" является крупнейшим производителем карьерных самосвалов большой и особо большой грузоподъемности. Продукция завода поставляется более чем в 70 стран мира, 50 % поставок завода осуществляется на российский рынок.

Завод имеет 26 сервисных центров в разных регионах России, в том числе три — в Кемеровской области. Модельный ряд автомобилей БелАЗ приведен в табл. 2.

При изготовлении самосвалов применяются современные технологии, двигатели, генераторы и многие элементы систем электрики, гидравлики и автоматики производства ведущих зарубежных фирм. Наряду с мировыми лидерами по производству карьерных самосвалов, "БелАЗ" проводит работу по созданию автомобиля с дистанционным управлением.

На разрезы России поставляются также самосвалы ведущих зарубежных фирм "Caterpillar" и "Komatsu", для чего организовано их производство на территории России. Фирмой "Caterpillar" в России (г. Тосно, Ленинградская обл.) выпускается самосвал САТ-773Е. Выбор модели самосвала САТ-773Е не случаен. Решение о ее выборе принималось на основании опроса добывающих предприятий. Машина грузоподъемностью 55 т была

признана самой функциональной. Самосвал оснащен двигателем Caterpillar мощностью 500 кВт. Объем кузова составляет 35,2 м³. При обосновании приобретения самосвалов расчет, выполненный работниками компании "Российский Никель", показал более низкую себестоимость эксплуатации самосвала Caterpillar по сравнению с БелАЗом (затраты на топливо, запчасти, сервис и др.).

Японская фирма "Komatsu" запустила производство большегрузных карьерных самосвалов Komatsu HD 785-7 в г. Ярославле. Компания рассчитывает на долгосрочную перспективу работы в России. Производственные мощности завода и современное оборудование в перспективе смогут полностью удовлетворить спрос российского рынка в самосвалах. Основные компоненты самосвала поставляются из Японии.

Оценка технического уровня буровых станков

Наибольшее распространение для бурения породающих пород и угля при производстве взрывных работ на разрезах России получил шарошечный способ бурения. По разным оценкам он составляет 75...82 % от всех объемов бурения. При этом в основном применяются скважины диаметром 215 мм при максимальном диаметре 320 мм, которые бурятся в основном буровыми станками отечественного производства. Доля импортных буровых станков составляет всего 25,6 %.

Наибольшее распространение на разрезах России получили станки отечественного производства морально устаревшего типа ЗСБШ200-60. Более современные станки типа СБШ составляют 17 % от всего парка отечественных станков. На ряде предприятий эксплуатируются также станки БТС-150, БТС —150М, БС-1М на базе трактора Т130. В этой категории также учитываются станки УРБ 2А, УРБ3А, УРБ 4Т, Урал-ПБУ, предназначенные для разведочного бурения.

Станки вращательного бурения с резцовыми коронками и шнековым способом удаления буровой мелочи из скважины, широко используемые на отечественных угольных разрезах, являются машинами относительно невысокой производительности и их интенсивное применение в прошлом явилось следствием неспособности наших машиностроительных предприятий обеспечить поставку достаточно высокопроизводительных и дешевых компрессоров для обеспечения пневмоочистки скважин. В настоящее время в передовых угледобывающих странах станки такого типа (шнековые) для бурения взрывных скважин уже давно не используются. Для этих целей применяют станки

Таблица 2

Модельный ряд автомобилей БелАЗ

Серия самосвала	Грузоподъемность, т	Число модификаций	Вместимость ковшей экскаваторов, рекомендуемая для достижения наибольшей эффективности, м ³
БелАЗ 7540	30	6	5
БелАЗ 7545	45	—	8
БелАЗ 7547	45	3	8
БелАЗ 7555	55...60	4	10
БелАЗ 7557	90	2	15
БелАЗ 7513	110...130	5	20
БелАЗ 7517	154	3	20...30
БелАЗ 7530	180...220	4	30...45
БелАЗ 7531	240	—	35...45
БелАЗ 7560	320...360	2	45...60

вращательного бурения с очисткой скважин сжатым воздухом.

Заменой шнековых станков могут стать станки вращательного бурения типоразмера СБШ-200 с компрессором производительностью не менее $32 \text{ м}^3/\text{мин}$ и массой не более 35 т, производительность которых будет в 3—4 раза выше шнековых аналогов [1].

Анализ отечественного парка тяжелых станков ударно-вращательного бурения, оснащенных шарошечными долотами, показывает, что лучшими сегодня среди них являются станки СБШ-250 МНА-32 и СБШ-270 И. Между тем, уровень технических решений, используемых в конструкции этих станков, соответствует уровню некоторых американских станков производства середины 1950-х гг. Проект этого станка был сделан в середине 1960-х гг. и в последующие годы претерпевал в основном несущественные изменения. Главными недостатками этого станка являются закрытая мачта, примитивный вращательно-подающий механизм, низкая энерговооруженность основных приводов, недостаточно производительный компрессор, плохая маневренность машины, низкий уровень механизации и т. д.

Станок СБШ-270 И (проект конца 1980-х гг.) отличается от своего прототипа СБШ-250 МНА-32 мачтой открытого типа, более мощным компрессором, двигателями высоковольтного исполнения, кабельным барабаном, более тяжелым ходом с мало-мощным электроприводом, заимствованным от серийного экскаватора, и более чем в 1,5 раза более высокой массой и стоимостью.

Устаревшие технические идеи, изначально заложенные в проекты отечественных станков, не позволяют создать машину, отвечающую современному уровню. Единственно правильный путь совершенствования отечественной буровой техники — это решительный отказ от использования устаревших технических идей, изначально заложенных во все существующие сегодня станки, которые принципиально невозможно довести до современного требуемого уровня.

Ведущие производители бурового оборудования, как правило, при проектировании и изготовлении станка ориентируются на комплектацию его стандартными покупными изделиями, в частности: гусеничное оборудование от фирм "Caterpillar" и "Intertrac", компрессоры от "Atlas Copco", "Gardner-Denver", "Ingersoll-Rand", системы гидропривода от "Denison", "Mannesman-Rexroth-Schroeder", "Vickers", "Vane", дизели от "Caterpillar", "Cummins", "Komatsu", "GM" и др. Такая "сборочная технология" позволяет быстро организовать производство

машины с разнообразным сочетанием предлагаемых параметров, что позволяет обеспечить широкий диапазон диаметров бурения, длин и диаметров штанг, возможных глубин бурения (как с наращиванием, так и без наращивания става), мощностей первичного привода, производительности компрессоров при очень высоком качестве изделия.

В современных моделях станков наблюдается устойчивая тенденция гидрофикации основных приводов, что обеспечивает им меньшую массу, возможность широкого регулирования характеристик, удобство в управлении и сравнительно несложное обслуживание.

Наиболее популярными производителями универсальных буровых станков легкого и среднего класса являются фирмы "Atlas Copco", "Sandvik-Tamrock-Driltech" и "Ingersoll-Rand". Ими созданы станки вращательного бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром до 560 мм. Основные тенденции в создании станков этих фирм — применение единого первичного двигателя (дизеля или высоковольтного электродвигателя), приводящего в действие компрессор и насосную станцию. Последняя питает все приводы и агрегаты станка, что позволяет обслуживать его одним оператором, поскольку применяемая в данной конструкции гидравлика обеспечивает механизацию всех основных и вспомогательных операций.

В России на угольных разрезах Восточной Сибири, Кузбасса и Якутии работают более 65 импортных станков. Передовые компании Кузбасса активно заменяют устаревшую отечественную буровую технику на импортную, что позволяет почти в 3 раза увеличить производительность работы угольных разрезов при устойчивых значениях коэффициента готовности свыше 90 %.

Необходимо также отметить, что все зарубежные фирмы организовали на территории России развитые системы сервисного обслуживания станков в течение всего срока эксплуатации машины, предусматривающие быстрое и эффективное снабжение потребителя как запасными частями, так и расходными материалами, возможность агрегатного ремонта машин без длительных их простоев.

Оценка технического уровня погрузчиков и бульдозеров

В 2011 г. на угольных разрезах России в наличии было 647 бульдозеров с тяговым усилием 25 кН и более, из них в работе было 536 бульдозеров. Доля отечественных бульдозеров оценивается в 25...30 %. На вспомогательных работах применяются фрон-

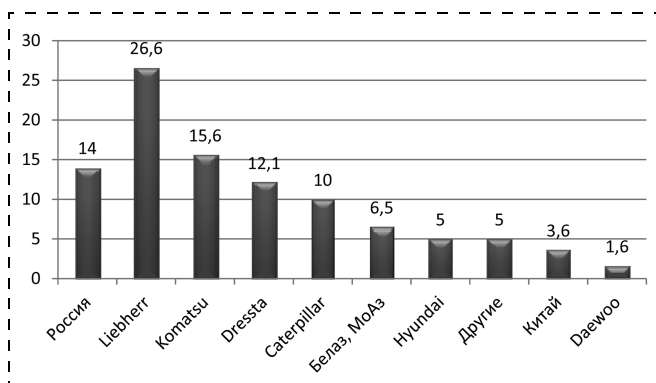


Рис. 4. Распределение фронтальных погрузчиков на разрезах по производителям, %

тальные погрузчики, погрузчики непрерывного действия, грейферы, экскаваторы-погрузчики, универсальные погрузчики. Наибольшее распространение имеют фронтальные погрузчики. На рис. 4 приведено распределение таких погрузчиков по фирмам-производителям. Исследованием охвачено 199 погрузчиков.

На рисунке видно, что доля отечественных фронтальных погрузчиков на разрезах составляет всего 14 %. Наибольшее же число погрузчиков поставляется компанией "Liebherr".

Отечественные фронтальные погрузчики представлены в основном двумя производителями — "Промтрактор" и "Петербургский тракторный завод". Геометрическая вместимость ковшей этих машин не превышает $5,5 \text{ м}^3$, тогда как применяемые на разрезах зарубежные производители поставляют широкий ассортимент колесных фронтальных погрузчиков с ковшами номинальной вместимостью до 20 м^3 и более. Более того, зарубежные производители предлагают технику с более современными техническими характеристиками, высокой надежностью агрегатов, использованием электронных систем контроля рабочих параметров и более комфортными условиями работы операторов.

Два основных производителя — "Промтрактор" и Челябинский тракторный завод "Уралтрак", выпускают ограниченную номенклатуру машин из восьми моделей с двигателями мощностью от 170 до 520 л. с. и массой от 20 до 61,5 т, которые уступают по своим техническим характеристикам, в частности по удельной энерговооруженности и мощности, а также ассортименту отвалов, рыхлителей и ширины гусениц, зарубежным образцам многих фирм, таким как "Caterpillar", "Komatsu" и "Liebherr". Самый мощный на сегодняшний день бульдозер производит фирма "Komatsu". Его мощность составляет 1050 л. с., а масса — до 132 т. Машина слишком крупная для широкого применения на разрезах средней мощности. Основным же спро-

сом на разрезах пользуется техника в диапазоне мощностей от 200 до 550 л. с. Бульдозеры этого класса ведущие фирмы как раз и поставляют на угольные разрезы, остро конкурируя между собой за российский рынок.

Для большей объективности оценки технического уровня применяемого на российских разрезах оборудования рассмотрим состояние и уровень технической и технологической оснащенности разрезов в передовых угледобывающих странах.

Идеология развития отрасли в этих странах, от больших до малых компаний, заключается во внедрении в производство техники и технологий, направленных на повышение производительности труда, сокращение до минимума непроизводительного труда и в максимальном использовании технических возможностей оборудования. Об этом свидетельствует достигнутая производительность труда на разных по объемам добычи предприятиях, составляющая от 1,0...2,5 т/ч для мелких и средних разрезов с годовой добычей до 500 тыс. т до 3,0...9,0 т/ч для крупных разрезов с годовой добычей свыше 1000 тыс. т и выше. На разрезах этих стран отсутствует несогласованное по параметрам разнообразие применяемого оборудования. Оборудование по техническим параметрам подобрано без "узких мест" и взаимосвязано между собой во всех производственных процессах. Мощность оборудования соответствует требуемым объемам добычи угля, решаются вопросы механизации и автоматизации вспомогательных операций и работ.

Отдельно необходимо отметить наличие мощного экологического пресса на угледобывающие предприятия этих стран. Законы штатов и решения муниципальных властей по вопросам экологии предусматривают жесткую ответственность за нарушения экологии. Поэтому в деятельности предприятий вопросы рекультивации земель и возврата их в хозяйственный оборот являются такими же важными, как и добыча угля.

Выводы

Резюмируя вышеизложенное, необходимо сделать следующие выводы.

1. Несмотря на рост добычи угля на предприятиях угольной промышленности России и проводимые угольными компаниями мероприятия по техническому перевооружению производства, технический уровень оснащенности разрезов в целом остается низким.

2. Основу оборудования на открытых горных работах составляют морально и физически устаревшие электрические экскаваторы и драглаины

ЭШ с ковшом емкостью 10 м³. Износ карьерного парка на добывающих предприятиях угольной отрасли России составляет 60...75 %, а по роторным экскаваторам достигает 75...80 %.

3. Основу парка буровых станков (более 80 %) на разрезах также составляют морально устаревшие станки ЗСБШ200-60. Более современные станки типа СБШ составляют всего 17 % от всего парка отечественных станков.

4. Достигнутый качественный уровень и номенклатура горно-транспортного оборудования для разрезов, выпускаемого российскими машиностроительными заводами в настоящее время, не в полной мере удовлетворяют требованиям предприятий по добыче угля. В России отсутствует производство мощных драглайнов, соответствующих мировому уровню бульдозеров и фронтальных погрузчиков. Выпускаемое российскими производителями горно-транспортное оборудование уступает по качеству и производительности лучшим образцам аналогичной импортной техники.

5. В отличие от развитых стран, где с ростом использования мощной высокопроизводительной горно-транспортной техники с высокими линейными параметрами и развитием бестранспортной системы разработки с применением драглай-

нов отрабатываются уступы высотой 25...50 м, применение устаревшего оборудования с низкими технологическими параметрами сдерживают развитие современных технологий на российских разрезах.

Для технического перевооружения угольных разрезов необходима реализация комплекса мер по развитию отечественного угольного машиностроения, особенно в части создания экскаваторов нового технического уровня (роторных экскаваторов среднего класса, гидравлических экскаваторов, карьерных мехлопат с ковшом 35...40 м³).

Список литературы

1. Афанасьев В. Я., Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Состояние шахтного и карьерного фондов угольной промышленности России и их прогнозная оценка на период до 2030 года // Вестник университета. 2010. № 14. С. 30—38.
2. Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Анализ состояния добычи угля открытым способом в России // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 10. С. 2—6.
3. Подэрни Р. Ю. Зарубежная техника наступает на отечественные разрезы и карьеры. Горнопромышленный портал России. 2010.

УДК 622.684:629.114.42.004.12

А. В. Глебов, канд. техн. наук, зам. директора по научным вопросам,
Л. А. Репин, асп., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

E-mail: glebov@igduran.ru, levrepin@mail.ru

Оценка эффективности применения мехлопат и гидравлических экскаваторов в условиях Кузбасса

На основании фактических данных, собранных в результате технологического аудита предприятий Кузбасса, проведена оценка эффективности работы мехлопат и гидравлических экскаваторов.

Ключевые слова: экскаватор, автосамосвал, экскаваторно-автомобильный комплекс, надежность, цена владения, эффективность, производительность, себестоимость.

A. V. Glebov, L. A. Repin

Estimate Efficiency Use Electrical and Hydraulic Shovels in Kuzbass

Efficiency estimation of the overall performance of the shovels and hydraulic excavators was done on the basis of the actual data collected as the result of technological audit at Kuzbass companies.

Keywords: shovel, dump truck, reliability, cost of ownership, efficiency, productivity, cost.

Часто перед специалистами горно-добывающих предприятий стоит выбор: какой экскаватор приобрести — маневренный гидравлический или высокопроизводительный и надежный электро-механический карьерный экскаватор. Гидравлический экскаватор является превосходной машиной для горно-капитальных работ, шихтовки материалов и селективной выемки, где требуются частые перемещения. Крупные карьерные электро-механические экскаваторы представляют собой идеальный вариант для высокопроизводительной и надежной работы, обеспечивая при этом минимальные затраты.

При сравнении с электро-механическим, гидравлический экскаватор имеет меньшую стоимость, сроки изготовления и поставки, поэтому часто горно-добывающие компании для решения своих технологических задач приобретают гидравлические экскаваторы. Выбор в итоге сводится к анализу двух параметров: срок поставки и цена. При этом низкая цена поставки не дает корректной оценки, во что выльется такая покупка. Низкие капитальные затраты на приобретение и пуск в эксплуатацию горного оборудования скрывают более высокие эксплуатационные затраты и, как следствие, высокую стоимость владения.

Выбор горного оборудования для открытой добычи полезных ископаемых сложен. Перед выбором горной техники необходимо оценить, для решения какой задачи и в каких условиях будет использоваться оборудование, сравнить и проанализировать параметры назначения, производительность, надежность техники, требования к технологии взрывания, возможность проведения технического обслуживания на месте эксплуатации и прочее.

На сегодняшний день на предприятиях Кузбасса эксплуатируется целая гамма гидравлических и электро-механических экскаваторов, импортных и отечественных, включая серийные экскаваторы ЭКГ-18 (производство Уралмашзавода), ЭКГ-18Р (производство "ИЗ-Картэкс") и опытный образец ЭКГ-32Р (производство "ИЗ-Картэкс").

Технологический аудит тяжелых карьерных и гидравлических экскаваторов предприятий Кузбасса показал, что гидравлические экскаваторы, работающие на выемке скальной вскрыши, могут развивать достаточно высокую месячную производительность, но имеют при этом значительно меньший коэффициент технической готовности (КТГ). Это связано с тем, что гидравлические экскаваторы не предназначены для работы в тяжелых горно-геологических и климатических условиях, их запас прочности и надежности в разы ниже, чем у электро-механических экскаваторов. Следствием этого являются частые аварийные и плановые простои на ремонт и ожидание запасных частей — ресурс меньше, а цена ключевых компонентов выше.

В табл. 1 приведены средние показатели эксплуатации экскаваторов в 2012 г. по предприятиям Кузбасса. Из табл. 1 видно, что экскаватор ЭКГ-18 имеет более низкие показатели по производительности в сравнении с импортными моделями. Это связано с тем фактом, что первые шесть месяцев своей работы экскаватор проходил опытно-промышленную эксплуатацию. Кроме того, экскаватор недостаточно эффективно используется во времени. В течение технологического аудита было выявлено, что количество автотранспорта недостаточно, высота забоя для такой высокопроизводительной машины неприемлемо мала. Экскаватор часто простаивает по организационным причинам — БВР, переключение, перегон, отсутствие бригады, отсутствие автотранспорта и др. Расчетная производительность экскаватора ЭКГ-18 при нормальной организации его эксплуатации — 600...650 тыс. м³/мес по данным завода-изготовителя. Например, экскаватор ЭКГ-12 с ковшом 12 м³ производства УЗТМ показывает 400...500 тыс. м³, а иногда и 700 тыс. м³ в месяц в аналогичных горно-геологических условиях.

Помимо высокой надежности и технической готовности тяжелых карьерных экскаваторов, еще одним преимуществом является более низкая

Средние месячные показатели тяжелых экскаваторов за 2012 г. (предприятия Кузбасса)

Таблица 1

Показатель	ЭКГ-18 УЗТМ	Liebherr R-9350	Hitachi EX-3600	RH-200 (CAT)	Komatsu PC5500	RH-2800
Вместимость ковша, м ³		18	22		26	33
КТГ средний	0,92	0,76	0,82	0,79	0,83	0,89
Средняя месячная производительность, тыс. м ³	425	490	592	674	653	844
Средняя месячная производительность на 1 м ³ ковша, тыс. м ³	23,6	27,2	26,9	25,9	25,1	25,6

Таблица 2

Оценка стоимости владения экскаваторами за 23 года эксплуатации

Показатель	ЭКГ-18 УЗТМ	Liebherr R-9350	Hitachi EX-3600	RH-200 (CAT)	Komatsu PC5500	PH-2800
Вместимость ковша, м ³	18		22	23	26	33
Интервал планирования при расчете цены владения, лет						
Средняя месячная производительность экскаватора, тыс. м ³ /мес	425	490	592	674	653	844
Годовая производительность экскаватора, тыс. м ³ /год	5 100,0	5 883,2	7 105,7	8 088,0	7 836,0	10 128,0
Объем погруженной горной массы за 23 года, млн м ³	117,3	135,3	163,4	186,0	180,2	232,9
Индикативная цена единицы оборудования, млн руб., без НДС	268	190	230	265	297	612
Срок службы, не менее, лет	23		8			23
Расчетные годовые затраты на техническое обслуживание и проведение планово-предупредительных и текущих ремонтов, млн руб./год	6,13	22,84	27,92	33,00	35,00	32,99
Расчетная стоимость среднего ремонта, млн руб.	14,98		—			202,57
Число средних ремонтов за 23 года	3		—			3
Расчетная стоимость капитального ремонта, млн руб.	57,23	100,70	112,70	151,05	133,65	244,80
Число капитальных ремонтов за 23 года	2		3			2
Расчетные годовые затраты на электроэнергию/дизельное топливо, млн руб./год	4,44	35,30	42,63	48,53	47,02	12,15
Расчетные годовые затраты на зарплату с учетом страховых взносов, млн руб./год			6,05			7,35
Цена владения за 23 года, млн руб.	778,94	2 279,94	2 706,23	3 163,44	3 212,47	2 751,72
Себестоимость экскавации 1 м ³ отгруженной горной массы, руб./м ³	6,64	16,85	16,56	17,01	17,82	11,81

стоимость владения. В табл. 2 приведен расчет этого показателя.

Стоимость владения рассчитана в ценах 2012 г. исходя из условия обеспечения высокого коэффициента технической готовности, производительности, а также рекомендаций завода-изготовителя по техническому обслуживанию и ремонту. За интервал оценки принят срок службы карьерных электромеханических экскаваторов — 23 года. Учитывая срок службы гидравлических экскаваторов 8 лет — за интервал оценки потребуется три гидравлических экскаватора. Для гидравлических экскаваторов периодичность капитальных ремонтов — раз в 3 года; для электромеханических: средний ремонт — каждые 4 года, а капитальный ремонт — каждые 8 лет.

Объединив затраты в соответствующие группы, мы увидим влияние каждой группы в структуре себестоимости (см. рисунок на 2-й стр. обложки).

Таким образом, можно сделать вывод, что гидравлические экскаваторы — это отличные машины

для вспомогательных работ: для шихтовки материалов и селективной выемки. Эксплуатация гидравлических экскаваторов в качестве основной выемочно-погрузочной техники обнажает все недостатки данных машин: низкая адаптируемость к отрицательной температуре, худшая обзорность за счет низкого расположения кабины, низкая износостойкость, низкие показатели наполнения, меньшая геометрия копания, частые перемещения внутри забоя, сложность технического обслуживания, заправка топливом, утилизация жидкостей и т. д.

Вывод

Упрощенный подход (без комплексной оценки), отсутствие современной научно обоснованной методики формирования экскаваторно-автомобильных комплексов порождает не самые эффективные управленческие решения по выбору горного оборудования.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 658.58; 658.523

М. С. Островский, д-р техн. наук, проф., **Н. С. Масляков**, асп., МГГУ, г. Москва

E-mail: n.s.maslyakov@gmail.com

Новый подход к созданию гибкой технологии производства запасных частей для самообеспечения горных предприятий

Предложен новый подход к созданию гибкой технологии изготовления запасных частей в ремонтном производстве для самообеспечения ими горных предприятий. Его смысл заключается в применении интерактивной компьютерной системы управления универсальными металлорежущими станками, принцип работы и технологические особенности которой проанализированы в данной статье.

Ключевые слова: интерактивная компьютерная система управления, ПроЭмулятор, универсальное станочное оборудование, ремонтное производство, запасные части, активный контроль.

M. S. Ostrovsky, N. S. Maslyakov

New Approach to Creation of the Flexible Manufacturing Technique of Spare Parts for Self-Sufficiency of the Mining Enterprise

By author is offered new approach to creation of flexible manufacturing techniques of spare parts in repair manufacture for self-sufficiency of the mining enterprises by spare parts. Approach consists in application of an interactive computer control system by versatile machine tools. In the article are analyzed the principle of work and technological features of the interactive computer control system.

Keywords: interactive computer control system, ProEmulator, repair manufacture, versatile machine tools, spare parts, in-cycle control.

Проблема обеспечения запасными частями горной техники

Одной из ключевых задач эффективной работы горно-добывающих предприятий является поддержание необходимого уровня надежности эксплуатируемых технологических машин и оборудования. Практика показывает, что на их ремонт, как самый трудоемкий вспомогательный процесс, расходуется до 33...35 % всех затрат на добычу полезных ископаемых. Ситуация усложняется тем, что в настоящее время преобладающая часть парка технологических машин и оборудования горно-добывающих предприятий России представлена зарубежными производителями, для поддержания высокого уровня надежности которых при эксплуатации необходимы большие временные и финансовые затраты. Простой в ремонтах машин и оборудования достигают 30 % календарного времени, из них 16 % из-за отсутствия запасных частей.

Обеспечение горных предприятий запасными частями может выполняться либо путем их закупки у дистрибьюторов зарубежных производителей, либо за счет производства "коммерческих" запас-

ных частей силами собственных ремонтных или сторонних машиностроительных предприятий. Закупка оригинальных запасных частей часто связана с высокой их стоимостью и длительными сроками поставки. Запасные части, производимые силами ремонтных или сторонних машиностроительных предприятий, обладают низкой конкурентоспособностью из-за невысокого их качества, большой трудоемкости и высокой себестоимости изготовления. В первую очередь это связано с низким уровнем технологии производства запчастей, слабым техническим оснащением и дефицитом квалифицированных специалистов.

Если проанализировать существующие потребности горных предприятий в запасных частях, то их можно разделить на три группы:

- уникальные детали (изготовление которых требует применения специального металлообрабатывающего оборудования), их эффективнее закупать у заводов-производителей техники;
- унифицированные детали (изготовление которых не требует применения специального металлообрабатывающего оборудования), такие

файлов (файл-задание, программа-наставник, чертеж детали), описывающих электронный шаблон детали и программу ее обработки в G-коде, созданных в программных средствах (встроенном модуле создания задания или сторонних CAD/CAM-системах), установленных в модуле контроля выполнения заданий 1 на ИКСУ. Электронное задание либо через локальную сеть (при управлении несколькими рабочими местами, оснащенными системой ИКСУ), либо посредством flash-накопителя 8 через канал $i1$ передаются в блок управления 2 ИКСУ, установленного на станке на рабочем месте. Поступившее в блок управления электронное задание интерпретируется программным обеспечением ИКСУ и передается по каналу $i2$ на монитор 3. Отображаемая на мониторе графическая информация (рис. 2, см. 2-ю стр. обложки) воспринимается оператором 9 (см. рис. 1) через физический канал $f1$ в виде указаний и фактических данных о процессе обработки детали 13. Далее оператор путем физического воздействия на органы 10 и 11 управления станком через физические каналы $f2$ и $f3$ управляет исполнительными органами станка 12. Перемещение продольного и поперечного суппортов станка контролируется оптоэлектронными датчиками преобразователями линейных перемещений 4 и 5, состояние режущего инструмента в зоне резания — видеоглазком 7 и полученные после обработки детали размеры поверхностей — электронным измерительным щупом 6. Информация с данных устройств по каналам $i3$ поступает в блок управления ИКСУ, образуя замкнутый цикл работы. Состояние процессов, которые не контролируются электронными устройствами (установленный режим обработки, режущий инструмент и т. д.), визуально контролируется оператором через физический канал $f4$ и синхронизируется с виртуальными процессами путем ввода оператором через физический канал $f5$ в блок управления.

При оснащении универсального станка ИКСУ образуется совершенно новая автоматизированная (компьютеризированная) "человеко-машинная" система, состоящая из оператора (рабочего), системы управления — ИКСУ и объекта управления — станка. Процесс управления универсальным станком с ИКСУ выполняется по аналогии, как и на обычном универсальном станке (оператор "вручную" воздействует на органы управления целевыми механизмами и технологическими узлами дискретного действия станка), за исключением процесса формирования алгоритма управления (управляющей информации). В данной системе управляющая информация формируется не мыслительной деятельностью оператора, а путем считывания из

оперативной памяти системы исходной информации (в соответствии с выбранным заданием для обработки), дальнейшей ее интерпретацией процессором на основании априорной информации, хранящейся на жестком диске блока управления, входящего в состав ИКСУ. Процессор блока управления ИКСУ на основании поступившей в него текущей информации (с датчиков и устройств, образующих обратную связь со станком) и ее сравнения с исходной информацией принимает решения и формирует указания оператору, обслуживающему станок с ИКСУ в понятной для него форме (визуализируя исходные данные и координируя выполняемые им действия). Таким образом, окончательное решение по управлению станком принимает сам оператор, а средство автоматизации лишь помогает ему в обосновании правильности его решения. В итоге при работе на универсальном станке с ИКСУ оператор освобождается от необходимости запоминать исходную информацию, продумывать порядок выполнения технологических переходов, что снижает требование к его квалификации.

При оснащении универсального станка ИКСУ образуется скрытая (опосредственная) обратная связь через оператора станка, что делает данную систему замкнутой. В таких условиях ИКСУ приобретает свойства активного контроля технологического процесса (ТП), т. е. контроля, по результатам которого осуществляется воздействие на ТП обработки детали. Процесс активного контроля при обработке деталей с применением ИКСУ представляет собой получение измерительной информации и формирование на ее основе корректирующих команд оператору для управления технологическим оборудованием.

Математическое описание влияния ИКСУ на точность обработки

В реальных условиях процесс обработки деталей совершается под воздействием многих случайных возмущений, зависящих от факторов, которые приводят к возникновению погрешностей обработки деталей. Процесс управления точностью обработки представляет собой прогнозирование указанных погрешностей, ожидаемых в данный момент времени (или в данном цикле обработки), и во введении коррекции в положение инструмента на прогнозируемую величину (в тот же момент или перед данным циклом обработки). Выполнение данных процессов осуществляется через соответствующие алгоритмы преобразования, описываемыми математическими моделями рассматриваемых ТП [2, 3].

В качестве основного критерия точности принимается показатель качества, учитывающий отклонения размера в фиксированном сечении, который описывается случайной последовательностью $\{x_n\}$ (отклонение размера детали от некоторого номинала), величину которого в общем виде можно представить следующей обобщенной математической моделью:

$$\{x_n\} = x_0 + an + \{\mu_n\} + \{\lambda_n\} + \{\xi_n\}, \quad (1)$$

где x_0 — величина начального установочного размера; a — равномерное систематическое линейное смещение настройки (тренд), приходящее на одну деталь; n — число обрабатываемых деталей; $\{\mu_n\}$ — случайная функциональная (коррелированная) последовательность, характеризующая тепловые и силовые деформации системы СПИД; $\{\lambda_n\}$ — случайная некоррелированная последовательность, характеризующая износ режущего инструмента; $\{\xi_n\}$ — собственно случайная последовательность, характеризующая влияние случайных процессов (колебания припусков и физико-механических свойств заготовок и инструмента).

Все составляющие в уравнении (1), за исключением x_0 , являются управляемыми. Для определения математической модели управления точностью обработки на металлорежущих станках необходимо знать характер смещения настройки при обработке деталей на этих станках. Так как размерная настройка $\{x_n\}$, смещаясь от цикла к циклу случайным образом, образует некоторую случайную последовательность, то требуется подобрать такой теоретический процесс, свойства которого достаточно хорошо совпадали бы со свойствами случайной последовательности x_n . Это и будет искомая математическая модель.

Для того чтобы определить характеристики размера, необходимо принять правильную гипотезу о характере изменения величины показателя качества, т. е. выбрать частный случай уравнения (1) для описания изменения этой величины и найти числовые значения коэффициентов. Гипотеза о возможных математических моделях может быть выдвинута на основании физических представлений о причинах смещения размерной настройки и опыта экспериментальных исследований.

Так как процессы обработки деталей на универсальных станках с ИКСУ обладают значительно меньшей точностью, чем высокоточные станочные системы, для которых по частным случаям уравнения (1) разрабатывают математические модели, основной целью определения вида математической модели является определение доминирующей составляющей погрешности обработки

для поиска возможных решений ее компенсации. Для этого необходимо в первую очередь выявить компенсируемые ИКСУ погрешности обработки. На основании физических представлений о причинах смещения размерной настройки и анализа особенностей, принципа работы и области применения ИКСУ универсальными станками можно сделать следующие выводы:

1. Применение преобразователей линейных перемещений и их цифровой индикации позволяет с высокой точностью контролировать текущее положение вершины режущего инструмента в ненагруженном (статичном) состоянии. Это приводит к сокращению на 30 % величины $\{\xi_n\}$ — собственно (чисто) случайной составляющей погрешности (данные, полученные экспериментальным путем).

2. Осуществление привязки режущего инструмента при обработке каждой детали приводит к частичной компенсации $\{\lambda_n\}$ — случайной некоррелированной составляющей погрешности, характеризующей износ режущего инструмента (на величину износа инструмента, полученного при обработке предыдущих деталей). Износ инструмента в текущем сеансе работы не компенсируется оперативно, однако учитывается при обработке следующей детали данным инструментом.

3. Выполнение обработки малого объема партии постоянно меняющейся номенклатуры деталей (область применения ИКСУ универсальными станками) позволяет говорить о малом влиянии на смещение настройки параметра an равномерного систематического смещения, приходящегося на одну деталь (данным смещением можно пренебречь при числе обрабатываемых деталей в партии $n \rightarrow 0$).

Таким образом, в процессе обработки деталей, в соответствии с вышеуказанными выводами, из представленных в формуле (1) составляющих погрешностей не компенсируются $\{\mu_n\}$ и $\{\xi_n\}$, а оставшиеся параметры компенсируются частично. Если условно принять, что составляющие $\{\lambda_n\}$ и an компенсируются полностью, то можно предположить следующую гипотезу о составе суммарной погрешности обработки, которая описывается формулой

$$\{x_n\} = x_0 + \{\mu_n\} + \{\xi_n\}. \quad (2)$$

Для проверки правильности данной гипотезы для конкретного ТП необходимо проанализировать массив данных, полученных в результате проведения экспериментальных исследований. Определение статистических характеристик случайных последовательностей $\{\mu_n\}$ и $\{\xi_n\}$, входящих в состав (2), можно выполнить путем статистического анализа точечных диаграмм ТП на основании методики, приведенной в работе [1]. Ее дополнении

ем является методика разделения на ЭВМ погрешностей обработки на систематические и случайные составляющие, приведенная в работе [8]. В основу методики положены методы наименьших квадратов и скользящей средней. Критерием качества деления погрешностей служит некоррелированность собственно случайной составляющей.

Метод повышения точности (сокращения погрешностей) обработки деталей на универсальных станках с применением ИКСУ

По результатам проведенного анализа факторов, влияющих на возникновение погрешностей при обработке деталей на универсальных станках с ИКСУ, выявлено, что одним из доминирующих факторов, влияющих на величину некомпенсируемых погрешностей, являются тепловые и силовые деформации технологической системы, описываемые случайной функциональной коррелируемой последовательностью $\{\mu_n\}$.

Так как в условиях ремонтного производства выполняется обработка малых партий деталей постоянно меняющейся номенклатуры и в составе корректируемой погрешности доминирует систематическая составляющая, то наиболее эффективным методом компенсации данной погрешности является программная коррекция, осуществляемая по результатам предварительно проведенных измерений корректируемых параметров. Возможные методы компенсации систематических погрешностей приведены в таблице.

Из представленных в таблице методов и способов компенсации можно сделать следующие выводы.

Причины возникновения доминирующих некомпенсируемых ИКСУ систематических погрешностей и возможные методы их компенсации

Причины возникновения погрешностей	Методы и способы компенсации погрешностей
Тепловые деформации системы СПИД	1. Увеличение времени стабилизации деформации при нагреве. 2. Контроль размеров обрабатываемой детали и корректировка настройки станка. 3. Применение обильного охлаждения. 4. Установление оптимальных режимов резания и величины износа. 5. Применение резцов с большим поперечным сечением и меньшим вылетом
Силовые деформации системы СПИД	1. Повышение жесткости системы СПИД. 2. Экспериментальное или теоретическое определение жесткости. 3. Регулирование и восстановление зазоров соединений при эксплуатации. 4. Максимальное уменьшение вылетов (пиноли, патрона, инструмента, детали в патроне и др.), увеличение поперечного сечения державок, применение подвижных и неподвижных люнетов и втулок. 5. Уменьшение неравномерности припуска и твердости, увеличение числа проходов при обработке детали, установление допустимой величины износа инструмента, изменение его геометрии

Применение перечисленных методов и средств компенсации погрешностей, вызванных тепловыми деформациями системы СПИД, является простым и наиболее целесообразным для ТП единичного и мелкосерийного изготовления деталей широкой номенклатуры в условиях ремонтного производства.

Компенсация погрешности обработки, вызванной силовыми деформациями технологической системы, как правило, связана с качеством сборки, техническим состоянием и кинематической точностью системы СПИД станка. Очевидно, что наибольшей жесткостью обладают новые станки, внедренные и грамотно эксплуатируемые для выполнения ТП на ремонтных предприятиях. Однако создать абсолютно жесткую систему СПИД невозможно, можно лишь поддерживать на определенном уровне состояние технологической системы, соответствующее установленным производителями требованиям. Из существующих способов повышения жесткости системы СПИД и определения упругих перемещений для их компенсации наиболее целесообразным для универсальных станков в ремонтном производстве является программная коррекция на основании данных, полученных при экспериментальном определении жесткости системы СПИД на этапе предварительной наладки.

Одним из наиболее активных факторов динамического характера является сила P резания и ее колебания. Сила резания является функцией ряда факторов, действующих в процессе обработки:

$$P = f(v, s, t, HB, C_1, C_2, C_3), \quad (3)$$

где v — скорость резания; s — подача; t — глубина резания; HB — твердость материала обрабатываемой детали; C_1 — геометрия резания; C_2 — состояние режущего инструмента; C_3 — другие факторы.

Значительное влияние на силу резания оказывают глубина t резания и свойства материала заготовки [4]. Глубина резания определяется припуском на обработку, колебание значений которого является одним из решающих факторов, оказывающих влияние на точность изготавливаемых деталей. Связь точности изготовленных деталей с припусками и свойствами материала заготовок сводится к следующему. Значения припуска и характеристик свойств материала заготовки определяют значение силы резания. Наиболее существенное влияние на размер обрабатываемой детали оказывают перемещения звеньев СПИД в направлении, нормальном к обработанной поверхности, которые в основном обусловлены действием силы P_y :

$$P_y = P_z \lambda = 9,81 \lambda C_p t s^{0,75}, \quad (4)$$

где P_z — касательная составляющая силы резания, Н; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об.;

λ и C_p — коэффициенты, определяемые по нормативным материалам или на основании экспериментальных данных.

Сила резания через жесткость технологической системы станка трансформируется в относительное упругое перемещение режущего инструмента и заготовки, являющееся составной частью погрешности динамической настройки системы и детали:

$$y = P_y / j_{\text{ст}}. \quad (5)$$

Неравномерный припуск, снимаемый с поверхности заготовки, неоднородные свойства материала в различных частях заготовки, неодинаковая жесткость технологической системы при обработке заготовки в разных ее сечениях приводят к отклонениям формы обработанной поверхности детали.

Существует несколько методов определения жесткости металлорежущих станков или отдельных узлов. К ним относятся:

- 1) статический метод (испытания на неработающем станке);
- 2) производственный метод (испытания при обработке заготовки);
- 3) динамический метод (испытания в процессе колебания).

Наиболее достоверные данные о жесткости станка дает производственный метод, который основан на обработке заготовки с переменным припуском (переменной глубиной резания). Рассмотрим кратко его сущность (подробное описание производственного метода определения жесткости станка приведено в работе [10]).

Производственный метод основан на обработке заготовки с переменным припуском и некоторых расчетах [4]. Для испытания токарного станка берут достаточно жесткую заготовку, имеющую два пояска диаметрами D_1 и D_2 (рис. 3). Пояски обрабатываются за один рабочий ход при неизменных условиях (подаче, скорости и т. д.). Уступ обработанной детали $\Delta n = d_1 - d_2$, образовавшийся вследствие разных глубин резания и отжатий в технологической системе, будет меньше уступа заготовки $\Delta_3 = D_1 - D_2$. Отношение $\varepsilon = \Delta_3 / \Delta_d$, называемое уточнением, показывает во сколько раз в результате обработки уменьшилась погрешность заготовки. Уточнение характеризует жесткость технологической системы:

$$j_{\text{ст}} = 9,81 \lambda C_p s^{0,75} \varepsilon, \quad (6)$$

где $\lambda = P_y / P_z$.

Управление упругими перемещениями при обработке деталей на универсальных станках с ИКСУ наиболее эффективно осуществить путем ограничения допусками $T_{\text{пр}}$ и $T_{\text{НВ}}$ отклонений соответ-

венно припусков и твердости заготовок и соблюдение этих отклонений в установленных пределах [4].

Расчет допусков $T_{\text{пр}}$ и $T_{\text{НВ}}$ выполняется следующим образом. Частью T_i допуска T_A на выдерживаемый размер A ограничивается мгновенное поле ω_i рассеяния размеров, а исходя из допуска T_i ограничиваются допуском T_y упругие перемещения в технологической системе. Ориентируясь на минимально возможную жесткость технологической системы и минимальный припуск $z^{\min}$, выполняется переход к предельным значениям $p^{\min}$ и $p^{\max}$:

$$p^{\min} = f(z^{\min}); y^{\min} = p^{\min} / j^{\min};$$

$$y^{\max} = y^{\min} + T_y; p^{\max} = y^{\max} j^{\min}.$$

Имея их значения и используя формулу, определяющую силу резания (3), при выбранных значениях коэффициента C_p , подачи s , скорости v резания следует перейти к предельным значениям припусков и твердости заготовок, т. е. к допускам $T_{\text{пр}}$ и $T_{\text{НВ}}$. На основании этого предложен алгоритм компенсации упругих перемещений системы СПИД при обработке деталей на универсальных станках с ИКСУ (рис. 4).

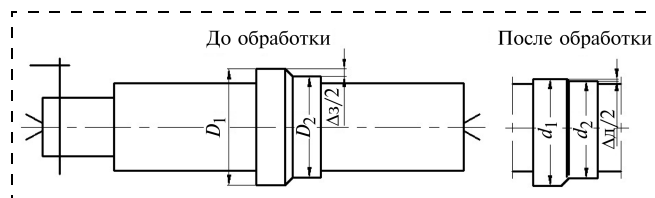


Рис. 3. Производственный метод определения жесткости



Рис. 4. Алгоритм компенсации упругих перемещений системы СПИД при обработке деталей на универсальных станках с ИКСУ

Влияние применения ИКСУ на сокращение цикла обработки деталей

При обработке деталей на универсальных станках для получения заданной точности обрабатываемых поверхностей деталей рабочему приходится выполнять ручную снятие пробных стружек, измерение обработанных поверхностей (с применением универсального измерительного инструмента) и вносить коррективы в установочный размер. На данный процесс тратится большое количество времени, что увеличивает время цикла изготовления и снижает производительность.

Для выполнения расчета времени цикла изготовления одной детали, т. е. штучно-калькуляционного времени $T_{шт.к}$, при обработке на обычных универсальных станках используется следующая формула [7]:

$$T_{шт.к} = T_{п.з}/n + t_0 + t_{в.уст} + t_{в.пер} + t_{в.изм} + t_{об.р.м} + t_{отд.л.н}, \quad (7)$$

где $T_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время, мин; n — число деталей в партии, шт.; t_0 — основное время, мин; $t_{в.уст}$ — вспомогательное время на установку и снятие детали; $t_{в.пер}$ — вспомогательное время, связанное с выполнением переходов; $t_{в.изм}$ — вспомогательное время (не перекрываемое) на измерение; $t_{об.р.м}$ — время обслуживания рабочего места, мин; $t_{отд.л.н}$ — время на отдых и личные надобности рабочего, мин.

В процессе обработки деталей на универсальных станках с ИКСУ отпадает необходимость в проведении периодических измерений обрабатываемой детали, так как в автоматизированном режиме выполняется активный контроль обработки. Данный вид активного контроля организован за счет применения преобразователей линейных перемещений, визуализации полученных значений, их корректировке на основании принятого метода компенсации упругих перемещений (за счет экспериментального измерения жесткости системы СПИД на этапе наладки) и выполнения оператором сформированных по фактическим показателям команд по управлению станка. В итоге из цикла обработки исключается время на промежуточные измерения $t_{в.изм}$.

Выводы

Применение универсальных станков, оснащенных ИКСУ, по сравнению с обычными универсальными станками в ремонтном производстве обеспечивает следующие преимущества:

1. Частичная компенсация погрешностей обработки, вызванных силовыми деформациями сис-

темы СПИД, износом режущего инструмента и точностью позиционирования режущего инструмента, позволяет до 30 % повысить точность обработки.

2. Контроль и управление в автоматизированном режиме точностью обработки детали, что позволяет повысить производительность цикла обработки за счет исключения промежуточных измерений.

3. Выполнение активного контроля и управление в автоматизируемом режиме совместно с интерактивной формой представления исходной и фактической информации о ходе ТП позволяет снизить требования к квалификации оператора станка.

В результате применение универсальных станков с ИКСУ позволяет наиболее эффективно использовать имеющиеся технические и трудовые ресурсы ремонтных предприятий, повысить точность, производительность и гибкость ТП изготовления запасных частей, что способствует увеличению номенклатуры и объема запасных частей, производимых в ремонтном производстве для самообеспечения парка технологических машин и оборудования горных предприятий.

Список литературы

1. Бурдун Г. Д., Волосов С. С., Гейлер З. Ш., Маслов Е. П. и др. Регулирование качества продукции средствами активного контроля. М.: Изд-во стандартов, 1973. 476 с.
2. Волосов С. С., Гейлер З. Ш. Управление качеством продукции средствами активного контроля. М.: Изд-во стандартов, 1989, 24 с.
3. Волосов С. С., Шлейфер М. Л., Рюмкин В. Я. и др. Активный контроль размеров. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
4. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения: учеб. для машиностроительных вузов. М.: Машиностроение, 1997. 597 с.
5. Масляков Н. С. Преимущества универсальных станков с компьютерной системой управления // Сборник научн. тр., семинар "Современные технологии в горном машиностроении". 2012. С. 404—412.
6. Масляков Н. С. Модернизация универсальных станков за счет интерактивной компьютерной системы управления // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 4. С. 25—30.
7. Морозов И. М., Гусев В. И., Федюшин С. А. Техническое нормирование операций механической обработки деталей. Челябинск: ЮУрГУ, 2003. 65 с.
8. Прошин А. А. Синтез оптимальных подналадочных систем на ЭВМ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 27 с.
9. Сетевой ресурс: www.proemulator.ru
10. Скраган В. А., Амосов И. С., Смирнов А. А. Лабораторные работы по технологии машиностроения. Л.: Машиностроение, 1974. 192 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

УДК 622.619

Э. Ю. Воронова, канд. техн. наук, доц., **Ю. В. Антипов**, ст. преп.,
ШИ (ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты

E-mail: gmo@itsinpi.ru

Опыт создания и развитие агрегатированных проходческих систем для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок

Описана история возникновения и развитие агрегатированных проходческих комплексов в мировой практике. Даны описание конструкции и качественная оценка функциональных возможностей агрегатированных систем, эксплуатировавшихся в различные периоды времени в России и за рубежом. Приведены результаты анализа влияния агрегатирования элементов на эффективность проведения выработки.

Ключевые слова: агрегатированная проходческая система, опыт создания, проходческий комплекс, повышение эффективности.

E. Yu. Voronova, Yu. V. Antipov

The Experience of Creating and Developing Unitized Cutting Systems for Drifting and Inclined Underground Workings

The history of beginning and developing of unitized cutting complexes in the world practice is described. The description of the construction and qualitative evaluation of functional possibilities of the unitized systems explicated in various periods of time in Russia and abroad is given. The results of the analysis of the unitized elements influence on the efficiency of cutting underground working process are given.

Keywords: aggregative drifting system, the experience of creation, cutting complex, raises efficiency.

Значение горно-проходческих работ в общей структуре процессов добычи полезного ископаемого

Как известно [1], в структуре технологических процессов горного предприятия горно-проходческие работы (ГПР) занимают особое место, так как определяют необходимые сроки подготовки фронта очистных работ. В общем объеме затрат по добыче полезных ископаемых доля ГПР составляет по различным оценкам до 20...25 %. Роль ГПР особенно значительна в современных условиях отработки пластовых месторождений, когда в большинстве случаев подготовка пластов к выемке ведется по схеме "шахта—лава", поскольку от своевременной подготовки запасов к выемке напрямую зависит результативность деятельности всего горного предприятия.

К важнейшим показателям ГПР, влияющим на конечную эффективность горного предприятия, относятся удельная трудоемкость, стоимость и ско-

рость проведения подготовительных выработок. Эти показатели остаются низкими. Так, по данным [2] средние темпы проведения подготовительных выработок на шахтах России проходческими комбайнами составляют 140...160 м/мес, а буровзрывным способом (БВС) — 50...70 м/мес. Максимальные темпы для комбайнов не превышают 500 м/мес, а для БВС — 200 м/мес. Производительность труда проходчиков редко превышает уровень 1,2 м³ на человеко-смену. Нагрузка на лаву, обеспечиваемая современными очистными комплексами (2...5 млн т/год), растет значительно быстрее, чем темпы проведения выработок на существующем горно-проходческом оборудовании, ведущем проходку буровзрывным и комбайновым способами. Для своевременного обеспечения фронта очистных работ, когда подготовка выемочных столбов должна обеспечиваться с резервом времени не менее двух месяцев, необходимые темпы прове-

дения выработок должны составлять 300...1000 м/мес, что гораздо выше достигнутых результатов.

Среди многих направлений, реализуемых в последние годы, в целях создания оборудования, обеспечивающего соответствующую производительность, необходимо отметить ряд попыток создания агрегатированного проходческого оборудования.

Целью настоящей статьи является анализ опыта создания агрегатированного проходческого оборудования, тенденций и направлений его развития в России и за рубежом, что позволит определить дальнейшие пути и возможные перспективы в области создания новых, высокоэффективных агрегатированных проходческих систем (АПС).

Предпосылки возникновения агрегатированных проходческих систем

Известны три основных пути интенсификации многооперационных технологий — исключение операций, увеличение выхода каждой операции и совмещение операций в различных формах. Исключение операций из технологического процесса осуществимо крайне редко, так как при этом получение требуемого результата зачастую невозможно. Увеличение выхода каждой операции применительно к процессу проведения выработки комплектом проходческого оборудования заключается в совершенствовании отдельных операционных машин для улучшения показателей их работы. Однако даже значительное повышение эффективности операционной машины, как правило, не приводит к существенному улучшению показателей проходки в целом. Поэтому наиболее перспективным представляется путь совмещения технологических операций, который приводит к созданию комплексов оборудования. Метод агрегатирования оборудования, заключающийся в объединении разнофункциональных элементов на единой базовой основе, начавший в первой половине XX века, широко использовался в станкостроении, довольно быстро стал находить успешное применение в транспортном и строительном машиностроении и других отраслях. По оценкам специалистов, развитие техники для многооперационных технологий, интенсификация которых идет по пути различных форм совмещения операций, неизбежно приводит к этапу агрегатирования машин [3]. В горном деле наиболее наглядно эффективность агрегатирования проявилась в создании комплексов для выемки полезного ископаемого (угля). Внедрение в практику очистных работ комплексов добычного оборудования (комбайновых и струговых), созданных на основе метода агрегатирования и работаю-

щих по поточной схеме (совмещение операций разрушения, погрузки и транспортировки угля, поддержания кровли), позволило резко повысить показатели выемки. К настоящему времени в угольной промышленности не осталось шахт, ведущих добычу без комплексной механизации очистных забоев. Для горно-проходческих работ, также характеризующихся многооперационностью, совмещение (или, по возможности, исключение) операций является важнейшим технологическим принципом, приводящим к созданию агрегатированных проходческих систем как к необходимому этапу развития горно-проходческой техники.

Создание горно-проходческой техники исторически базировалось на конструировании оборудования для механизации отдельных операций проходки. Для нормального функционирования организации-разработчики практически независимо друг от друга оснащали свои машины органом перемещения. Очевидно, что руководящей идеей при этом была необходимость приближения и отвода их от забоя по технологической необходимости. Наличие общего структурного элемента перемещения позволило сформулировать положение о возможности создания многофункциональных машин на базе единой конструкции, орган перемещения которой объединял бы в себе аналогичные функции обособленных машин. Таким образом, метод агрегатирования, использовавшийся в горном деле при разработке очистных комплексов, нашел свое применение и при создании проходческих систем.

Появление агрегатированных проходческих систем

В середине прошлого века появились бисистемы — комбинированные машины, выполняющие две функции. Это практически все проходческие комбайны и буропогрузочные машины. Для последних характерно то, что в отечественной практике бурильным оборудованием оснащались, в основном, погрузочные машины непрерывного действия с нагребными лапами (рис. 1, см. 3-ю стр. обложки), являвшиеся на тот момент более производительными, чем ковшовые. В зарубежной практике, напротив, нагребные лапы практически не использовались, а буропогрузочные машины были с ковшовым исполнительным органом (рис. 2, см. 3-ю стр. обложки).

Применение бисистем по сравнению с двумя индивидуальными машинами (например, буропогрузочной машины по сравнению с погрузочной и бурильной машинами) позволило: во-первых, сократить массу (бисистема весит меньше, чем

две машины), габариты (бисистема занимает меньше места, чем две машины, что особенно актуально при разминовке и в выработках малых сечений), энергоемкость (бисистема потребляет энергии меньше, чем две машины) и стоимость оборудования (бисистема стоит дешевле, чем две машины); во-вторых, сократить время на маневровые операции по обмену машин в призабойной зоне. Проходческие комбайны избирательного действия, кроме перечисленного, позволяют совместить во времени и пространстве операции разрушения и уборки горной массы. Указанными преимуществами объясняется тот факт, что бисистемы и в настоящее время широко используются при проведении горных выработок.

Развитие агрегатированных проходческих систем

На основе положительных результатов, полученных при внедрении бисистем в практику проходческих работ, многими исследователями был сделан логичный вывод: если объединение двух элементов в единую систему позволяет в определенной степени повысить эффективность проходки, то объединение большего числа элементов может повысить эффективность в большей степени. Этот вывод послужил толчком к дальнейшему развитию АПС в направлении увеличения количества функциональных элементов (однотипных и разнотипных) в составе одной системы. В СССР в 1980—1990-х гг. различными проектными организациями в содружестве с коллективами горных предприятий разработаны и успешно функционировали семейство комплексов "Сибирь", комплексы АПК-2 и КН-5Н "Кузбасс".

Комплексы "Сибирь" [3] разработаны в институте "КузНИИшахтострой" и предназначены для механизации проведения наклонных (до 25°) выработок по породам крепостью до $f=16$ в шахтах, опасных по газу и пыли. Комплекс "Сибирь-1", предназначенный для выработок сечением $9...13,9 \text{ м}^2$, имеет ковшовый погрузочный орган, бурильную машину и оборудование для откачки воды, смонтированные на единой несущей раме на колесно-рельсовом ходу. Комплекс "Сибирь-2" (рис. 3, см. 3-ю стр. обложки), предназначенный для выработок сечением $12...22 \text{ м}^2$, имеет два ковшовых погрузочных органа 1, две бурильные машины 2, конвейер 3, расположенный по оси несущей рамы 4, крепеустановщик 5, перемещающийся по направляющим вдоль конвейера 3 при помощи ходовой тележки 6. Бурильные машины 2 с манипуляторами 7 перемещаются вдоль рамы 4

при помощи ходовых тележек 8. В составе комплекса также имеется насос 9 для откачки воды.

Комплекс "Сибирь-3" имеет компоновку, аналогичную комплексу "Сибирь-2", и отличается от него лишь наличием третьей бурильной машины, расположенной на месте крепеустановщика.

Компоновка оборудования комплексов "Сибирь" позволяет свести к минимуму маневровые перемещения оборудования, связанные с обменом технологических машин при переходе от одной технологической операции цикла к другой. Особенно актуальным является наличие в составе комплекса оборудования для откачки воды, поскольку проведение наклонных выработок, как правило, связано с большим водопритоком в забой. Как показала практика, для обеспечения работы комплекса достаточно бригады проходчиков из четырех человек.

Комплекс АПК-2 (рис. 4, см. 3-ю стр. обложки) был разработан на Ачисайском полиметаллическом комбинате (Казахстан) для проведения выработок небольшого сечения [4]. Комплекс имеет подсистему погрузки горной массы в виде ковшовой погрузочной машины 1 (типа ППН-1), подсистему транспортировки горной массы в виде передвижного ленточного перегружателя 2 (типа УПЛ), под которым размещаются вагонетки, и подсистему бурения шпуров в виде двух манипуляторов 3 с бурильными машинами 4, перемещающихся вдоль корпуса перегружателя при помощи выдвижных балок 5 и ходовых кареток 6 с гидроприводом. Все подсистемы комплекса кинематически связаны между собой и скомпонованы так, чтобы не препятствовать работе друг друга и исключить обменные операции, что является очень важным при проходке выработок небольших сечений.

Комбайновый комплекс КН-5Н "Кузбасс" (рис. 5, см. 3-ю стр. обложки) был разработан институтом "ЦНИИподземмаш" совместно с шахтой "Нагорная" Объединения "Южкузбассуголь" на основе опыта работы скользяще-распорного проходческого комбайна СРПК, созданного коллективом шахты [5]. Комплекс предназначен для проведения горизонтальных и восстающих до $+35^\circ$ горных выработок с устойчивой кровлей, сечением от $5,1$ до 8 м^2 по углю с присечкой породы с коэффициентом крепости $f \leq 4$. Комплекс КН-5Н "Кузбасс" состоит из комбайна 1, распорных секций 2 (доработанная секция очистной крепи 2М-87Д), конвейера 3, крепеустановщика 4 с оборудованием для анкерования 5, электрооборудования 6, системы пылегашения и гидрооборудования. Комплекс обеспечивает одновременно разрушение массива,

погрузку и транспортировку горной массы, а также временное крепление и возведение постоянной крепи. Временная крепь осуществляется с помощью шагающих распорных секций, смонтированных на комбайне. Постоянное крепление осуществляется анкерами с верхняками и затяжкой металлической сеткой, подаваемой автоматически из кассеты по мере передвижения комбайна. Механизм передвижения комплекса основан на принципе шагания центральной и двух боковых распорных секций комбайна. Разрушение массива производится стреловидным исполнительным органом с резцовой коронкой от комбайна ГПК или 4ПУ. Погрузочным органом служат питатель с нагребными лапами, заимствованный от комбайна 4ПУ или ГПК, и центрально расположенный двухцепной скребковый конвейер, основные элементы которого приняты от СП-63.

Для крепления выработки на комплексе имеется кассета с металлической сетчатой затяжкой, свернутой в рулон, который размещается в передней части центральной распорной секции. Комплекс оснащен двумя установками для бурения шпуров под анкеры непосредственно за комбайном, кассетой с набором верхняков, механизмом поджатия верхняков к кровле выработки. К комбайну присоединены концевая секция телескопического ленточного конвейера 1ЛТ-80, аккумулятор с вентиляционными трубами (трубы надеты в виде гармошки).

Среднемесячная скорость проведения выработок комплексом "Кузбасс" на шахте "Нагорная" в Кузбассе составила 450 м/мес, а производительность труда — 1,4 м/чел.-смену. При проведении спаренных выработок площадью поперечного сечения 8 м² двумя комплексами "Кузбасс" были поставлены рекорды производительности двумя забоями — 2020 м/мес и максимальной скорости — 90 м/сут. Этот комплекс работал в конце 1980-х и начале 1990-х гг.

За рубежом в этот период также шло развитие агрегатированных комплексов. В Великобритании фирмой "Тракхедер" был разработан комплекс [4] (рис. 6, см. 3-ю стр. обложки) для проведения горизонтальных выработок небольших сечений. Комплекс состоит из скребкового конвейера-перегрузчика 1, по ставу которого перемещается опорная рама 2, несущая на себе ковшовый погрузочный орган 3 с боковой разгрузкой и бурильную машину 4 с манипулятором. Перед взрывными работами рама 2 отводится от забоя по ставу конвейера 1 на безопасное расстояние. Разрушенная взрывом горная масса частично попадает на конвейер, имеющий усиленную конструкцию, и перегружается им

на средства магистрального транспорта, а горная масса, расположенная слева и справа от конвейера, грузится на него посредством ковшового погрузочного органа, перемещаемого к забою на опорной раме 2. По окончании погрузки ковш укладывается на почву выработки, бурильная установка перемещается к забою относительно рамы и производит бурение шпуров. Крепление выработки производится средствами, не имеющими с комплексом кинематических связей. Таким образом, как и в случае с комплексом АПК-2, сведены к минимуму маневровые операции по обходу оборудования, кроме того, комплекс имеет энергообеспечение от единой энергосиловой установки.

В Японии был разработан комплекс (рис. 7, см. 4-ю стр. обложки) для проведения выработок больших сечений [6]. Комплекс имеет двухуровневую конструкцию, на нижнем ярусе которой выполняются погрузочные и транспортные операции, а на верхнем — бурение шпуров и установка элементов крепи. Нижняя опорно-базовая конструкция 1 смонтирована на гусеничной ходовой тележке 2 и имеет боковые стенки 3 с верхними направляющими 4, нагребные щиты 5, гребковый погрузочный орган 6, скребковый конвейер 7, перегружатель 8 для загрузки вагонеток 9. Верхняя секция 10 перемещается по направляющим 4 боковых стенок 3 нижней опорно-базовой конструкции 1. Бурильные машины 11 передвигаются по направляющим 12 верхней секции. В задней части верхней секции смонтирован крепеустановщик 13 для установки элементов крепи.

Технологический процесс проходки с применением комплекса, помимо сокращения времени маневровых операций, может носить поточно-циклический характер, так как его конструкция позволяет частично совмещать операции погрузки горной массы и крепления выработки, а также заключительную стадию погрузки и бурение шпуров по верхней части забоя.

Фирмой "Joy Manufacturing" в США была разработана система [6], имеющая в своем составе девять бурильных машин 1, расположенных на portalной раме 2 (рис. 8, см. 4-ю стр. обложки). Рама 2 и остальное технологическое оборудование — погрузочная машина 3, перегружатели 4 и т. д., связаны между собой технологически, поэтому данный образец проходческой техники правильнее было бы называть комплектом. Однако в конструкции portalной рамы 2, а именно, в оснащении ее несколькими функциональными модулями, явно использован принцип агрегатирования, что продиктовано стремлением ускорить процесс обустройства забоя. В то же время форма портала

позволяет ему не пересекать траекторию движения погрузочной машины и местоположение транспортных средств, что существенно сокращает и упрощает маневровые операции по обмену оборудования.

Современное состояние и направления развития агрегатированных проходческих систем

В развитии АПС, создаваемых в последние десятилетия, прослеживаются два основных направления.

Направление 1. Агрегатирование функциональных элементов на общей базе в целях сокращения маневровых операций и снижения массы, энергоемкости и стоимости проходческой системы (эта тенденция четко прослеживается с момента возникновения АПС).

Направление 2. Разработка агрегатированных конструкций, позволяющих, помимо целей первого направления, совмещать во времени (и в других формах) различные операции проходческого цикла, что приводит к снижению или исключению цикличности процесса. Это направление представляется более перспективным, так как реализует известные принципы интенсификации многооперационных технологий.

Направление 1 в настоящее время за рубежом представлено, в основном, буропогрузочными машинами, главным преимуществом которых является исключение операций обмена погрузочной и бурильной машин.

Например, Новокраматорским машиностроительным заводом (Украина) выпускается буропогрузочная машина МБП-2 (рис. 9, см. 4-ю стр. обложки) с навесным бурильным оборудованием, созданная на базе погрузочной машины МП-2 [7] и предназначенная для механизации бурения шпуров и погрузки горной массы в различные транспортные средства, а также для подъема и установки элементов крепи и затяжек. Конструкция машины позволяет осуществлять подъем питателя на высоту до 2 м и использовать его в качестве полка при креплении выработки.

Новогорловским машиностроительным заводом (Украина) (рис. 10, см. 4-ю стр. обложки) выпускается машина поддирочно-бурильная МПБ1200 [7], которая в отличие от принятой классической схемы почвоподдирочных машин известных фирм выполнена с двумя стреловидными манипуляторами — один телескопический с почвоподдирочным ковшом (или погрузочным ковшом с боковой разгрузкой), а второй — с бурильной машиной.

Направление 2 развития зарубежных АПС характеризуется созданием комбайновых комплексов. Например, различными фирмами ("Sandvik", "DBT" и др.) выпускаются комбайновые комплексы типа Болтер-Майнер (рис. 11, см. 4-ю стр. обложки) [8], позволяющие реализовывать полностью поточную технологию проведения горизонтальных выработок сечением около 20 м² по устойчивым породам крепостью до $f = 6$ по шкале проф. М. М. Протодяконова без твердых включений и горно-геологических нарушений. В их состав входят барабанный исполнительный орган 1, погрузочный орган 2 непрерывного действия, осуществляющий погрузку горной массы на скребковый перегружатель 3, расположенный по оси комплекса, бурильные машины 4 (до 6 шт.), осуществляющие бурение шпуров и установку анкеров в кровлю и борта выработки. Комплексы типа Болтер Майнер обеспечивают в указанных условиях подвигание забоя до 1000 м в месяц и более. При твердых включениях от $f = 7$ и более совместить разрушение массива с бурением шпуров под анкры не удастся, так как возрастающие динамические нагрузки снижают устойчивость комплекса, что приводит к заклиниванию штанг при бурении и другим проблемам, т. е. проходка вновь приобретает циклический характер, что существенно снижает производительность.

Аналогичную конструкцию и область применения имеет комбайновый комплекс КПА (Украина) (рис. 12, см. 4-ю стр. обложки) [9].

Развитие агрегатирования оборудования в области комбайнов избирательного действия идет, в основном, по первому направлению, в частности, путем оснащения их навесным оборудованием для бурения шпуров под анкры и прицепными (или подвесными) перегружателями. Совмещение операций разрушения и крепления при этом, как правило, не происходит. Практически все комбайны данного вида имеют погрузочный орган непрерывного действия (за редким исключением, например, механогидравлические комбайны, использующие гидросмыв угля (типа КСП-22МГ)).

В России принципиально новых агрегатированных проходческих комплексов за последнюю четверть века в производство не внедрено. В соответствии с общемировой тенденцией идет дооснащение существующих комбайнов избирательного действия дополнительным оборудованием (бурильные машины, перегружатели), например, по желанию заказчика комбайны производства Копейского машзавода (1ГПКС, КП21, КП200, КП200Т) могут быть укомплектованы мостовыми ленточными перегружателями, а комбайн 1ГПКС —

двумя бурильными установками для бурения шпуров под анкеры, работающими от гидросистемы комбайна.

Отечественная техника для буровзрывного способа проходки практически не отличается от парка машин, эксплуатировавшихся в конце 80-х годов прошлого века.

Основной причиной сложившейся ситуации, очевидно, является сложная экономическая обстановка в стране, обусловленная развалом СССР и советской плановой экономики, нарушением или полной ликвидацией хозяйственных связей между предприятиями бывших республик Советского Союза, отсутствием государственного финансирования научных исследований в области горного машиностроения, существенным сокращением числа научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций и отделов предприятий. Угольные компании, пережившие самый сложный период реструктуризации угольной отрасли в условиях формирующейся рыночной экономики, не были заинтересованы в долгосрочном вложении финансовых средств в разработку нового горно-проходческого оборудования. Как отмечено в статье [10], взаимодействие угольных компаний с отечественными производителями горно-проходческой техники является стратегическим источником получения надежного конкурентного преимущества, так как "вымирание отечественных производителей горно-проходческого оборудования и замещение их зарубежными производителями, в конечном счете, может привести к недопустимому возрастанию рыночной власти последних и, как следствие, лишению угольных компаний гибкости и способности своевременного реагирования на вызовы изменяющейся внешней среды. В перспективе, недооценка данного факта может поставить стратегически независимую отрасль народного хозяйства — угольную промышленность России — под существенную угрозу — потерю ее экономической самостоятельности".

Следует отметить, что в различных научных школах страны, несмотря на серьезные экономические проблемы, продолжаются исследовательские работы по созданию новых образцов горно-проходческой техники, в том числе, крупномасштабные проекты по созданию агрегатированных проходческих комплексов. Например, институт "ЦНИИподземмаш" разрабатывает проходческий комплекс "Темп-IV" для проведения наклонных (до 30°) горных выработок сечением 14...22 м² по породам крепостью до $f=16$ [11]. Комплекс состоит из порталной рамы на рельсовом ходу, двух

бурильных машин, двух ковшовых погрузочных органов с боковой разгрузкой, крепеустановщика и ручного механизированного инструмента. Разработку этого комплекса можно отнести к первому направлению развития АПС, так как его компоновка не предусматривает совмещение операций.

В Шахтинском институте (филиале) ЮРГТУ (НПИ) ведутся исследования по выявлению закономерностей функционирования и разработке теоретических основ создания агрегатированных проходческих систем. Одним из результатов работ явилась разработка проходческого взрывонавального комплекса ПКВН (рис. 13, см. 4-ю стр. обложки) для проведения горизонтальных и слабонаклонных (уклонных до -5° и восстающих до $+15^\circ$) выработок сечением 12...15 м² по породам крепостью до $f=18$ буровзрывным способом. Базовым элементом комплекса является не имеющий аналогов в мировой практике клиновой перегружатель 1, конструктивно совмещенный с бункером 2 для взрывонавалки, имеющим поворотные борта 3, перекрывающие всю ширину выработки. В состав комплекса входят две бурильные машины 4 с манипуляторами 5 для бурения шпуров по забою и под анкеры, а также предохранительная механизированная крепь 6, перемещающаяся по направляющим бункера для взрывонавалки посредством ходовых тележек 7 и 8. Комплекс перемещается к забою и обратно при помощи распорно-подающего механизма перемещения 9.

Конструкция комплекса ПКВН разработана в соответствии со вторым направлением развития АПС. Комплекс не только позволяет механизировать основные операции проходческого цикла и минимизировать маневровые операции, но и исключить операцию предварительного крепления. Погрузка осуществляется энергией взрыва (взрывонавалка), операции проветривания выработки и транспортировки горной массы совмещены. Простота конструкции и отсутствие редукторных групп выгодно отличают ПКВН от других комплексов с точки зрения надежности и стоимости оборудования. Кроме этого, обслуживание комплекса может быть обеспечено бригадой из четырех человек с производительностью труда свыше 7 м³ на человеко-смену. Более подробно конструкция и порядок работы ПКВН приведены в статье [12].

Следует отметить, что оснащение существующих машин дополнительным навесным оборудованием ведется предприятиями без необходимого научного обоснования, что не обеспечивает желаемой эффективности.

Оценка рабочих качеств АПС

Провести объективную сравнительную оценку описанных вариантов АПС не представляется возможным по причине разных областей их применения, функциональных возможностей, видов и количества функционального оборудования, входящего в их состав. Оценить влияние агрегатирования оборудования на общую эффективность проходческой системы (например, производительность в м³ готовой выработки в час) можно путем сравнения показателей работы конкретной АПС и комплекта индивидуальных машин, имеющего тот же набор функциональных модулей (погрузочных органов, бурильных машин и т. д.), что и сравниваемая с ним АПС. Такого рода оценка проведена при помощи имитационно-статистической модели функционирования проходческих систем, изложенной в монографии [13]. Результаты моделирования позволяют утверждать, что агрегатирование машин на едином базовом элементе только за счет сокращения маневровых операций, при прочих равных условиях, позволяет повысить производительность системы на 20 % (при агрегатировании четырех функциональных модулей). В случаях, когда конструкция АПС позволяет частично или полностью совмещать различные операции цикла (например, в комбайновых комплексах Болтер Майнер, КПА, КН-5Н "Кузбасс" все операции выполняются параллельно), производительность системы в целом увеличивается в 1,5–2,5 раза.

Известно, что буровзрывной способ проходки применяется в более сложных горно-геологических условиях, чем комбайновый, в частности, при высокой крепости и абразивности пород. Работа оборудования по крепким породам сопряжена, как правило, с высокими динамическими нагрузками, делающими невозможным совмещение операций цикла из-за недостаточной устойчивости машин. Из рассмотренных комплексов, предназначенных для работы буровзрывным способом, только комплекс ПКВН позволит частично совместить операции проходческого цикла и, при соответствующей организации труда, обеспечить скорость проходки (по прогнозной оценке) до 200...250 м/мес.

Выводы

1. Высокие показатели очистных работ на угольных шахтах требуют существенного повышения темпов проведения горных выработок.

2. Успешное применение метода агрегатирования в различных отраслях машиностроения привело к возникновению и развитию АПС как в России, так и за рубежом.

3. Агрегатирование оборудования при создании очистных комплексов позволило существенно повысить показатели добычных работ.

4. В настоящее время развитие АПС идет в двух основных направлениях:

агрегатирование функциональных элементов на общей базе, позволяющее сократить маневровые операции и снизить массу, энергоемкость и стоимость проходческой системы без изменения технологии;

агрегатирование функционального оборудования на едином базовом элементе с возможностью совмещения технологических операций, направленное на снижение или исключение цикличности проходческой технологии и увеличение темпов проведения выработок.

Направление 2 является более перспективным, что подтверждается практическими результатами.

Список литературы

1. Хазанович Г. Ш. Об актуальных направлениях исследований и повышения эффективности горнопроходческого оборудования / Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. по матер. 60-й Всероссийской науч.-практ. конф. Ч. 1 / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. С. 39–45.
2. Беликов В. В., Чавкин А. И. Проблемы и пути повышения эффективности проведения подготовительных выработок на угольных шахтах России / Уголь. 2009. № 3. С. 31–34.
3. Бунин В. И. Создание комплексов для проведения наклонных горных выработок. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1998. 156 с.
4. Воронова Э. Ю., Воронов Р. П. Агрегатированные буровзрывные проходческие системы / Горнопроходческие машины и комплексы. Альбом конструкций и схем: учеб. пособие для вузов / под ред. Г. Ш. Хазановича. Шахтинский ин-т. Новочеркасск: ЮРГТУ. Вып. 4. Агрегатированные буровзрывные проходческие системы. 2001. 186 с.
5. http://ukkbcl.ru/content/articles/index.php?article=1930&SHOWALL_1=0.
6. Горбунов В. Ф., Эллер А. Ф., Скоморохов В. М. Основы проектирования буровзрывных проходческих систем. Новосибирск: Наука, 1985. 185 с.
7. Машины и оборудование для горностроительных работ: учеб. пособие / под ред. проф. Л. И. Кантовича и проф. Г. Ш. Хазановича. М.: Горная книга, 2011. 445 с.
8. Ортнер П., Григорьев К. В. Проходческие комбайны типа "Bolter Miner" серии MB600 компании "Sandvik" — системное решение для скоростной и безопас-

ной проходки выработок на угольных шахтах // Уголь. 2008. № 11. С. 7—9.

9. По итогам работы IX Международной специализированной выставки угледобывающих и перерабатывающих технологий и оборудования // Уголь. 2006. № 11. С. 9—20.

10. Леванковский В. И. Отечественное проходческое оборудование — стратегический источник конкурентного преимущества российских угольных компаний // Уголь. 2007. № 10. С. 45—47.

11. Андрияшкин О. Н., Дмитрак Ю. А., Лобачев В. Е. Отечественная проходческая техника для подземного строительства и проходки тоннелей // Уголь. 2007. № 3. С. 52—53.

12. Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Конструктивные особенности и основные параметры агрегатированного взрывонавального проходческого комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 4. С. 9—16.

13. Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Разработка схем и выбор параметров агрегатированных буровзрывных проходческих систем. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. 144 с.

УДК 622.684

Ю. А. Лагунова, д-р техн. наук, проф.,
УГГУ, г. Екатеринбург

E-mail: Yu.Lagunova@mail.ru

Основные тезисы III Международной научно-практической конференции "Техгормет—21 век"

Международная научно-практическая конференция "Техгормет—21 век", проходившая 15—16 ноября 2012 г. в г. Санкт-Петербурге, была посвящена новым разработкам горной техники для открытых и подземных горных работ, а также техники для обогащения полезных ископаемых. В статье приведены основные тезисы докладчиков, участвующих в создании, разработке и реализации новых технологий процессов добычи и переработки полезных ископаемых, а также в применении различных автоматизированных систем управления и защит на открытых, подземных разработках и в обогащении.

Ключевые слова: интеллектуальный карьер, карьерный транспорт, карьерные экскаваторы, электропривод, электрооборудование и автоматизированные системы управления, обогащение полезных ископаемых.

Yu. A. Lagunova

Principal Theses III International Scientific-Technical Conference "Techminemetallurgy—21 Century"

International scientific-technical conference "Techminemetallurgy—21 century", had 15—16 November 2012 y. in c. Sankt-Petersburg, was dedicate to the new developments for surface and underground mining operations, as well as equipment for mineral processing. In the article presents the main points of speakers involved in the creation, the development and implementation of new technology in the extraction and processing of mineral resources, as well as the use of different control systems and protections in open, underground mining and enrichment.

Keywords: intellectual quarry, quarry transport, quarry excavators, electrical drive, electrical equipment and automate the control systems for management, mineral processing.

Пленарное заседание открыл Климент Николаевич Трубецкой — председатель оргкомитета конференции "Техгормет—21 век", акад. РАН. В своем докладе он отметил, что открытая разработка месторождений была и остается генеральным направлением развития горно-добывающей промышленности России, несмотря на все более сложные горно-геологические и суровые природные условия

комплексного освоения месторождений Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. В связи с этим дальнейшее повышение эффективности открытой разработки в решающей степени зависит от ускоренного создания и широкого внедрения уникальных технологий управления открытыми горными работами по проекту "Интеллектуальный карьер", основами которого являются высокотехнологич-

ные разработки в области телекоммуникаций, навигации, радиофизики и биотехнологий, а целью — полностью автоматизированное горное производство с "интеллектуальными" технологиями поддержки принятия решений и управлением из единого диспетчерского центра, в том числе роботизированным и дистанционно управляемым горно-транспортным комплексом.

Заместитель директора заполярного филиала ОАО "ГМК "Норильский никель" по минерально-сырьевому комплексу *Владимир Николаевич Карелин* сообщил о том, что заполярный филиал большое внимание уделяет вопросам организации, модернизации и технического перевооружения производства, повышения эффективности его инженерного обеспечения. Намечена обширная программа комплексной интеграции инновационных технологий в производственный процесс добычи полезного ископаемого в условиях заполярного филиала ОАО "ГМК "Норильский никель", включающая основные направления: разработка и внедрение систем автоматизации, управления и связи; внедрение проекта "Система автоматизации горных работ" на базе программно-аппаратного комплекса Minescape компании Mincom; внедрение проекта "Использование отвальных породных хвостов для закладки выработанного пространства рудников Талнаха"; совершенствование парка самоходного оборудования; внедрение системы контроля и управления качеством отгружаемых потребителям руд.

Председатель совета директоров, научный руководитель НПК "Механобртехника", проф., чл.-корр. РАН *Леонид Абрамович Вайсберг* сделал промежуточный доклад на пленарном заседании, в котором акцентировал внимание на современных тенденциях развития техники и технологии дезинтеграции. Практика проектирования и эксплуатации современных обогатительных предприятий характеризуется переносом первичного дробления в карьер и массовым применением циклично-поточной технологии добычи и транспортирования руды на фабрику и вскрышных пород в отвалы. Для проектов рудоподготовки начала XXI века характерна конкуренция процесса рудного полусамоизмельчения и технологии пресс-валкового дробления. Рудоподготовка на базе ИВВД (валки высокого давления) является доминирующей технологией в проектах железорудных обогатительных фабрик ближайшего будущего. Ведущие машиностроительные фирмы освоили производство мельниц полусамоизмельчения (ПСИ) Ø12,8 м, шаровых Ø9,15 м с кольцевыми приводами мощно-

стью до 28 и 18 МВт соответственно и готовы поставить мельницы ПСИ Ø13,4 м. В современных схемах рудоподготовки и производства гранитного щебня расширяется применение конусных инерционных дробилок КИД, обеспечивающих значительное сокращение энергозатрат при дезинтеграции. В настоящее время освоены и применяются дробилки с диаметрами конуса 1200 и 1500 мм, в ближайшее время на рынке появится машина с диаметром конуса 1750 мм, в связи с чем появится возможность их использования и в циклах рудоподготовки. Созданы и начинают применять супермощные высокоавтоматизированные конусные дробилки среднего и мелкого дробления с приводами мощностью 930 кВт (MP-1250) и 1500 кВт (Raptor XL 2000). В транспортных схемах рудоподготовки крупнейших фабрик используют высокоскоростные ленточные конвейеры, обеспечивающие производительность до 40 и более млн т руды в год в одну нитку. Для компоновок новейших фабрик с технологией полусамоизмельчения характерно моносекционное решение. Для тонкого и сверхтонкого доизмельчения применяют вертикальные мельницы типа VTM и горизонтальные Isamill. Вертикальные мельницы фирмы "Metso Minerals" достигли типоразмеров VTM-3000 при установленной мощности привода 2230 кВт. Доступны горизонтальные мельницы Isamill M-50000 с приводом мощностью 8000 кВт. Отмечена тенденция применения вертикальных мельниц в первой стадии измельчения на питании крупностью менее 3...0 мм после пресс-валкового дробления в сочетании с различными грохотами тонкого грохочения вместо гидроциклонов. Вертикальные мельницы начинают заменять шаровые во второй стадии измельчения после мельниц полусамоизмельчения.

Заместитель генерального директора по развитию "ИЗ-КАРТЭКС имени П. Г. Коробкова" *Александр Викторович Самолазов* рассказал о новой линейке экскаваторов тяжелого класса производства "ИЗ-КАРТЭКС" для горной промышленности. Ввиду высокого физического износа экскаваторного парка горной отрасли и роста добычи основных видов твердых полезных ископаемых (железной руды, угля, цветных и благородных металлов, горно-химического сырья) на рынке России и СНГ растет спрос на более мощные экскаваторы с вместимостью ковша 18...35 и даже 60 м³, без которых эффективное наращивание объемов горных работ невозможно. Впервые за последние 20 лет в российском экскаваторостроении компания "ИЗ-КАРТЭКС" разработала и внедряет на рынок

новую современную линейку экскаваторов большой единичной мощности с вместимостью ковша 12, 18...20, 32...35 м³. Это экскаваторы ЭКГ-12К, ЭКГ-18Р/20К и ЭКГ-32Р/35К, которые сегодня успешно эксплуатируют на горно-добывающих предприятиях России. В стадии завершения находится рабочий проект супермощного экскаватора ЭКГ-50. Экскаваторы новой линейки не уступают ведущим мировым конкурентам. Принципиальным новшеством является возможность оснащения экскаваторов канатным либо речным напорным механизмом. Одной из приоритетных задач для компании является развитие автоматизации и интеллектуализации экскаваторов: оснащение информационно-диагностической системой, системой электронных защит экскаваторов, интеграция в систему диспетчеризации карьеров.

Секцию *"Открытые горные работы"* открыл доклад заместителя директора института "Якутнпроалмаз" по науке *Игоря Владимировича Зырянова* о перспективах применения безлюдной технологии на карьерах АК "Алроса". Основные направления преобразований в алмазодобывающей промышленности на примере отработки карьера "Удачный" заключаются в следующем. Доработка целиков на карьере в основном будет заключаться в их взрывной и экскаваторной перевалке на дно карьера. Понижение будет обеспечиваться производством взрывов на выброс при отбойке уступов на высоту 15...30 м. Оставшиеся на горизонтах объемы планируется переваливать с помощью экскаватора Liebherr R9350. Наиболее опасные условия ведения горных работ на карьере при этом возникнут, когда оборудование будет работать на зауженных рабочих площадках, под сверхвысокими нерабочими уступами с вертикальными углами откосов, а также при работах по отгрузке рудных осыпей с отсыпного съезда. Для условий доработки прибортовых рудных целиков карьера "Удачный" рассмотрены технические аспекты применения оборудования с дистанционным управлением для работы в опасной зоне на дне карьера. К настоящему времени произведен выбор следующего оборудования для доработки карьера: экскаватор Liebherr R9350 с ковшом вместимостью 15 м³, карьерный колесный погрузчик L-950 фирмы "Le Tourneau" с ковшом 12...14 м³, шарнирно-сочлененный полноприводный карьерный самосвал САТ-740 грузоподъемностью 39,5 т. Последние два вида карьерной техники будут оснащены средствами дистанционного управления. Учитывая повышенную опасность ведения горных работ в условиях карьера "Удачный", погрузку и откатку горной массы в нижней

части карьера при доработке рудных целиков планируется производить оборудованием с дистанционным управлением. Один ковшовый фронтальный погрузчик Le Tourneau L-950 для погрузки горной массы на дне карьера, а также для проходки траншей, формирования заходов по откосу развала, зачистки транспортных берм и подготовительных работ; четыре шарнирно-сочлененных автосамосвала САТ-740.

Технический директор—Главный инженер ОАО "Апатит" *Андрей Юрьевич Звонарь* выступил с оценкой результатов внедрения диспетчеризации основного технологического оборудования на Восточном руднике ОАО "Апатит". В 2006 г. по результатам анализа эффективности использования автотранспорта на Восточном руднике ОАО "Апатит" было выявлено, что непроизводительное использование автосамосвалами времени в наряде из-за внутрикарьерных простоев (в основном, в ожидании погрузки) составляло 21...23 %, что влечет за собой потерю производительности машин на 25 %. В августе 2011 г. автоматизированная система диспетчеризации (АСД) была введена в промышленную эксплуатацию. К концу 12-месячного использования АСД объемы перевозок горной массы и грузооборот стали возрастать. Качественные удельные показатели работы парка автосамосвалов — плечо перевозки, число рейсов, пробег, наработка двигателя, время работы в сутки — также значительно улучшились. Количественные удельные показатели также имеют положительную динамику: выросла масса перевозимого за рейс груза — от 101 до 120 т; возросла месячная производительность автосамосвалов на 25 %; снизился расход топлива на 12,6 %.

Вице-президент по минерально-сырьевому комплексу Евразии Venturx, an ABB company *Николай Александрович Годунов* предложил следующие переходные этапы в автоматизации горно-добывающих и перерабатывающих предприятий:

— механизация — стандартизация процессов и механизация определенных видов операций, что в свое время увеличило производительность, но все еще требует тщательного участия персонала в контроле и управлении работой оборудования;

— автоматизация технологии — моделирование и планирование деятельности для повышения производительности, повышение прозрачности отдельных частей производственной цепочки, повышение объема доступных технологических данных. Вместе с тем отсутствие интеграции с системами планирования и управления продажами делает невозможным автоматизированное управление

процессами более высокого уровня (например, отгрузка продукции с определенным качеством, в соответствии с заданиями на отгрузку готовой продукции и пр.).

Следующим шагом в развитии горно-добывающих предприятий (горно-добывающее предприятие будущего) может стать целевая оптимизация производства — автоматизация производственных процессов, интегрирующая уровень технологии, диспетчерского управления и финансов в единую систему управления по целям высокого уровня с использованием интеллектуального оборудования и взаимоувязанных средств управления технологическими процессами, учета, моделирования, планирования и анализа. Это позволит горно-добывающему предприятию будущего повысить прозрачность всей производственной цепочки, обеспечить баланс имеющихся производственных мощностей и потребностей в готовой продукции, снизить затраты на энергоресурсы и повысить уровень автоматической работы оборудования.

Главный инженер "УкрНИИпроекта" *Василий Иванович Шелепов* рассказал о преимуществах циклично-поточной технологии на примере карьера "Мурунтау" (Узбекистан). Для циклично-поточной технологии (ЦПТ) актуальным является обеспечение персонала средствами оценки и влияния на оперативную ситуацию как в цикличном и поточном звеньях, так и в местах их сочленения. На карьере "Мурунтау" управление цикличным звеном реализовано с использованием технологии космической навигации, что позволило оптимизировать грузопотоки из карьера. При создании нового поточного звена ЦПТ для руды стояла задача создать такие условия, при которых грузопоток, сформированный в циклическом звене, бесперебойно принимается и транспортируется на поверхность. ЦПТ создавалась на базе уникального крутонаклонного (37°) конвейера КНК-270 с прижимной лентой производительностью 3500 т/ч и высотой подъема 270 м для сочленения с циклическим автотранспортом в зоне приемной площадки дробильно-перегрузочного пункта (ДПП). На ДПП предусмотрен буферный склад, который принимает руду при отказах в поточном звене. На поверхности карьера руда перегружается в думпкары самоходным погрузчиком-штабелеукладчиком (ПШС). Для сочленения с циклическим железнодорожным транспортом на поверхности также предусмотрен оперативный склад, а ПШС оборудован реверсивным конвейером, что при отсутствии думпкаров обеспечивает бесперебойный прием потока руды из карьера в штабель. Всего в после-

довательной поточной цепочке длиной около 1350 м предусмотрены пять конвейеров, дробилка и ПШС. Для поточного звена создана автоматизированная система мониторинга, контроля и оперативно-диспетчерского управления (АСМОДУ), которая позволяет в режиме реального времени отслеживать и влиять на ход процессов, а также формировать "технологический след", т. е. "черный ящик" для восстановления ретроспективы выполнявшихся операций и действий. К средствам АСМОДУ относятся АСУ "ЦПТ-руда", производственно-технологическая связь и видеонаблюдение с централизованным управлением из кабины центрального пункта управления ЦПУ. АСМОДУ имеет возможности для обмена данными с АСУ циклического звена карьера.

Заместитель генерального директора по информационным технологиям и спецпроектам ЗАО "НПП "Родник" *Сергей Александрович Маргарян* сообщил об особенностях автоматизации системы диспетчеризации на горных предприятиях. Узкополосные технологические радиосети обмена данными ультракоротковолнового (УКВ) диапазона используют в составе систем сбора данных и управления на предприятиях горно-добывающей промышленности уже более 30 лет. За это время они подтвердили свою высокую эффективность и на сегодняшний день в значительной части приложений, связанных с автоматизированным оперативно-диспетчерским управлением (АСОДУ) горно-транспортным оборудованием (ГТО), не имеют серьезных альтернатив. Основу таких радиосетей составляют специализированные радиомодемы, обеспечивающие обмен информацией между диспетчерами и операторами ГТО, а также между автоматизированными устройствами управления и исполнительными механизмами. Современные технологические радиосети позволяют формировать единое информационное пространство для надежного, контролируемого и управляемого функционирования подвижного (карьерные самосвалы, промышленный железнодорожный и специальный автомобильный транспорт), малоподвижного (экскаваторы, буровые станки, тракторно-бульдозерная техника) и стационарного (средства энергетического и конвейерного комплекса) оборудования.

Одним из путей эффективного развития горнодобывающего производства, по мнению заместителя генерального конструктора Белорусского автомобильного завода *Николая Викторовича Бигеля* и начальника конструкторского бюро *Евгения Михайловича Гучека*, является роботизация автоперевозок, которая позволит повысить производитель-

ность за счет оптимизации перевозок и исключения человеческого фактора.

В качестве первого шага в этом направлении рассматривается создание роботизированного комплекса "самосвал—погрузчик", а начальным этапом — разработка роботизированного карьерного самосвала. Для реализации поставленной задачи, в первую очередь, необходимо обеспечить позиционирование карьерного самосвала с точностью не хуже ± 10 см. Сегодня можно с уверенностью констатировать факт, что позиционирование с сантиметровой точностью не является проблемой. Применение профессионального высококачественного навигационного оборудования ведущих мировых производителей и передовых технологий на основе глобальных навигационных спутниковых систем в сочетании с адаптивным алгоритмом управления самосвалом позволяет реализовать заявленную точность. Особенностью предложенной реализации является наличие на борту двухканального GPS/ГЛОНАСС-приемника глобальной навигационной спутниковой системы и двух навигационных антенн. Это позволяет помимо координат местоположения карьерного самосвала определять азимут. Для передачи данных координат поправок от базовой станции до бортового оборудования в режиме RTK задействован дополнительный радиоканал. Очевидно, двигаться вслепую, только по координатам системы навигации не совсем разумно. Объезд препятствий и предотвращение столкновений — следующий важный аспект. Для определения наличия и распознавания препятствий, в том числе пешеходов, будет задействовано оборудование на основе технологий автомобильных радаров и лазерных сканеров. При разработке роботизированного самосвала учтена возможность дистанционного управления с удаленного рабочего места оператора и ручного управления из кабины самосвала, а также приоритетность ручного управления перед автономным и дистанционным управлением.

Особое внимание уделено выполнению требований безопасности, регламентированных в стандарте ISO 15817 (Землеройные машины — Требования по безопасности для дистанционного управления), по обеспечению возможности безопасного останова всех операций, выполняемых самосвалом, и сохранения самосвала в неподвижном состоянии при любом из нижеуказанных обстоятельств: если средства управления не активированы; если прервана подача электропитания для системы дистанционного и автономного управления; если прервана передача сигнала от дистанционного или автономного управления к устройству приема; в случае

других аварийных ситуаций. Выполнение требований обеспечивается системой аварийного останова, которая активируется автоматически либо ручным способом оператором удаленного рабочего места. При этом происходит срабатывание тормозной системы и с выдержкой времени — останова двигателя.

На основании проведенных исследований получены математические модели управления исполнительного электропривода рулевого механизма, исполнительного электрогидравлического привода тормозов, системы управления оборотами дизельного двигателя. Полученные данные позволяют реализовать движение самосвала по заданной траектории с достаточно высокой точностью. Особое внимание при проектировании уделено отработке алгоритмов движения самосвала при обнаружении препятствий, разъезде со встречным транспортом, проведении погрузочно-разгрузочных работ и другим аспектам по обеспечению безопасности.

В настоящее время на Белорусском автомобильном заводе изготовлен роботизированный самосвал БелАЗ-75131 с оборудованием высокоточной навигации, и на заводском полигоне ведутся испытания по проверке точности позиционирования и отработке алгоритмов движения в роботизированном (автономном) режиме.

Главный конструктор экскаваторов ОАО "Уралмашзавод" *Александр Алексеевич Крагель* и ведущий специалист *Евгений Борисович Шарин* сообщили о том, что в настоящее время карьерные и шагающие экскаваторы, выпускаемые ОАО "Уралмашзавод", штатно комплектуются следующими сервисными системами: информационными и автоматической защиты рабочего оборудования.

Информационная система (ИС) обеспечивает автоматизацию контроля работы механического и электрического оборудования (температуры нагрева подшипников моторных валов редукторов, подшипников и обмоток электрических машин, нагрева масла в циркуляционных системах жидкой смазки, минимального уровня смазки в редукторах, давления сжатого воздуха в пневмосистеме, наличия протоков охлаждающего воздуха и жидкой смазки в редукторах, параметров работы систем управления главных и вспомогательных приводов, работы автоматической системы густой смазки и др.). Кроме того, ИС ведет контроль углов стояния и передвижения в продольной и поперечной плоскостях экскаватора, учет времени работы механического и электрического оборудования, взвешивание горной массы в ковше, учет потребленной электроэнергии, учет времени работы передвижения и простоев. ИС также контролирует учет пока-

зателей работы за смену, месяц по бригадам, а именно: веса и объема отгруженной горной массы, количества погруженных транспортных средств и т. д. Ведет передачу учитываемых показателей работы экскаватора на Уралмашзавод, диспетчеру на борт карьера. ИС в автоматическом режиме фиксирует неисправности оборудования, оперативно сообщает об этом машинисту и сохраняет историю событий в базе данных системы. Экскаваторы оснащаются системами видеонаблюдения за работой механического оборудования и рабочим забоем, что значительно повышает как безопасность, так и производительность ведения работ.

Системы автоматических защит (САЗ) предназначены для защиты рабочего оборудования экскаваторов от механических контактов (ударов) элементов рабочего оборудования (жестких упоров рукояти с элементами напорного вала и элементами стрелы, головных блоков и обоймы коромысла или упряжи ковша), ограничения динамических нагрузок на рабочее оборудование при работе экскаватора. Применение сервисных систем позволяет повысить комфортность работы и производительность труда машиниста экскаватора, обеспечить оптимальную загрузку самосвалов, минимизировать аварии рабочего оборудования и в целом повысить коэффициент использования и производительность экскаватора.

Директор по стратегическому партнерству компании ABB Venturх *Григорий Юрьевич Дудоров* стал выразителем концепции "Центральной диспетчерской", в которой операторы имеют возможность контролировать технологические процессы на нескольких шахтах одновременно благодаря развитию телекоммуникационных технологий и портативной техники.

Вышеперечисленное становится возможным, например, при использовании специализированного программно-аппаратного комплекса на базе открытой платформы 800 × А, которая не только позволяет обеспечить интеграцию оборудования различных типов и производителей, но и дает возможность значительно оптимизировать использование горно-шахтного оборудования, повысить его производительность и одновременно снизить ресурсо- и энергозатраты. Эффективные решения по визуализации позволяют оптимизировать процессы использования всего парка горного оборудования, в том числе отслеживать местонахождение горного транспорта, его состояние, фактические условия эксплуатации, а также контролировать объемы и качество добываемого полезного ископаемого и т. д.

Руководитель проектов компании "Сумма технологий" *Марина Декабристовна Гирляндина* рассказала о том, что автоматизированная система учета материальных потоков (АСТУ МП) позволяет производить оперативный контроль движения материальных потоков (сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и т. д.), обеспечить производство необходимыми ресурсами, проводить ретроспективный анализ качества сырья с выходом на технологический баланс металлов, эффективно контролировать соблюдение плана поставки сырья и выпуска продукции. Автоматизированная система передачи информации устройств регистрации параметров подъемных установок (АСТУ КСП) позволяет отслеживать режимы работы шахтных подъемных установок, повысить надежность и безопасность их эксплуатации, эффективно планировать работы по техническому обслуживанию и ремонту, обеспечивая в итоге бесперебойность работы всего горно-добывающего предприятия.

Автоматизированная система технологического учета подземных горных предприятий (АСТУ ГП) консолидирует данные от систем автоматизации стационарных объектов, подземного рельсового транспорта, а также данные по наряд-заданием горных и технологических участков. Система позволяет проводить декадное и оперативное планирование горных работ, проводить контроль использования и производительности горно-добывающей техники, осуществлять контроль ведения взрывных работ и вести в автоматическом режиме журнал горного диспетчера. Система также позволяет проводить контроль отгрузки горной массы различным потребителям и контролировать выполнение плана поставок. Интеграция со смежными системами позволяет достичь оптимального и эффективного использования оборудования, распределения людских ресурсов и представить руководству комплексную информацию по процессу ведения горных работ как в оперативном режиме, так и в аналитических отчетах.

Менеджер Чукотской горно-геологической компании *Игорь Семенович Мясников* поделился опытом совместной работы с канадской золотодобывающей компанией "Кинросс Голд", которая с 1995 г. владеет в Чукотском АО золото-серебряными месторождениями "Купол" и "Двойное", а также площадью "Водораздельная".

Система регулирования движения на подземном участке информирует всех операторов мобильной техники о перемещении транспорта, что обеспечивает безопасное движение. Для транспортировки опасных грузов автотранспорт оборудован

антиблокировочной тормозной системой. Все работники и подрядчики, обученные управлению рисками, могут вводить данные о рисках, используя терминалы на руднике. Информационные мониторы представляют оперативную информацию о деятельности рудника.

На подземном участке завершается внедрение автоматической системы диспетчеризации PITRAM; используется нанотехнология Super Skin для крепления горных выработок подземного участка; модернизируется подземная машина Normet для эвакуации оператора с опасного участка в случае обрушения; улучшается качество дорожного покрытия с внедрением дробильного комплекса и системы постоянного мониторинга дорог.

Службой технического обслуживания завершается внедрение программы "Восемь ПТО с равным временем простоя" для всех единиц подземной техники; разработан и изготовлен стенд для проверки работы стрелы буровой установки AXERA после ее ремонта; сформирована группа быстрого реагирования для ремонта подземного оборудования; внедрен проект по заблаговременной подготовке комплектов для ПТО; улучшается использование и обслуживание гидравлических систем.

Хозяйственно-техническая служба внедряет автоматизированную систему диспетчеризации управления наземными самосвалами. На золотоизвлекательной фабрике рудника "Купол" завершается модернизация для переработки руды рудника "Двойное"; используется концентрат Knelson и оптимизируется расход нитрата свинца для дополнительного извлечения золота и серебра; внедряется дополнительная емкость выщелачивания; используется программа мероприятий контроля; внедрена автоматическая система смазки шаровой мельницы извести в рабочем состоянии.

Вице-президент Mine Site Technologies (Австралия) *Игорь Васильевич Королев* сообщил, что система ImPact была разработана специально для работы в тяжелых условиях, присущих всем видам горных работ. Функция позиционирования (отслеживания) персонала и оборудования является важным элементом, обеспечивающим эффективность и безопасность современной горной компании. Осведомленность о местонахождении работников, техники и оборудования (особенно под землей), местоположение которых может быть быстро определено или просмотрен маршрут движения за определенный отрезок времени, дает аналитическую информацию для принятия решения на данный момент времени или разработки планов по повышению эффективности и безопасности труда.

Другая функция системы, позволяющая обеспечить безопасность труда горняков, — это функция контроля сближения машины с человеком или машины с машиной в целях предупреждения столкновения. Эта функция позволяет существенно снизить риск наезда машины на человека за счет предупредительной сигнализации водителю транспортного средства о приближении к человеку и другой машине. Такая опция особенно важна в условиях ограниченной видимости и в зонах особого риска с накоплением техники и людей. Индикация с предупреждением водителя о нахождении человека или другой машины осуществляется с расстояния от 120 м с покрытием зон за поворотами.

Использование модулей VIP на подвижной технике горного предприятия позволяет не только предупреждать столкновения, но и осуществлять передачу данных о состоянии и рабочих параметрах техники беспроводным способом через единую сеть ImPact на заранее заданные компьютерные рабочие места сотрудников. Информация, снимаемая с установленных электронных датчиков на машине, о производственных показателях и состоянии самой техники повышает точность отчетов, что помогает эффективно определять слабые моменты и заранее планировать обслуживание подвижной техники.

В настоящее время на рудниках ОАО "Уралкалий" (г. Березники и г. Соликамск) важное значение приобретает повышение эффективности технических решений по способу подготовки и отработки шахтных полей с учетом передовых достижений в мире. Для достижения намеченной цели была поставлена задача по разработке способов подготовки и отработки шахтных полей в условиях рудников ОАО "Уралкалий", обеспечивающих увеличение производительности комбайновых комплексов по добыче сильвинитовой руды не менее 80 тыс. т в месяц и не менее 880 тыс. т в год. Руководством ОАО "Уралкалий" было принято решение о привлечении для решения этого вопроса канадской компании "Хэтч" (Hatch) как организации, обладающей передовым мировым опытом и знаниями при проектировании и строительстве предприятий по эксплуатации месторождений калийных солей.

Главный специалист группы горных работ *Николай Викторович Ковтун* предложил использовать мировой опыт подземных способов разработки калийных месторождений. Для увеличения производительности комбайна при использовании существующей схемы отработки в качестве первого шага усовершенствовать вспомогательные операции при добыче руды (крепление выработок, контроль

за их направлением, использование средств малой механизации и пр.). В результате этого ожидается сокращение временных затрат на непродуктивные операции, не связанные непосредственно с добычей руды. Как следствие — увеличение времени, используемого для отбойки руды, что позволит, без существенных капитальных затрат, увеличить годовую производительность добычного комбайна на 60 тыс. т. В качестве следующего шага предложено усовершенствовать схему доставки руды путем использования передвижных и гибких конвейеров на выемочном горизонте, что позволит увеличить производительность комбайновых комплексов до 880 тыс. т в год. В качестве третьего шага был предложен и обоснован переход на технологию ведения горных работ с применением камерно-циклоидальной системы разработки с отработкой камер длинными забоями, что позволит увеличить время на отбойку руды и значительно повысить общую производительность производства.

На секции "Обогащение полезных ископаемых" с докладом о гравитационных методах обогащения выступил и. о. заведующего кафедрой "Обогащения полезных ископаемых" Национального минерально-сырьевого университета "Горный" *Вадим Борисович Кусков*. Гравитационный метод обогащения отличается экономичностью и нанесением минимального вреда окружающей среде. Основным недостатком гравитационного метода является низкая эффективность разделения мелких частиц. Одними из гравитационных аппаратов, показывающих высокую эффективность разделения мелких частиц, являются концентрационные столы. Особым видом концентрационных столов являются круглые концентрационные столы. Сейчас круглые столы фактически не применяются. Но этот вид аппарата может оказаться более эффективным, чем используемые в настоящее время плоские качающиеся концентрационные столы. Это объясняется тем, что у круглых столов появляются дополнительные силы, действующие на разделяемые частицы — прежде всего, центробежная сила.

Были проведены серии сравнительных испытаний на различных гравитационных аппаратах (концентрационных столах разных конструкций, винтовых шлюзах) и на экспериментальной модели стола. Испытания показали более высокую эффективность разделения на круглом столе.

Главный обогатитель ОАО "Апатит" *Александр Иванович Калугин* обобщил сведения по разработке шести месторождений апатит-нефелиновых руд Хибинского горного массива. Постепенная отра-

ботка легкодоступных запасов требует от предприятия вовлечения в добычу фосфатного сырья, залегающего в нижних горизонтах месторождений. С углублением действующих рудников происходит как естественное снижение содержания полезного компонента P_2O_5 , так и изменения минералогического состава и типологии руд. В условиях изменчивости вещественного состава перерабатываемых руд значительно возрастает роль аналитического контроля для оперативного управления основным технологическим процессом обогащения апатит-нефелиновых руд — флотацией. Наличие автоматизированных систем экспресс-анализа является обязательной составляющей для оптимального функционирования АСУ ТП, существенно снижающей влияние человеческого фактора на качественные показатели производства.

С 1986 г. на АНОФ-3 успешно эксплуатируется полностью автоматизированная система аналитического контроля (АСАК). Она включает в себя подсистемы отбора, доставки, подготовки и анализа технологических продуктов с выдачей результатов в АСУ ТП фабрики. АСАК контролирует качественные показатели продуктов, входящих во флотационный процесс и выходящих из него: массовые доли P_2P_5 и Al_2O_3 , гранулометрический состав, минералогический экспресс-анализ содержания следующих минералов: апатит, нефелин, эгирин, сфер, титаномагнетит, полевошпат и гидрослюда.

20-летний опыт успешной работы позволил разработать общие технические требования для построения усовершенствованной автоматизированной системы аналитического контроля АСАК на действующих обогатительных фабриках. В настоящее время осуществляется техническое перевооружение АСАК на АНОФ-3 и АНОФ-2 — модернизируется оборудование пробоподготовки фирмы HERZOG (Германия), участок оснащается роботом АBB (Швеция), высокопроизводительными рентгеновскими спектрометрами ARL9900LP (Швейцария).

Технический директор ООО "СУЭК-Хакасия" *Владимир Александрович Азев* доложил об опыте обогащения углей в тяжелых средах на Черногорской обогатительной фабрике Республики Хакасия.

По технологии рядовой уголь подается пластинчатым питателем на колосниковый грохот. Горная масса крупностью более 200 мм подается в щековую дробилку для дробления до крупности минус 200 мм. Уголь класса 0...200 мм совместно с дробленым углем ленточными конвейерами подается в главный корпус обогатительной фабрики, где

подвергается предварительной сухой классификации по классу 13 мм на грохотах типа ГИСТ-72. Отсев класса 0...13 мм без обогащения поступает на перегрузочный пункт угля отсева. Класс плюс 13 мм после дешламации подвергается обогащению в тяжелосредних сепараторах типа СКВП-32-500 с выделением двух продуктов: концентрата и породы, которые после отмывки и обезвоживания на грохотах типа ГИСТ-72 (порода) и ГИСЛ-82 (концентрат) транспортируются в здание сортировки и погрузочных бункеров. Концентрат подвергается на грохотах типа ГИСЛ-82, ГИСЛ-72-0,5 классификации на классы 13...50 мм, 50...100 мм, 100...200 мм и реверсивными конвейерами распределяется по бункерам. Шламовая вода от дешламации, хвосты регенерации поступают в суспензионные осветители, слив которых используется как оборотная вода, а сгущенный шлам после обезвоживания на грохоте типа ГСТ-61 присаживается к отсеvu. Подрешетный продукт самотеком поступает в шламовые отстойники.

В ноябре 2012 г. введен в эксплуатацию новый корпус обогащения класса 0...25 мм с годовой производительностью по проектной документации 2100 т/т. Проектная технологическая схема замкнута внутри корпуса обогащения и не имеет сброса шлама в наружные гидротехнические сооружения. Отходы обогащения класса 0...25 мм совместно с отходами обогащения класса 25...200 мм ленточным конвейером транспортируются в породные бункеры общей емкостью 600 т, расположенные в здании корпуса. Из корпуса отходы ленточным конвейером поступают на пункт погрузки отходов, где осуществляется выгрузка отходов в автотранспорт и дальнейший вывоз их в породный отвал Черногорского филиала ОАО "СУЭК". Для непрерывной работы обогатительной фабрики при остановке корпуса обогащения класса 0...25 мм предусматривается подача отсева класса 0...25 мм ленточным конвейером в аварийный бункер отсева емкостью 260 т. Возврат отсева из бункера в технологическую схему обогащения класса 0...25 мм предусматривается по ленточному конвейеру.

Заведующий лабораторией флотации и реагентов ОАО "ВНИИГалургии" *Станислав Николаевич Титков* и заместитель главного инженера по процессам обогащения ОАО "Уралкалий" *Светлана Николаевна Алифорова* сообщили об основных задачах разработки систем управления флотационными калийными фабриками.

Калийные руды — основное сырье для много-тоннажного производства калийных удобрений. Месторождения калийных руд характеризуются относительно крупной вкрапленностью минералов (от 0,8 до 3 мм), что создает благоприятные условия для их флотационного обогащения. В настоящее время более 80 % мирового производства хлористого калия осуществляется на флотационных фабриках. Россия и Белоруссия являются ведущими странами по переработке водорастворимых полезных ископаемых и с 1963 г. ввели в эксплуатацию восемь флотационных калийных фабрик. В настоящее время ведется проектирование четырех новых флотационных калийных фабрик в России, предусмотрено расширение производства хлористого калия флотационным методом в странах СНГ (Белоруссия, Узбекистан) и в странах Южной и Северной Америки.

Отличительными особенностями флотационного обогащения калийных руд, определяющими требования к разработке систем управления флотационными калийными фабриками, являются: проведение процесса обогащения в насыщенных солевых растворах, в основном хлоридов калия и натрия; применение в качестве собирателя катионных ПАВ — первичных алифатических аминов; наличие в калийных рудах водонерастворимых, легкошламуемых примесей силикатных и карбонатных минералов (до 10...12 %), активно сорбирующих катионный собиратель в солевых растворах и значительно уменьшающих флотиремость сильвина (KCl), особенно его крупных фракций. В связи с этим технологические схемы флотационных калийных фабрик ОАО "Уралкалий" предусматривают гидромеханическое (в гидроциклонах и гидросепараторах) и флотационное обезшламливание руды и последующую флотацию сильвина.

Проведение подобных научно-технических и научно-практических конференций способствуют установлению и развитию новых творческих связей между научными коллективами и производством. Конференции помогают расширить личное и профессиональное взаимодействие ученых и практиков, позволяют сэкономить время на поиск необходимых научных и промышленных материалов, реализовывают стремления молодых ученых и промышленников к карьерному росту.

ОБОГАТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 622.7

А. Н. Петухов, канд. техн. наук, доц., **В. Ю. Каратунов**, асп.,
ШИ (ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты,

И. В. Еремеев, директор,

ОАО "Центральная обогатительная фабрика "Гуковская", г. Гуково-8, Ростовская обл.

E-mail: vkaratunov@mail.ru

Противоточный сепаратор для обогащения мелких классов угля (0...3 мм)

Предлагается новое устройство для обогащения угля класса 0...3 мм в противоточных потоках воды. Предлагаемое устройство значительно дешевле флотационного способа обогащения, а также обогащения угля на спиральных (винтовых) сепараторах.

Ключевые слова: сепаратор, обогащение, труба, пульпа, вода, поток.

A. N. Petuhov, V. Yu. Karatunov, I. V. Ereemeev

Counter-Current Separator for Separation Coal of 0...3 mm Class

A new installation for separation of coal of 0...3 mm class in counter-current streams of water is offered. The installation offered is much more cheaper than flotation was of separation as well as separation of coal on spiral (screw) separators.

Keywords: separator, enrichment, pipe, sludge, water, stream.

Общие сведения

С развитием механизации добычи угля в шахтах, карьерах резко увеличилось содержание мелких классов в исходной горной массе, направляемой на обогащение. На большинстве угледобывающих предприятий содержание класса 0...3 мм в рядовом угле достигает 30...40 % [1].

Обогащение крупных классов угля (крупнее 3 мм) не связано с техническими трудностями. Угли этих классов успешно обогащаются в тяжёлых сепараторах и отсадочных машинах. Обогащение же мелких классов угля крупностью менее 3 мм (особенно класса 0...1 мм) является технически сложным и дорогостоящим процессом. Наиболее эффективным и высокопроизводительным способом обогащения угля класса 0...1 мм является флотация. Флотация — самый дорогой способ обогащения угля. Так, по сравнению с обогащением угля в отсадочных машинах, флотация дороже в 5—6 раз [2].

Учитывая тенденцию постоянного роста доли мелких классов в рядовом угле, решение данного вопроса имеет актуальное народнохозяйственное значение.

Одним из способов решения этой проблемы является разработка противоточного сепаратора для обогащения мелких классов угля (0...3 мм) на кафедре "Технология и комплексы горного, строительного и металлургического производств" Шахтинского института ЮРГТУ (НПИ) в содружестве со специалистами ОАО "ЦОФ "Гуковская".

Устройство оборудования

Предлагаемый противоточный сепаратор для обогащения мелких классов угля — 0...3 мм (рис. 1) состоит из трубопровода подачи технической воды 1 с регулировочной задвижкой 2, обогатительной трубы прямоугольного сечения 3, нижней части обогатительной трубы 4, выполненной в виде усеченной четырехгранной пирамиды, нижней разделительной полки 5, загрузочного трубопровода подачи исходной минерализованной пульпы 7 с регулировочной задвижкой 8, имеющего после этой задвижки поперечное сечение в виде равнобедренного треугольника, открытого верхнего конца обогатительной трубы, представляющей собой разгрузочную часть 9, трубопровода выгрузки тяжелой фракции 10 с регулировочной задвижкой 11, желоба выгрузки легкой фракции 12, шарнирной опоры 13 и домкрата 14.

Работа оборудования

Предлагаемый противоточный сепаратор работает следующим образом. Исходный уголь в виде минерализованной пульпы с содержанием твердых частиц 500 г/л подается по загрузочному трубопроводу 7 под давлением 10...20 кПа внутрь обогатительной трубы 3 через ее верхний конец, непосредственно на верхнюю разделительную полку 6.

Эта полка установлена соосно с центральной продольной осью обогатительной трубы 3 и делит ее на две равные части по высоте. Длина полки 6 составляет 1/3 общей длины обогатительной трубы 3. Перед загрузкой исходной минерализованной пульпы на полку 6 она проходит через загрузочный трубопровод 7, выполненный в виде дуги с поворотом на 180°.

Вследствие этого в загрузочном трубопроводе возникает центробежная сила $F_{ц}$, которая отбрасывает тяжелые частицы породы (тяжелую фракцию) внутрь трубопровода к его периферийной части, т. е. перед подачей минерализованной пульпы во

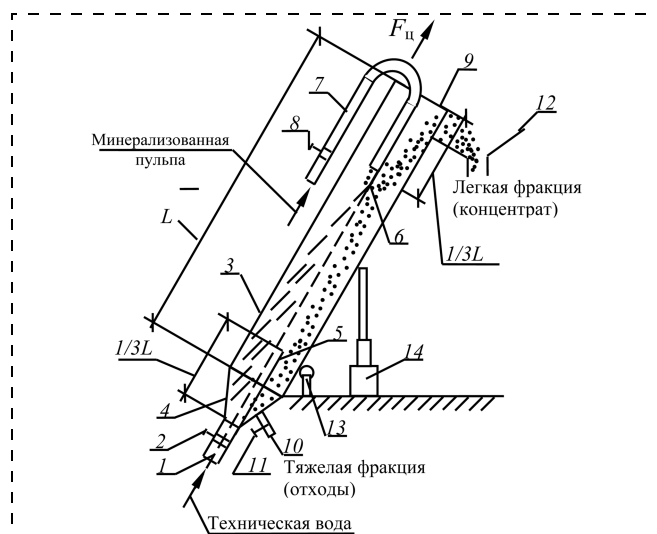


Рис. 1. Схема противоточного сепаратора для обогащения мелких классов угля

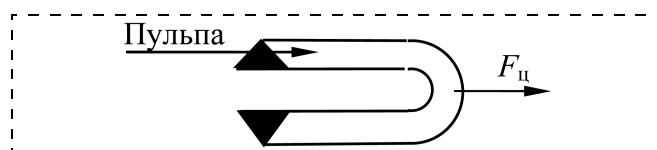


Рис. 2. Загрузочный трубопровод

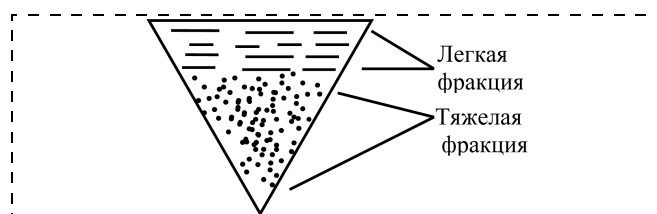


Рис. 3. Схема распределения материала по плотности под действием центробежной силы $F_{ц}$

внутрь обогатительной трубы уже происходит предварительное распределение мелкого угля по плотностям: внизу потока находятся тяжелые частицы (тяжелая фракция), а сверху потока — легкие частицы (легкая фракция). В целях создания более благоприятных условий для разделения минерализованной пульпы по плотностям загрузочной трубопровод 4 имеет поперечное сечение в виде равнобедренного треугольника (рис. 2). Тяжелая фракция под действием центробежной силы $F_{ц}$ отбрасывается в вершину равнобедренного треугольника (рис. 3), которая после поворота загрузочного трубопровода находится в нижней его части, а легкая фракция располагается сверху потока и по его бокам.

Навстречу потоку минерализованной пульпы снизу вовнутрь обогатительной трубы 3 через трубопровод 1 подается техническая вода под давлением 101...152 кПа. Техническая вода подается на нижнюю разделительную полку 5, ее количество и скорость регулируются задвижкой 2. Длина нижней разделительной полки также составляет 1/3 длины обогатительной трубы. При этом разделительная полка 5 должна находиться ниже центральной оси трубы 3. Несоосное расположение разделительных полок 5 и 6 обеспечивает полное пересечение потоками технической воды потока минерализованной пульпы. Не принимая во внимание силу сопротивления воды и выталкивающую архимедову силу, во встречных потоках воды на каждую угольную (легкую) и породную (тяжелую) частицы действуют в основном три силы: сила потока технической воды, направленного снизу вверх, сила потока минерализованной пульпы, направленного сверху вниз, и гравитационная сила, направленная вниз.

Поскольку давление технической воды больше давления минерализованной пульпы примерно в 5 раз (при одинаковых сечениях трубопроводов), то скорость потока технической воды будет примерно в 5 раз выше скорости потока минерализованной пульпы.

В связи с тем, что при предварительном разделении потока минерализованной пульпы по плотностям наиболее тяжелые частицы находятся в центре потока, а легкие частицы — сверху и по краям потока, то крайне важно разделить встречный поток технической воды и направить его в места сосредоточения легких частиц. Для этого необходимо на нижней разделительной полке 5 (см. рис 1) установить разделяющие плиты (рис. 4), которые направят основные потоки технической воды в верхнюю часть потока минерализованных частиц и по его бокам, что обеспечивает более эффективное отделение легких частиц от тяжелых.

После отделения легких частиц от тяжелых все частицы находятся в состоянии "витания". То есть

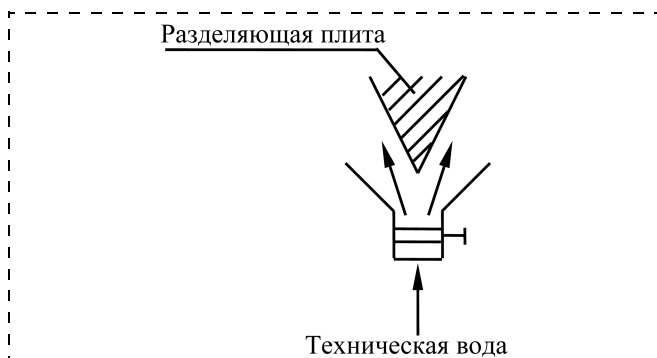


Рис. 4. Устройство подачи технической воды

под действием гравитационной силы все частицы опускаются вниз с различными скоростями конечного падения, но одновременно на них снизу действует восходящий поток технической воды. Поэтому скорость падения всех частиц резко снижается и они как бы парят внутри потока технической воды.

Поскольку легкие частицы имеют конечную скорость падения в несколько раз меньшую, чем скорость падения тяжелых частиц, то они восходящими потоками технической воды транспортируются вверх по наклонной обогатительной трубе 3 (см. рис. 1) и, пройдя путь под верхней разделительной полкой 6, выгружаются с потоками воды через открытый верхний конец обогатительной трубы 3 в желоб выгрузки легкой фракции 12. Тяжелые частицы имеют большую конечную скорость падения, поэтому они преодолевают силу восходящего потока технической воды и опускаются вниз по обогатительной трубе в пространство под нижней разделительной полкой 5. Далее тяжелые частицы поступают в коническую часть 4 обогатительной трубы 3 и отсюда выгружаются через трубопровод выгрузки тяжелой фракции 10. Количество выгружаемой тяжелой фракции регулируется задвижкой 11.

Выходы тяжелых и легких фракций регулируются тремя параметрами: скоростью восходящего потока технической воды, скоростью нисходящего (встречного) потока минерализованной пульпы и наклоном обогатительной трубы 3 к горизонту. С увеличением скорости восходящего потока технической воды и уменьшением угла наклона обо-

гатительной трубы выход легкой фракции увеличивается и наоборот. Но при увеличении выхода легких фракций увеличивается их зольность, т. е. снижается качество обогащаемого угля.

Выводы

В настоящее время в ОАО "ЦОФ "Гуковская" смонтирован полупромышленный образец противоточного сепаратора с обогатительной трубой сечения 400×600 мм и длиной 6 м. В ближайшее время будет проведено его испытание в различных режимах.

По сравнению с применяемыми в настоящее время на обогатительных фабриках сепараторами КНС, гидросайзерами ТБС, флотомашинами предлагаемый противоточный сепаратор для обогащения мелких классов угля имеет ряд преимуществ.

1. Простота устройства сепаратора.
2. Низкие затраты на производство сепаратора: 250 тыс. руб. при производительности 30 т/ч; для сравнения, гидросайзер ТБС 3650 имеет стоимость 7,2 млн руб. при производительности 180 т/ч.
3. Простота регулирования технологических параметров.
4. Низкие эксплуатационные расходы.

Наличие указанных достоинств предлагаемого сепаратора при внедрении его в производство позволит значительно упростить технологическую схему обогащения углей, снизить эксплуатационные расходы на процесс обогащения угля, решить проблему сбыта высокозольных шламов на фабриках, обогащающих энергетические угли, что, в конечном итоге, позволит углеобогатительным фабрикам работать с более высоким экономическим эффектом.

Список литературы

1. **Техника** и технология обогащения углей: справочное руководство / Беловолов В. В., Бочков Ю. Н., Давыдов М. В. и др. / Под ред. В. А. Чантурия и А. Р. Молявко. М.: Изд. РАН, 1995. 622 с.
2. **Шохин В. Н., Лопатин А. Г.** Гравитационные методы обогащения. М., 1980. 350 с.
3. **Кирнарский А. С., Иванченко А. Н.** К вопросу эффективной работы гидросайзеров / Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 8. С. 235—237.

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

Дизайнер Т.Н. Погорелова. Технический редактор Е.В. Конова. Корректор Т.В. Пчелкина.

Сдано в набор 16.05.2013. Подписано в печать 27.06.2013. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ ГО613. 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.

Оригинал-макет ООО "Авансд солишнз". Отпечатано в ООО "Авансд солишнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.