© Ю.С. Рудь, Н.В. Драбина, 2006

УДК 621.65+519

Ю.С. Рудь, Н.В. Драбина

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КОРПУСОВ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ 8 ГР 350/40 С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ STATISTICA 6.0

Семинар № 16

Постановка проблемы. Надежность системы технологического оборудования обогатительной фабрики в значительной степени зависит от надежности работы насосных установок, которые непосредственно участвуют в процессе обогащения железной руды. Известно, что надежность отдельных элементов системы технологического оборудования определяет уровень надежности системы в целом и является важным фактором ее эффективности функционирования. Следует отметить, что повышение надежности технологического оборудования обогатительных фабрик непосредственно влияет на уровень автоматизации технологического процесса, на величину затрат на ремонт и убытки от простоев оборудования, на повышение безопасности работы обслуживающего персонала. Между тем, надежность технологического оборудования обогатительных фабрик, в настоящее время изучена не в полной мере. Надежность технологического оборудования обогати-тельных фабрик имеет свою специфику, связанную с преобладанием износовых и усталостных отказов, крайне тяжелых условий эксплуатации: большое число факторов внешней среды, их значительные колебания, сложность физико-химических процессов, протекающих в материалах.

Анализ последних исследований и публикаций. В монографии [1] приведены основные положения вероятностно-статистической теории надежности, даются формализованный подход к определению основных понятий теории надежности, различные подходы при оценке характеристик надежности, методы проверки гипотез и теория резервирования. Интерес представляет книга Дж. Сандлера [2] по теории проектирования сложных систем с заданными показателями надежности. В книге, значительное место уделено моделям обслуживаемых систем, какими являются технологические узлы, обогатительных фабрик, и, в частности, законам распределения продолжительности времени отказов и восстановлений обслуживаемых систем с ремонтами. В книге И. Базовского [3], написанной по материалам служб надежности авиационных фирм США, представляют интерес главы, в которых дается определение так называемого «эффекта перемешивания», который проявляется также в условиях работы оборудования обогатительных фабрик. Болошин Н.Н., Гашичев В.И. в работе [4] изложили методы исследования и определения количественных показателей надежности технологических узлов и оборудования обогатительных фабрик. Здесь приводятся определение и классификация отказов, выбор и расчет показателей надежности, методика сбора и обработки статистических данных для оценки надежности узлов и оборудования. Приведены экспериментальные данные показателей

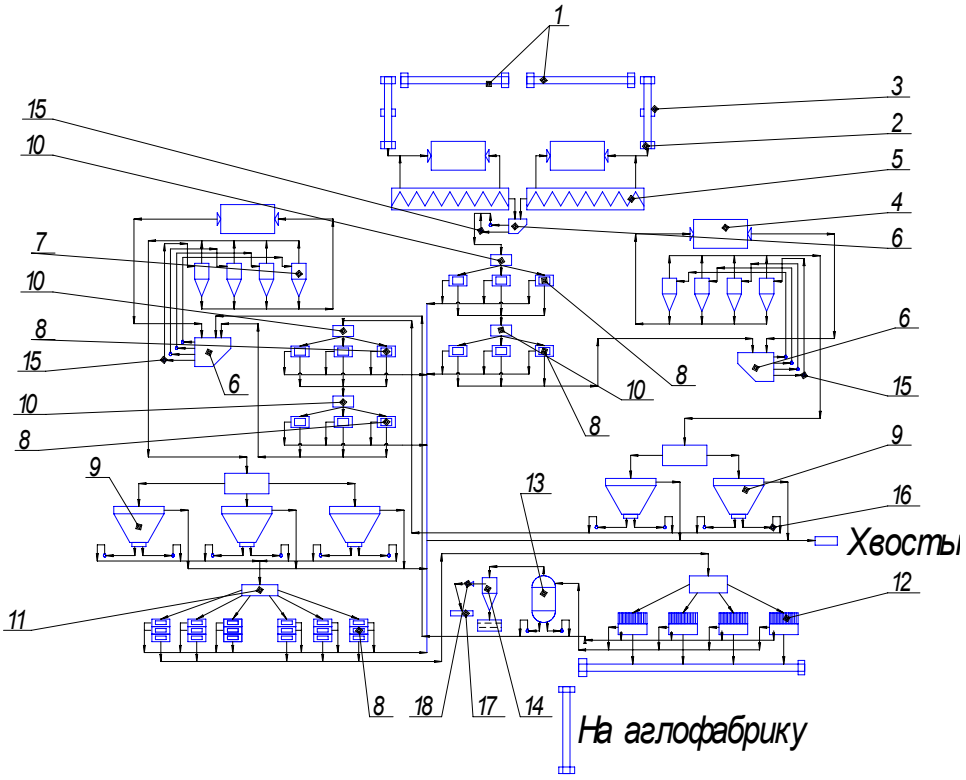


Рис. 1. Схема цепи аппаратов одной секции РОФ -1: *1* – конвейер ленточный *B* = 1000 мм, *L* = 12,76 м; *2* – конвейер лнточный *B* = 1000 мм, *L* = 14,14 м; *3* – весы конвейерные ленточные; *4* – мельница шаровая; *5* – класификатор спиральный; *6* – технологические зумпфа; *7* – гидроциклон; *8* – сепаратор магнитный; 9 – дешламатор магнитный; *10* – пульподелитель 4-х струйный; *11* – пульподелитель 6-ти струйный; *12*– вакуум фильтр дисковый; *13* –вакуум ресивер; *14* – ловушка; *15* – насос центробежный грунтовый 8 ГР 350/40; *16* – насос центробежный грунтовый 5 ГР 160/31,5 и 5 ГР 170/40.

надежности основных технологических узлов при их эксплуатации на фабриках обогащения. В книге [5] Маликова И.М., Половко А.М. изложены основные положения теории надежности, дается методика расчета надежности сложных систем, трактовка некоторых вопросов терминологии теории надежности, математическая трактовка количественных характеристик надежности приводится. В работе [6] Ю.С. Рудь изложены основные теоретические положения методов количественной оценки и расчета надежности технологического оборудования фабрик окускования железорудных концентратов. Рассмотрены вопросы выбора основных показателей надежности и их статистической оценки в условиях эксплуатации. Получены количественные значения основных показателей эксплуатационной надежности технологического оборудования фабрик окускования. Произведен анализ отказов оборудования и определены наименее надежные узлы и детали.

Основная цель данной работы – адаптация и использование стандартной программы Statistica 6.0 для математической обработки результатов статистических исследований работы колес грунтовых насосов типа 8 ГР 350/40, эксплуатируемых на обогатительных фабриках. Предполагается получить статистическую информацию о надежности оборудования, обеспечить ее систематизацию, найти законы распре-

Таблица 1

Тип насоса	Наименование отказавшей детали	N	Стадия	T_{max}	d	r_3	$t_н$ (расчетное)	$t_н$ (фактическое)
8ГР	Корпус	78	1	1654	60	0,87	2471,49425	18408
8ГР	Корпус	126	2	2200	93	0,89	3349,03951	18408
8ГР	Корпус	29	3	3360	28	0,8	4350	18408

деления наработок между отказами и их параметры, что позволит предложить математическую модель, отражающую изменение надежности работы узлов насосов во времени.

Исследование эксплуатационной надежности узлов грунтовых насосов типа 8 ГР 350/40 базируется на статистических данных об отказах, полученных в условиях их промышленной эксплуатации на РОФ – 1 ОАО "ЮГОК" в ходе наблюдения за работающим оборудованием. Объектом исследований в ходе наблюдений были грунтовые насосы типов 8 ГР 350/40 (производства криворожского ОАО "Ремгормаш" и днепропетровского завода Днепротяжбумаш им. Артема). Для удобства в дальнейшем будем называть насосы, выпущенные ОАО "Ремгормаш"– 8ГР, а насосы, выпущенные днепропетровским заводом, – 8ГР ДТБМ. Насосы 8ГР 350/40 (рис. 1, *15*)перекачивают промпродукт из зумпфа первой стадии измельчения (крупностью 50-56 % класса 0,074 мм, плотностью 1,6 кг/дм^3) на первую стадию магнитной сепарации *8*. Кроме того, насосы этого типа перекачивают материал из зумпфа *6* второй и третьей стадии магнитной сепарации на гидроциклоны *7* второй (крупностью 80–82 % класса 0,074 мм, плотностью 1,25 кг/дм^3) и третьей (крупностью 97-98 % класса 0,074 мм, плотностью 1,15 кг/дм^3) стадий магнитного обогащения.

На момент отказа насосов оборудованием проводилось дежурным персоналом обогатительной фабрики при участии одного из авторов данной работы. Статистические данные наблюдений дополнялись сведениями, полученными из опросов механиков, рабочих, обслуживающих насосы. Требования, которые предъявлялись к информации: достоверность, полнота, достаточный объем статистической информации, надежность.

Продолжительность наблюдений за работой механического оборудования $t_н$ вычислялась авторами по методике [7], согласно которой

$$t_н = Nt_{max} / dr_3 , \quad (1)$$

где N – число отказов оборудования за время $t_н$; d – количество объектов наблюдения r_3 – коэффициент, определяемый по табл. 1.2 [7, с. 186] (для доверительной вероятности γ = 0,9 и относительной погрешности δ = 0,1); T_{max} – время наработки между отказами для оборудования с наибольшей наработкой на отказ. Расчетные данные по продолжительности наблюдений приведены в табл. 1.

Как видно из полученных расчетов, сведенных в табл. 1, фактическое время наблюдения $t_{н\text{факт}}$ значительно превышает необходимое расчетное $t_{н\text{расч}}$, что позволяет судить о достаточном объеме собранных данных.

Математическая обработка статических данных проводилась по этапам работы следующим образом: 1) анализ и группирование статистических данных о надежности; построение статистических таблиц; 2) ввод данных в компьютер для дальнейшей обработки с помощью программы Statistica 6.0; 3) построение диаграммы причин отказов насосов; 4) построение категорированных графиков *квантиль-квантиль (К-К)*; 5) исключение выбросов; 6) определение вида функции плотности вероятности безотказной работы; 7) вычисление параметров получен-

ных распределений; 8) проверка адекватности выбранного распределения с помощью критериев согласия Пирсона.

Построение диаграммы причин отказов насосов. Специфические свойства перекачиваемых насосами материалов — наличие крупных твердых включений и их абразивность. Перемещая в процессе работы значительное количество абразивного материала, насосы оказываются под разрушительным воздействием движущихся в потоке твердых частиц и подвергаются интенсивному изнашиванию. В связи с этим особое значение приобретают меры, способствующие максимальному снижению износа деталей и увеличению срока их службы. На рис. 2 представлена диаграмма распределения причин отказов грунтовых насосов 8ГР 350/40 (8ГР и 8ГР ДТБМ) по частоте их возникновения.

Из диаграммы причин отказов грунтовых насосов видно, что наибольшее число отказов приходится на такой тип отказа как разрушение корпуса (42 %). Вторым по числу отказов является выход со строя подшипников (27 %). Немного меньше занимает такой вид отказа, как износ рабочего колеса (21 %). Незначительная доля отказов (10 %) приходится на такой вид отказа, как биение и выработка вала. Детальный анализ причин отказов описан в статье [8].

Построение категорированных графиков квантиль-квантиль (К-К). Экспериментальные данные наносятся на специальную графическую бумагу, предназначенную для определенного распределения. Если статистическая модель отказов выбрана правильно, то точки образуют прямую линию. Если модель не подходит, то график не будет линейным и на нем можно наблюдать степень и характер отклонений точек от прямой. Если окажется, что модель достаточно хорошо соответствует экспериментальным данным, то с помощью графика можно оценить процентили и значения параметров распределений. Этот метод позволяет наглядно представить имеющиеся экспериментальные данные, определить адекватность принятой вероятностной модели, оценить процентили распределения, оценить параметры распределения.

Строим категорированные графики квантиль-квантиль для насосов типа 8ГР 350/40 (8ГР и 8ГР ДТБМ) по стадиям работы насосов, отказ – *разрушение корпуса насоса*.

На рис. 3 показаны графики квантиль-квантиль (или кратко — *график К-К*), построенные для нахождения наиболее подходящего распределения из выбранного семейства распределений. Вначале выбираем вид семейства распределений, внутри которых производится подгонка. Исходя из физической природы отказов, теоретических раз-мышлений и характерных для данных видов распределений небольшого числа параметров, проверим наиболее вероятный вид распределения для данного вида износа – распределение Вейбулла (рис. 3). Распределение Вейбулла применяется тогда, когда вероятность отказа меняется с течением времени. (В данной работе приводятся только те графики квантилей, которые удовлетворительно согласуются с выбранными распределениями и имеют непосредственное отношение к данному типу отказов. Остальные распределения не приводятся из-за ограничения объема статьи).

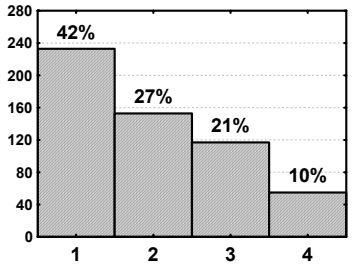


Рис. 2. *1* - разрушение корпуса; *2* - износ рабочего колеса; *3* - выход со строя подшипников *4* - биение, выработка вала)

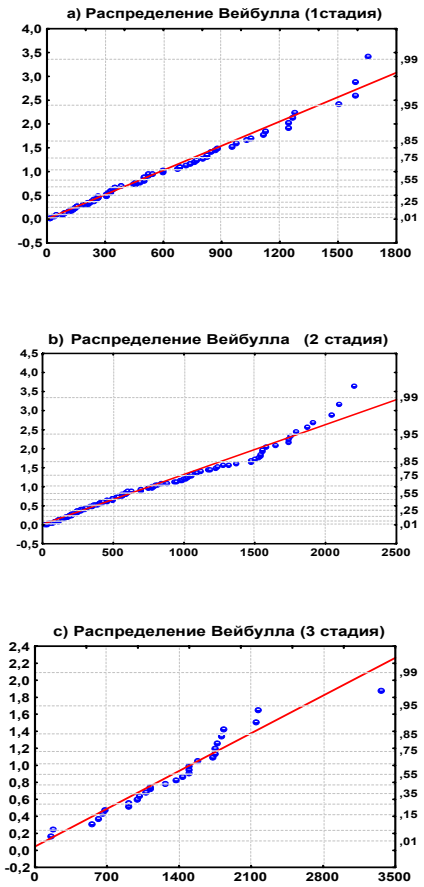


Рис. 3. Графики квантилей для распределения Вейбулла: *a, b, c* – соответственно 1, 2 и 3 стадии работы насоса

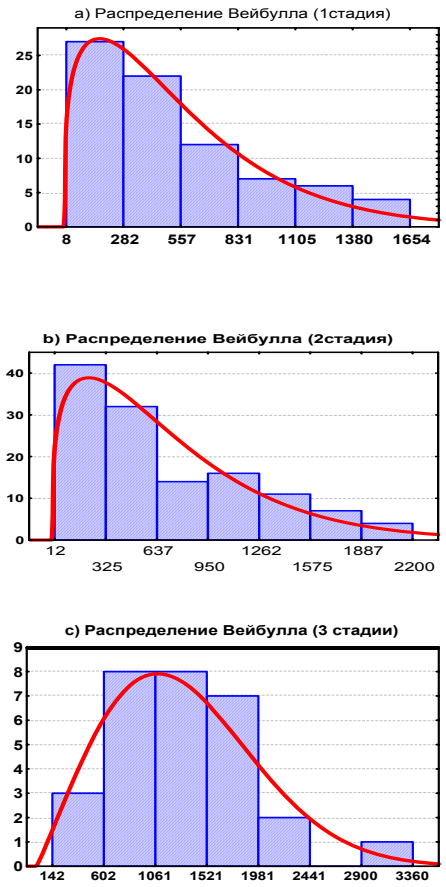


Рис. 4. Гистограммы распределения Вейбулла: *a, b, c* – соответственно насосы 1, 2, 3 стадий

Проанализируем полученные графики рис. 3. Как видно из графиков, точки наблюдаемых значений попадают на прямую линию (линию регрессии). Это дает основание утверждать, что полученные статистические данные удовлетворительно согласуются с распределением Вейбулла для насосов 8ГР и 8ГР ДТБМ всех стадий технологической схемы. На рис. 3, *a*, *b* заметны значительные отклонения точек в области больших значений, что на графиках отображается в виде хвостов. “Выбросы” (нетипичные данные), искусственным образом увеличивают или уменьшают (“смещают”) значения параметров распределений. Чтобы исключить крайние точки графиков 3, *a*, *b*, воспользуемся методикой [9]. Произведем расчеты согласно формулам

$$v = (T(n) - T) \Big/ \sqrt{(n-1)/n}\, \Delta s, \qquad (2)$$

где *T(n)* — наибольшее значение параметра в выборке из *n* наблюдений; *T* — наименьшее значение параметра в этой же выборке; Δs — средняя погрешность, определяемая по формуле:

$$\Delta s = \sqrt{(1/(n-1)) \sum_{i=1}^{n} \Delta T_i^2}. \qquad (3)$$

Если полученное значение υ превышает υ_{max}, полученное из приложения IX [9,

с.99] для уровня надежности $\alpha = 0{,}9$ при числе наблюдений *n,* то значение параметра *T(n)* или *T(1)* рассматривается как выброс и исключается из выборки. Согласно формулам (2, 3) были рассчитаны $\upsilon = 2{,}4$ – для насосов первой стадии; $\upsilon = 2{,}48$ – для насосов второй стадии. Находим υ_{max} для насосов первой стадии (приложение IX [9]) при уровне надежности $\alpha = 0{,}9$ при числе наблюдений $n = 78$ - $\upsilon_{max}=2{,}99$. Т.е. $\upsilon < \upsilon_{max}$ и значение $T = 1654$ ч нельзя считать выбросом. Находим υ_{max} из приложения IX [9] для насосов второй стадии при уровне надежности $\alpha = 0{,}9$ и при числе наблюдений $n = 126$ - $\upsilon_{max}=3{,}16$. Т.е. $\upsilon < \upsilon_{max}$ и значение $T = 2200$ ч нельзя считать выбросом.

Определение вида функции плотности вероятности безотказной работы. Вычисление параметров полученных распределений. По результатам обработки статистических данных и согласно предварительному анализу, полученному с помощью категорированных графиков квантиль-квантиль времени безотказной работы корпуса грунтовых насосов 8 ГР 350/40, строим с помощью программы Statistica 6.0 гистограмму распределения, на которую накладывается теоретическая кривая распределения. По виду кривой можно судить о возможном теоретическом законе распределения.

На рис. 4 показаны кривые плотности распределения времени безотказной работы, характеризующие частость, с которой с течением времени корпуса насосов выходят из строя. Плотность распределения показывает, как распределяются отказы во времени, на каких участках времени отказы имеют наибольшую частость, на какой из стадий работы корпус насоса имеет наибольшее или наименьшее рассеяние отказов. По виду кривой плотности распределения определяют физическую природу процессов и закономерности, которым они подчиняются. Из кривых видно, что распределение опытных данных близко к распределению Вейбулла. Значение параметров рассматриваемых распре-делений, сведены в табл. 2.

Плотность распределения Вейбулла описывается такой функцией:

$$f(x) = b/a\left(x/a\right)^{b-1}\exp\left[-\left(x/a\right)^{b}\right] \qquad (4)$$

где *a*, *b* – соответственно параметры масштаба и формы, $a>0,\ b>0$

Как бы хорошо ни была подобрана теоретическая кривая, между теоретическим и статистическим распределениями существует расхождение. Необходимо установить, обусловлены ли эти расхождения ограниченным количеством статистических данных и методом их сбора, или вызваны плохим совпадением теоретической кривой и экспериментальных данных. Для оценки степени близости теоретической и экспериментальной функций распределения используется ряд критериев, например критерии Пирсона и Колмогорова [1, 43]. Нами согласие экспериментальных и теоретических функций надежности корпусов насосов определялось по критерию Пирсона [10-11]. Для расчета критерия Пирсона χ^2 определяют степень расхождения согласно формуле

$$\chi^2 = Nh_i\sum_{i=1}^{k}\left|\ f_Э(x_i) - f_T(x_i)\ \right| / f(x_{cp}) \qquad (5)$$

где *N* – общее количество наблюдений; h_i – ширина *i*-го интервала; *k* – количество интервалов $f_Э(x)$, $f_T(x)$ – соответственно эмпирическая и теоретическая плотности вероятности распределения; $t_{сер}$ – середина *i*-го интервала.

Данные расчетов по критерию Пирсона для распределения Вейбулла просчитывались с помощью программы Excel (табл. 2). Если вероятность согласия распределения $P(\lambda) \geq 0{,}05$, то статистическое распределение согласуется с теоретическим, т.е. нет достаточных оснований отклонять гипотезу. Для функций безотказной работы корпусов грунтовых насосов критерий Пирсона χ^2 показал хорошую сходимость для закона Вей-

Таблица 2

Кол-во данных	Стадия	Распределение	Параметр		Критерии согласия	Значение вероятности *P(λ)*
			форма	масштаб	Пирсона	Пирсона
78	1	Вейбулла	1,2629	576,87	3,13	0,38
126	2	Вейбулла	1,2659	748,52	7,15	0,13
29	3	Вейбулла	2,0730	1480,3	1,13	0,57

булла. Вероятность согласия насосов работающих на первой стадии $P(\lambda)$ = 0,38, на второй стадии $P(\lambda)$ = 0,13, на третьей стадии. $P(\lambda)$ = 0,57.

Выводы. Полученные в результате наблюдений за процессом эксплуатации технологического оборудования обогатительных фабрик на РОФ – 1 ОАО "ЮГОК" статистические данные о надежности рабочих корпусов насосов типа 8ГР 350/40, систематизированы, обработаны. С помощью программы Statistica 6.0 получены квантили, гистограммы распределения статистических закономерностей. Выполнена проверка распределения Вейбулла с помощью критерия $\chi 2$ Пирсона по насосам трех стадий. Согласно критерию Пирсона χ^2 значение вероятности согласия насосов первой стадии для распределения Вейбулла

составило $P(\lambda)$ = 0,38, насосов второй стадии $P(\lambda)$ = 0,13, насосов третьей стадии $P(\lambda)$ = 0,57.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
2. *Сандлер Дж.* Техника надежности систем. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
3. *Базовский И.* Надежность. Теория практика. – М.: Мир, 1965. – 377 с.
4. *Болошин Н.Н., Гашичев В.И.* Надежность работы технологических узлов и оборудования обогатительных фабрик. – М.: Недра , 1974. – 136 с.
5. *Маликов И.М., Половко А.М. и др.* Основы теории и расчета надежности– Л.: СУДПРОМГИЗ , 1960. – 144 с.
6. *Рудь Ю.С.* Надежность и эффективность оборудования фабрик окускования. – М.: Недра , 1977. – 200 с.
7. *Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И.* Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: Советское радио, 1968. – 288 с.
8. *Рудь Ю.С., Драбина Н.В.* Анализ технического состояния насосных установок на обогатительных фабриках горно-обогати-тельных комбинатов // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: Минерал, №87, 2004 – С. 103
9. *Кассандрова О.Н., Лебедев В.В.* Обработка результатов наблюдения. – М.: Наука, 1970. – 105 с.
10. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
11. *Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М.* Надійність машин. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.

Коротко об авторах

Рудь Ю.С. – доктор технических наук, профессор,
Драбина Н.В. – аспирантка,

Криворожский технический университет.

© В.С. Шестаков, В.А. Стрекотин, 2006

УДК 622.242

В.С. Шестаков, В.А. Стрекотин

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Семинар № 16

Одним из направлением научной деятельности кафедры горных машин Уральского государственного горного университета является совершенствование нефтегазового оборудования. Исследования проводятся совместно департаментом развития нефтегазового оборудования фирмы ОМЗ-Морские и нефтегазовые проекты. При обзорном анализе выявилась потребность в разработке новых и уточнения существующих методик расчета параметров буровых установок для нефтяных скважин. Используемые в настоящее время методики имеют некоторые недостатки, так, в них не обеспечен поиск оптимальных параметров. Разрабатываемые нами методики предназначены для реализации на ЭВМ, поэтому в них решено было применять имитационные модели работы механизмов, обеспечивающие возможность расчета значений при минимуме допущений.

В созданной к настоящему времени и реализованной в виде программы для ЭВМ методике выполняется расчет параметров подъемных лебедок буровых установок: мощности привода; передаточного отношение лебедки; параметров механической характеристики привода; продолжительность рабочего цикла.

В разрабатываемой методике реализован рабочий процесс подъемной лебедки, включающий следующие операции при подъеме бурильной колонны из скважины: подъем бурильной колонны из скважины на длину свечи; посадка колонны на клинья, развинчивание, установка свечи на подсвечник; спуск порожнего элеватора; захват бурильной колонны.

При опускании бурильной колонны в скважину включены операции: спуск бурильной колонны в скважину на длину свечи; развинчивание, перенос штропов; подъем порожнего элеватора; установка свечи из свечеприемника и завинчивание.

Разработанная к настоящему времени методика позволяет:

- подбирать наиболее двигатель для проектируемой буровой установки;
- проводить исследования по выбору конструктивной схемы механизма (с односкоростным или двухскоростным редуктором, с опусканием бурильной колонны и порожнего элеватора двигателем или тормозом), по влиянию параметров лебедки (размеров барабана, передаточного отношения, мощности и настроечных параметров привода, моментов инерции и масс элементов и др.) на основную функцию лебедки - продолжительность подъема и опускания бурильной колонны;
- определять продолжительность подъема и опускания бурильной колонны с учетом конструктивного исполнения механизма, механической характеристики привода, изменения нагрузок на крюке по мере изменения длины бурильной колонны;
- определять оптимальное передаточное отношение механизма по критерию продолжительности подъема и опускания бурильной колонны заданной длины для одно- и двухскоростного редуктора;
- определять загрузку двигателя в процессе работы.

Расчет параметров в разработанной методике начинается с выбора приводного двигателя. Алгоритм построен следую-

щим образом. Начиная с минимальной мощности, принимается двигатель из числа выпускаемых заводами, который может быть применен для буровых установок. Двигатель может быть постоянного тока или переменного с частотным регулированием. Для этого двигателя выполняются расчеты по определению передаточного отношения механизма, по определению продолжительности подъема и опускания бурильной колонны, рассчитывается стоимость механизма. Такие расчеты выполняются для всех двигателей, возможных для применения в приводе. При последующем сравнении результатов расчетов принимается «лучший» вариант, т. е. проводится структурная оптимизация исполнения привода.

Внутри цикла выбора двигателя присутствует цикл перебора возможных конструктивных схем: с односкоростным или двухскоростным редуктором, с опусканием бурильной колонны и порожнего элеватора двигателем или тормозом. Для каждой конструктивной схемы составлена имитационная модель рабочего процесса, позволяющая имитировать процесс подъема бурильной колонны из скважины и опускания ее в скважину при замене долота, имитировать работу механизма при перемещении на длину свечи крюкоблока с бурильной колонной и без нее. Имитация работы механизма выполнения с помощью дифференциальных уравнений движения элементов. Рабочий процесс двигателя в механизме реализован через механическую характеристику привода, электромагнитные процессы, ввиду их малого влияния на продолжительность движения, не учитываются. Такое упрощение позволило существенно понизить сложность математической модели и сократить время расчетов, что является немаловажным при проведении оптимизационных расчетов. В модели реализованы три варианта механических характеристик привода: постоянного тока с так называемой отсечкой по току, постоянного тока и переменного тока с частотным регулированием по закону постоянства мощности, с заданием характеристики отрезками.

При расчете параметров механической характеристики для расчета максимального момента и максимальной скорости используют данные завода изготовителя. В применяемых в настоящее время приводах максимальный момент в 1,8–2,5 раза больше номинального, максимальная скорость при использовании ослабления поля в 1,5-6 раз больше номинальной (больший коэффициент для двигателей с частотным регулированием). По данным заводов-изготовителей и определяются максимальные значения момента и скорости статической характеристики. С заданием мощности при регулировании по закону постоянства мощности несколько сложнее. В известных методиках предлагается использовать номинальную мощность двигателя. На наш взгляд при определении значения N_p необходимо учесть такую особенность работы подъемной лебедки, как значительные изменения момента на валу двигателя. При перемещении порож-него крюкоблока момент значительно меньше, чем при перемещении бурильной колонны. С учетом этого можно задавать для регулирования мощность, большую номинальной. Точное значение мощности регулирования может быть определено только в процессе уточненных расчетов при определении коэффициента загрузки. При задании значения мощности регулирования необходимо учитывать мощность применяемых в приводе преобразователей, так как зачастую их стоимость выше стоимости двигателя. Для проверочных расчетов можно начинать расчет с номинальной мощности преобразователя. Если расчеты выявят, что мощность регулирования, равная мощности преобразователя, приводит к перегреву двигателей, то следует уменьшить мощность регулирования для механической характеристики.

Пример графиков изменения момента на валу двигателя (а), скорости вала (б) и скорости крюка при подъеме бурильной колонны и опускании порожнего крюкоблока

При составлении математического описания модели для расчета продолжительности принята одномассовая расчетная схема. В процессе приведения параметров к звену приведения – валу двигателя использованы формулы приведения и попутно выполнен анализ составляющих в суммарном, приведенном к валу двигателя, моменте инерции.

Для буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ получены следующие значения приведенных к валу двигателя моментов инерции: двигателя с быстроходным валом и муфтой 45,2 %, барабана 44 %, шкивов талевой системы 3 %, каната талевой системы 4 %, бурильной колонны с поступательно движущими элементами 4,4 %. Таким образом, существенную долю в суммарном моменте инерции занимают муфты, валы и барабан. Такая малая составляющая бурильной колонны объясняется большим значением передаточного отношения. Ввиду большой доли в суммарном моменте привода имеется возможность в снижении этого момента, а значит и времени цикла. При исключении излишних запасов прочности, при установке малоинерционных элементов можно уменьшить суммарный момент инерции.

В процессе исследований выявлена еще одна интересная информация. При расчете приведенной к крюкоблоку суммарной массы всех элементов, расположенных за барабаном, получены следующие значения. Доля элементов в суммарной массе: бурильной колонны 39 %; шкивов талевой системы 28,4 %; каната талевой системы 32,6 %. Таким образом, шкивы и канат талевой системы обладают большой инерционностью и это приводит при подъеме порожнего крюкоблока к его переподъему при торможении, а иногда и к появлению

слабины каната. При наличии слабины происходит обратное движение крюкоблока, рывок каната и преждевременный его износ. Чтобы не появлялась слабина каната при торможении в методике предусмотрен расчет тормозного момента двигателя по условию обеспечения относительного ускорения тор-
можения двигателя меньшего, ускоре-ния торможения крюкоблока. Это приведет к постоянной натяжке каната. Относительно большая доля шкивов талевой системы определяет дополни-тельное требование к их проектированию: по возможности обеспечить снижение момента инерции. При уменьшении суммарного момента инерции шкивов можно будет обеспечить большие ускорения при торможении, будет меньший переподъем блоков.

Разработанная методика реализована в приложении Microsoft Excel с использованием алгоритмического языка Visual Basic для приложений. Выходной документ разработан в виде пояснительной записки, результаты расчета выводятся в таблицах и иллюстрируются графиками, что является очень удобным для анализа. Пример графиков представлен на рисунке.

Коротко об авторах

Шестаков В.С. – профессор,
Стрекотин В.А. – магистрант,

Уральский государственный горный университет.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
КАН ТХЭ САН	Исследование силового воздействия оползневых массивов на удерживающие конструкции Симплекс-методом	05.23.02	к.т.н.

© С.С. Коломников, 2006

УДК 622.271

С.С. Коломников

РАЗРАБОТКА И АДАПТАЦИЯ МЕТОДОВ

И СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНО-СТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар № 16

Циклично-поточная технология (ЦПТ) получила широкое применение для транспортирования руды в карьерах Кривбасса, Полтавского, Стойленского, Качканарского, Ковдорского, Оленегорского горно-обогатительных комбинатов и вскрышных пород в карьере Мурунтау Навоийского ГМК. Как известно, внедрение ЦПТ (с шириной ленты >1200 мм) при сокращении расстояния перевозки автомобильным транспортом на 1÷3 км уменьшает потребность в автосамосвалах на 9÷26 штук, высвобождает 40-120 рабочих, снижает расход дизельного топлива на 2,3÷6,8 тыс. т в год и загрязненность атмосферы карьера в 1,5÷2,0 раза. В настоящее время можно услышать диаметрально противоположные оценки применения ЦПТ. По карьерам Кривбасса ожидалось увеличение производительности в 1,5-2 раза, фактически прирост составил 10-17 %, а себестоимость добычи руды возросла с 2,11 до 2,31 руб/т. В то же время Ковдорский ГОК положительно оценивает ЦПТ и строит новые мощности, а Стойленский ГОК разобрал линию. Маловероятно, что столь противоположные оценки и подходы необъективны, скорее всего, негативные показатели стали следствии-ем непредвиденных и неучтенных на стадии проектирования и строительства технологических, технических и организационных особенностей ЦПТ.

Таким образом, необходима разработка и адаптация методов и средств интенсификации циклично-поточной технологии открытой разработки сло-жноструктурных месторождений с крутопадающими рудными телами, позволяющих повысить эффективность горно-транспортного оборудования в глубоких карьерах.

При этом идея заключается в том, что интенсификация циклично-поточ-ной технолог*и осуществляется за счет выявления резервов в технологических схемах работы горно-транспортного обо-рудования и использовании их адап-тационных возможностей к изменяю-щимся условиям открытой разработки сложно-структурных месторождений (физико-механических свойств горных пород, структуры массива, неравномерности грузопотоков и т.д.).

Для сложно-структурного месторождения выполнен анализ работы комплекса ЦПТ карьера Мурунтау. Рассмотрены структурные схемы взаимодействия элементов в его объектах. Результаты расчетов показателей надежности поточного звена комплекса ЦПТ свидетельствуют о том, что обе конвейерные линии смогут одновременно работать 72 % и 24 %, соответственно, продолжительности смены и месяца, причем только 55 % и 7 % с проектной нагрузкой. Время работы конвейеров в течение месяца составит t_p = 555 ч. (77 % календарного фонда времени), т. е. имеется значительный потенциал, не реализованный в проектных решениях и практике работы. Выполненный анализ распределения режимного времени и показателей надежности работы комплекса ЦПТ позволил установить, что между аварийными простоями комплекса и временем на проведение планово-предупредительных ремонтов имеется взаимосвязь (рис. 1), которая описывается параболической зависимостью. Это позволило на основании их оптимального соотношения разработать систему техническо-

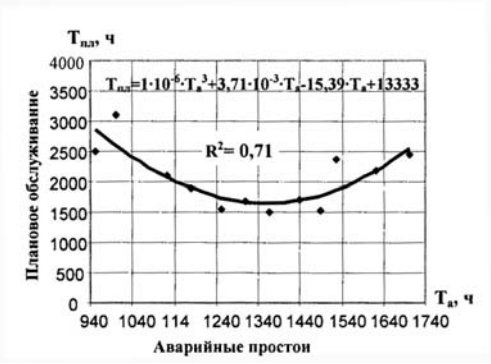


Рис. 1. Взаимосвязь плановых и аварийных простоев

го обслуживания, которая позволяет планировать наиболее производительный режим работы комплекса.

Для достижения комплексом максимальной производительности время технического обслуживания (ТО) должно составлять примерно 1400 ч в год.

В ходе исследований установлено, что на время технологических простоев большое влияние оказывают передвиж-ки отвального конвейера на новую от-вальную заходку. Увеличение шага передвижки сокращает простои комплекса за счет снижения количества передвижек, но увеличение целесообразно до некоторого предела, по достижении которого эффективность отвалообразования снижается из-за резкого роста затрат на бульдозерные работы и потерь отвальных площадей в верхнем ярусе конвейерного отвала в результате больших разрывов между заходками.

Для определения оптимального шага передвижки выполнен расчет эффективности формирования отвала шириной 240 м на всю длину отвального конвейера (1800 м) при высоте нижнего яруса 60, 90 и 120 м. По результатам расчетов получены зависимости, анализ которых позволяет установить область оптимальных значений шага передвижки отвального конвейера ($L_{ш.опт}$). Для высоты нижнего яруса 60 и 90 м она составляет 80-100 м.

Выполненный анализ распределения режимного времени показал, что часть производительности комплекс теряет по причине простоев из-за негабарита и заштыбовки на дробильно-перегрузоч-ных пунктах, а также дефицита горной массы, поступающей из цикличного зве-на. Причинами возникновения дефицита горной массы являются: отправка негабаритной и крупнокусковой фракций из забоев в отвалы, минуя комплекс ЦПТ; снижения производительности экскаваторно-автомобильных комплектов, работающих на комплекс в тяжелых забоях; недостаточным количеством экскаваторов в забоях рудно-по-родной зоны карьера, которое в связи с высокой изменчивостью потребительских свойств горной массы на сложноструктурных месторождениях является величиной случайной.

В результате экспериментов установлено, что интенсификация цикличного звена комплекса ЦПТ при разработке сложно-структурного месторождения возможна при корреляционной взаимосвязи качества дробления массива взрывом с удельным сопротивлением разрушенной горной массы копанию и производительностью оборудования. Для решения этой задачи в качестве обобщающего критерия оценки приняты энергозатраты в технологических процессах, что позволило обоснованно выбрать погрузочно-транспортное оборудование, в наибольшей мере соответствующего физико-техническим характеристикам сложноструктурного месторождения и горнотехническим ус-ловиям карьера.

Обработка результатов опытно-промышленных экспериментов в различных условиях позволила установить зависимость производительности экскаватора ЭКГ-8И за 1 ч чистого времени работы от среднего размера куска взорванной горной массы ($d_{ср}$) и получить следующее аналитическое выражение:

$$Q_{экг\text{-}8и} = 700 - 1900d_{ср}^2 + 36d_{ср} \qquad (1)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что по мере увеличения среднего размера куска взорванной горной массы производительность экскаватора ЭКГ-8И уменьшается и при $d_{ср} > 600$ мм его работа становится практически невозможной.

Установлено, что при прочих рав-ных условиях между удельным сопротивлением разрушенного массива копанию (K_F) и пределом прочности пород на сжатие ($\sigma_{сж}$) существует прямая зависимость линейного характера. Для определения сопротивления копанию при различных пределах прочности пород на сжатие и степени их дробления получено следующее выражение:

$$K_F = 0{,}75 \cdot 10^{-3}\, \sigma_{сж} + 0{,}07 e^{3{,}3 d_{-р}} - 0{,}07 \quad (2)$$

Выражение (2) позволяет определить удельное сопротивление разрыхленной горной массы копанию в реальном интервале изменения среднего размера куска для практически всего диапазона изменения предела прочности пород на сжатие, имеющего место при открытой разработке месторождений со сложными горно-геологическими условиями.

Экспериментальные исследования показали, что ЦПТ с использованием стационарных дробильно-перегрузоч-ных пунктов эффективна при наличии во взорванной горной массе кусков размером + 500 мм не более 15-20 %. С увеличением крупности горной массы, поступающей в дробилку, и при наличии кусков + 500 мм более 20 % производительность ДПП значительно снижается, возрастают износ футеровки, затраты на ремонт и, как следствие, работа ЦПТ становится малоэффективной. Экспериментальные работы по определению влияния кусковатости горной массы на производительность конусной дробилки КВКД-1200/200 в ДПП показали, что содержание класса + 500 ÷ 1000 мм в пределах 0,25 ÷ 1,1 % на производительность дробилки не влияет, а в случае появления фракции 1200 ÷ 1500 мм в исходном продукте в пределах 0,004 ÷ 0,005 % ее производительность снижается на 3-5 %.

Структура экскаваторных забоев характеризуется наличием в разрабатываемых блоках горной массы с различными потребительскими свойствами, что требует формирования грузопотоков различной направленности. Влияние на работу ЦПТ в этом случае проявляется через не стабильность поступления горной массы из забоев на перегрузочные пункты (рис. 2). Потери производительности комплексом ЦПТ из-за отсутствия экскаваторов и нахождения дробильно-перегрузочных пунктов в резерве по итогам 2000-2002 гг. составляют до 49 % от всех простоев.

Таким образом, установлено, что на эффективность комплекса ЦПТ наибольшее влияние оказывают физико-механические свойства разрабатываемого горного массива, с которыми связано качество дробления пород взрывом и потребительские свойства горной массы, с которыми связаны характеристики грузопотоков.

Адаптация ЦПТ к физико-механическим свойствам горных пород реализуется через совершенствование методов определения параметров БВР, обеспечивающих наиболее эффективную работу выемочно-погрузочного оборудования, автотранспорта и перегрузочного пункта. Для ее реализации разработаны методы определения качества рыхления пород взрывом, позволившие, прежде всего, создать инструмент экспресс оценки гранулометрического состава взорванной горной массы в забоях на основе зависимости размера среднего куска взорванной горной массы от распределения кусков по фракциям.

Адаптация буровзрывных работ базируется на районировании карьера по трудности взрывания пород и гранулометрическому составу взорванной горной массы и осуществляется за счет оптимизации параметров БВР для рудной и породной зон

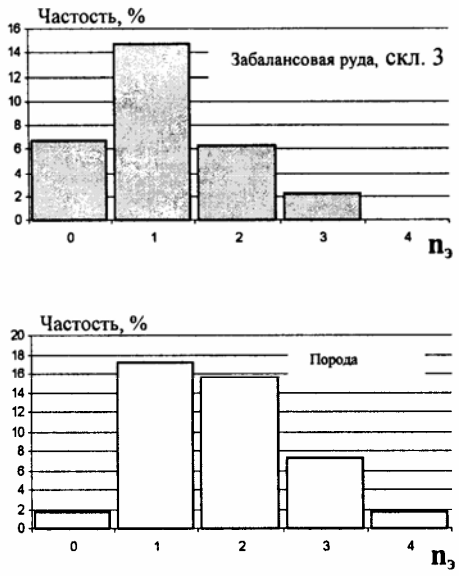


Рис. 2. Вероятность нахождения экскаваторов рудно-породной зоны в составе цикличного звена комплекса ЦПТ: ($n_э$ – количество экскаваторов в забое).

с учетом использования ЦПТ. Основным параметром оптимизации в этом случае выступает средний размер куска, рассматриваемый с позиции конечной цели использования минерального сырья (складирование в отвалы, переработка для получения продукции и т.п.).

Предложена схема оптимизации БВР основанная на энергетических характеристиках и стоимости используемого ЭВВ, а также рациональном размещении заряда ВВ в массиве. Для этого произведено районирование пород карьера по удельной энергии, затраченной при взрывной отбойке, в результате которой выделен ряд зон с интервалом изменения от 1,95 до 6,2 МДж/м^3. Для каждой зоны установлено оптимальное значение удельной энергии ($E_{опт}$), которое необходимо затратить на дезинтеграцию пород до необходимой степени дробления.

Оптимизация взрывной отбойки производится путем регулирования удельной энергии заряда путем сочетания в нем ЭВВ с различными значениями объемной концентрации энергии при изготовлении смесительно-заряд-ными машинами ЭВВ типа Нобилита или Нобелана с необходимыми энер-гетическими характеристиками. Алгоритм расчета представлен на рис. 3. После введения в программу исходных данных о принадлежности взрываемого блока к определенной зоне, сетке скважин, диаметре заряда, высоте уступа формируется колонка заряда из наиболее дешевого ЭВВ. Далее производится расчет удельной энергии при взрыве этого заряда, который сравнивается с оптимальной удельной энергией для этой зоны. Если результат соответствует оптимальной удельной энергии, он принимается для дальнейших расчетов. Если условие нарушено, то в зависимости от характера нарушения программа производит корректировку сетки расположения взрывных скважин или в состав заряда вводится ЭВВ с более высокой объемной концентрацией энергии.

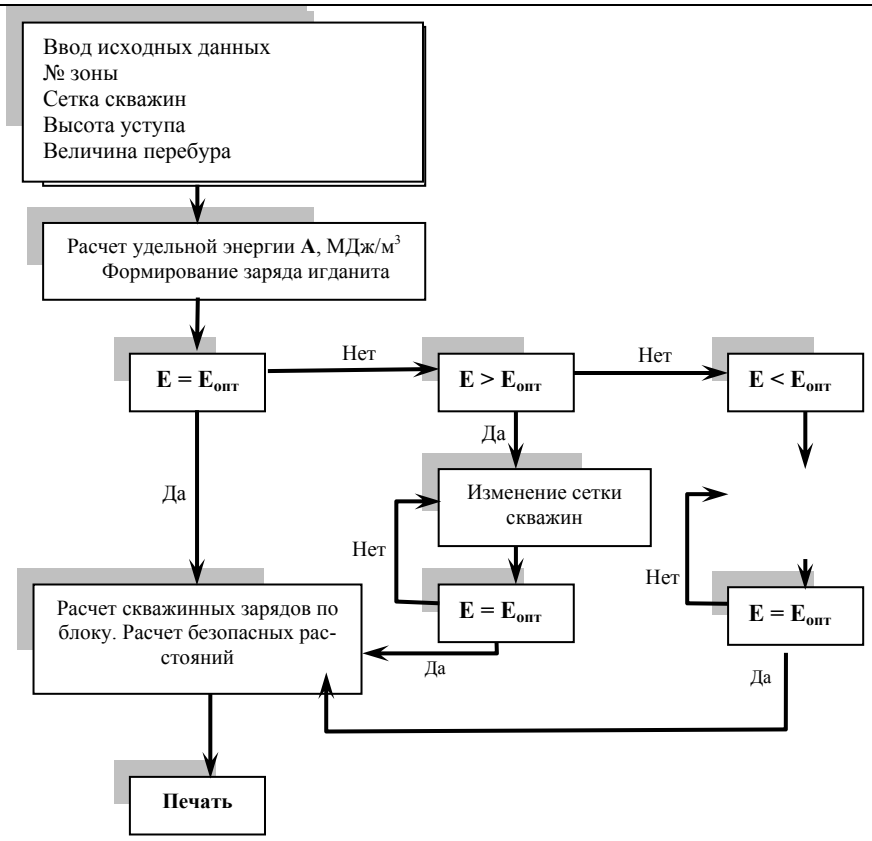


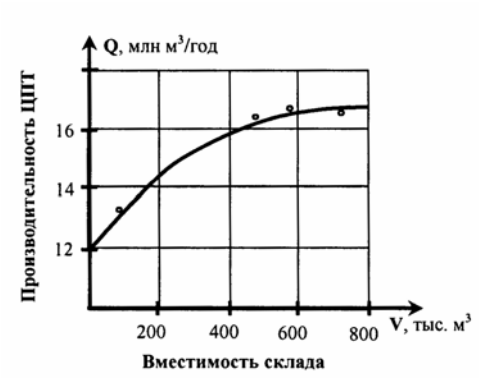
Рис. 3. Структурная схема алгоритма оптимизации буровзрывных работ

Внедрение компьютерной программы оптимизации параметров БВР на основе разработанного алгоритма расчета позволило в 2 раза снизить простои комплекса ЦПТ по причине попадания негабарита в ДПП и их заштыбовки, а также на 15 % увеличить выход горной массы с 1 погонного метра взрывной скважины.

Изучение условий работы выемочно-погрузочного оборудования на карьере Мурунтау показало, что широкий диапазон изменения удельного сопротивления пород разрыхленного массива копанию приводит к работе экскаваторов, как на пределе, так и с резервом энергетических возможностей. В этой связи рассмотрена возможность их оснащения комплектом сменных ковшей различной вместимости.

Область целесообразного, с точки зрения энергозатрат, комплекта ковшей устанавливается следующим образом:

- для ковша паспортной вместимости определяется оптимальный размер среднего куска взорванной горной массы во всем диапазоне изменения предела прочности пород на сжатие;
- удельное сопротивление разрыхленного массива копанию, соответствующее максимальному значению предела прочности пород на сжатие, принимается за граничное значение для ковша паспортной вместимости;
- для ковша измененной вместимости с учетом использования части мощности привода рабочего органа на перемещение дополнительной массы ковша и количества породы в нем определяется до-



пустимое по общей нагрузке на привод рабочего органа удельное сопротивление пород копанию;

- за границы области применения ковша паспортной вместимости принимаются максимальное и вновь установленное для ковша измененной вместимости значения удельного сопротивления пород копанию, а для ковша измененной вместимости - вновь установленное и менее.

По результатам исследования произведено районирование разрабатываемого массива карьера Мурунтау по удельному сопротивлению копанию, в результате чего, исходя из данных, приведенных в табл., выделены зоны, в которых экскаваторы типа ЭКГ целесообразно использовать с ковшами определенной вместимости.

Основные методы адаптации выемочно-погрузочных работ в рассматриваемом случае базируются на выборе комплекса экскаватор-автосамосвал и определении диапазона горно-техни-ческих условий, в которых работа комплекса наиболее эффективна. Интенсификация экскаваторно-автомобиль-ных комплексов базируется на сортировке горной массы в забоях; дроблении негабарита бутобоями; выделении в карьере зон, позволяющих применить сменные ковши на экскаваторах; создания буферных дозагрузочных складов. Основными параметрами оптимизации в этом случае являются производительность экскаватора и сокращение расстояния транспортирования горной массы автосамосвалами, что, в конечном счете, увеличивает производительность ЦПТ.

Интенсификация перегрузки горной массы с автомобильного на конвейерный транспорт достигается за счет адаптации перегрузочных пунктов к гранулометрическому составу минерального сырья и горно-техническим условиям карьера. Для этого предложено направление потока горной массы на дробильные, дробильно-грохотиль-ные и грохотильные пункты в зависимости от гранулометрического состава. Установлены области рационального применения различных типов перегрузочных пунктов.

Анализ исследования динамических характеристик грузопотока показывает, что такой процесс в целом осуществляется в двух режимах: стационарном и переходном (начало и конец смены и обеденный перерыв), что свидетельствует о значительной неравномерности грузопотока в течение смены. Вариация параметров существующих на карьере грузопотоков может привести к недогрузке конвейерного оборудования в период ее отрицательных значений, или к невозможности приема части автосамосвалов в пиковые периоды (положительные значения вариации), что в конечном итоге приведет к рассогласованию параметров всей системы, а следовательно, и ожидаемых объемов работы конвейерного комплекса. Для стаби-лизации поступления горной массы на конвейерные комплексы, обеспечения заданной производительности, наряду с организационными мероприятиями требуется выбор рациональных технологических параметров транспортно-перегрузочных комплексов, а также принятия специальных технологических решений. К ним, прежде всего, относятся:

- выбор рационального количества и типа перегрузочных пунктов с автосамосвала на конвейер, которые является главным звеном взаимосвязи сочетае-мых видов транспорта;

- создание около перегрузочного пункта (или в непосредственной близости) буферного промежуточного склада, параметры которого определяются исходя из характеристик грузопотока автотранспорта.

Выбор рационального количества и типа перегрузочного пункта не может в полной мере решить указанную проблему, поскольку объем бункера в большинстве случаев равен 2-4 емкости автосамосвала. Полное устранение влияния вариации интенсивности карьерных грузопотоков на работу конвейерной линии, стабилизации его загрузки, как показали исследования на имитационных моделях, возможно путем создания промежуточного буферного склада, который не только компенсирует влияние вариаций грузопотока, но и послужит в качестве накопительной емкости при непредвиденных простоях конвейерного комплекса. Установлена зависимость производительности комплекса ЦПТ от вместимости накопительно-догрузочных складов (рис. 4), анализ которой, показывает, что их суммарная вместимость для условий карьера Мурунтау должна быть не менее 600÷700 тыс. м^3. Использование временных промежуточных буферных складов при ЦПТ в практике работы карьера позволило увеличить производительность конвейерных комплексов на 12 %.

Интенсификация конвейерного транспорта базируется на адаптации к изменяющимся горно-техническим условиям карьера и достигается за счет дополнительного ввода к существующим стационарным конвейерным линиям выносных горизонтальных или слабонаклонных забойных конвейеров с системой модулей-прегружателей, позволяющих быстро отрабатывать локальные участки карьера. Основным параметром оптимизации является увеличение доли конвейерного транспорта в грузопотоке карьера.

Рис. 4. Зависимость производительности ЦПТ от вместимости промежуточного склада

В карьере Мурунтау к особенностям горно-техническим условий, требующим адаптации ЦПТ, относится отсутствие транспортных коммуникаций или их значительная протяженность от мест ведения выемочно-погрузочных работ до перегрузочных пунктов. Такая ситуация возникла в результате отработки карьера очередями, что естественно для любого крупного карьера. В результате возникли новые участки ведения работ, вскрытие которых не позволяет доставлять горную массу на концентрационные горизонты комплекса ЦПТ. В первом случае адаптация ЦПТ осуществляется за счет применения породоскатов, во втором – временных насыпных съездов.

Установлено, что в условиях карьера Мурунтау технологический поток с породоскатом в системе ЦПТ целесообразно применять при длине транспортирования автосамосвалами в отвал $L_{а.тр}$ >3,0 км. При установившихся в карьере соотношениях высота подъема горной массы в этом случае составит 50÷60 м. Сооружение породоскатов в условиях карьера Мурунтау становится целесообразным, если их использование сокращает плечо автомобильной откатки на 0,3-0,5 км.

Область применения и показатели работы экскаваторов с комплектом ковшей различной вместимости для карьера Мурунтау

Показатели	**Значение**								
	ЭКГ-8И			**ЭКГ-12.5**			**ЭКГ-15**		
Вместимость ковша, $м^3$	8	10	12	12	15	17	15	17	20
Предел прочности пород на сжатие, Па	180-90	90-60	<60	180-130	130-80	<80	180-100	100-80	<80
Средний размер куска, м	0,20	0,13	<0,11	0,23	0,19	<0,15	0,23	0,19	0,15
Удельное сопротив ление копанию, МПа	0,23-0,15	0,15-0,11	<0,11	0,25-0,19	0,19-0,14	<0,14	0,23-0,16	0,16-0,13	<0,13
Производительность, $м^3$/ч	380-580	730-990	1100	570-750	940 1270	1440	660-1010	1140-1410	1660

Интенсификация отвалообразования при конвейерном транспорте базируется на формировании высоких отвалов, что, возможно, достичь путем управляемого сдвижения пород в отва-
лы; отсыпки пионерной дамбы отвалообразователем; оптимизацией шага передвижки отвальных конвейеров при помощи уборки отвальных конусов бульдозерами и отгрузки поступившей через конвейерную линию руды на перегрузочные пункты карьера. Основным параметром оптимизации выступает вместимость конвейерного отвала (склада руды).

Таким образом, на основе выполненных исследований адаптационных возможностей существующих и разработанных методов и средств интенсификации ЦПТ дано решение научно-технической задачи повышения эффективности работы горно-транспорт-ного оборудования при открытой разработке сложно-структурных месторождений.

Коротко об авторах

Коломников С.С. – начальник ПТБ рудника Мурунтау Центрального рудоуправления НГМК.

© Л.А. Гаврилова, 2006

УДК 622.232

Л.А. Гаврилова

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ БУРИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БУРЕНИЯ

Семинар № 16

Перспективы развития буровой техники для бурения скважин в подземных рудниках на мировом уровне связаны с созданием самоходного бурового оборудования. За рубежом самоходное буровое оборудование применяется, как правило, в комплекте с самоходным погрузочно-доставочным и транспортным оборудованием. Только такие технологические схемы, где во всех звеньях работает самоходное оборудование, позволяют существенно повысить эффективность на буровых работах и упростить перемещение руды от забоя до ствола шахты.

Эффективность бурового оборудования для подземных работ определяется двумя основными параметрами: производительностью и минимальными времени на транспортировку.

Производительность оборудования обусловлена высокими скоростями бурения, коэффициентом эксплуатации оборудования, а также количеством пробуренных шпуров и скважин с минимальными затратами на буровой инструмент, т.е. качеством бурового инструмента.

Минимальные затраты времени на вспомогательные работы связаны с простотой и качеством технического обслуживания.

Основой при выборе схемы бурового оборудования и комплектации буропроходческого комплекса в целом является технологический процесс. Назначение установки влияет на характер и последовательность операций технологического процесса. В свою очередь, технологический процесс дает возможность классифицировать оборудование по функциональному признаку. Определение функций оборудования позволяет представить установку как техническую систему, применяя методы системного подхода как к проектированию, так и к выбору рациональной схемы оборудования для конкретных условий эксплуатации.

Бурильная установка, как техническая система. включает комплекс технологического оборудования, взаимодействующего с буровым инструментом и другими техническими системами и обеспечивающая технологический процесс проводки шпуров и скважин, создания анкерной крепи.

В конструкции практически любой машины, в том числе и бурильной установки, могут быть выделены следующие группы органов:

- основные исполнительные или преобразующие органы;
- вспомогательные органы;
- энергетические органы (привод);
- органы управления;
- органы информации (связи);
- органы коммуникации.

Основные исполнительные или преобразующие органы предназначены для выполнения основных операций технологического процесса, т.е. они непосредственно участвуют в процессе преобразования (технологическом процессе).

К вспомогательным можно отнести органы, предназначенные для выполнения

вспомогательных операций (монтаж-демонтаж, перемещение, механизация работ) и функций (размещение оборудования, освещение).

Энергетические органы обеспечивают привод основных и вспомогательных органов. К ним относятся двигатели и трансмиссия.

Органы информации дают возможность вести контроль за параметрами работы механизмов основных, вспомогательных и энергетических органов, а также за ходом технологического процесса бурения.

Органы управления позволяют осуществлять ручное или автоматизированное управление основными и вспомогательными органами, выбор рациональных режимов выполнения операций технологического процесса.

Органы коммуникации обеспечивают связь с коммуникационными системами рудника или шахты.

Органы, как правило, представляют собой сложные технические системы, в свою очередь, состоящие из комплекса механизмов. Объединение отдельных механизмов в органы бурильной установки производится по принципу их участия в выполнении конкретной технологической операции. В связи с этим одни и те же механизмы установки могут быть составной частью нескольких органов.

На рисунке приведена органоструктура бурильной установки (БУ), позволяющая представить бурильную установку как техническую систему во взаимодействии органов бурильной установки посредством их взаимосвязей с технологическим процессом бурения шпуров (скважин) и некоторыми внешними техническими системами.

К основным исполнительным (преобразующим) органам бурильной установки относятся:

- буровой инструмент (БИ) (долота, коронки, штанги);
- бурильная машина (БМ) (сверла, перфораторы);
- система подачи (СП) (податчики);
- система установки и удержания (СУ и У) (стрелы манипуляторов с гидроцилиндрами управления);
- система очистки забоя шпура или скважины (СОЗ).

Энергетические органы БУ представлены двигателями (электрическими, гидравлическими и пневматическими) с преобразователями энергии. Энергетические органы приводят в действие преобразующие органы и вспомогательные, такие, как органы монтажа-демонтажа (ОМД).

К вспомогательным органам можно отнести:

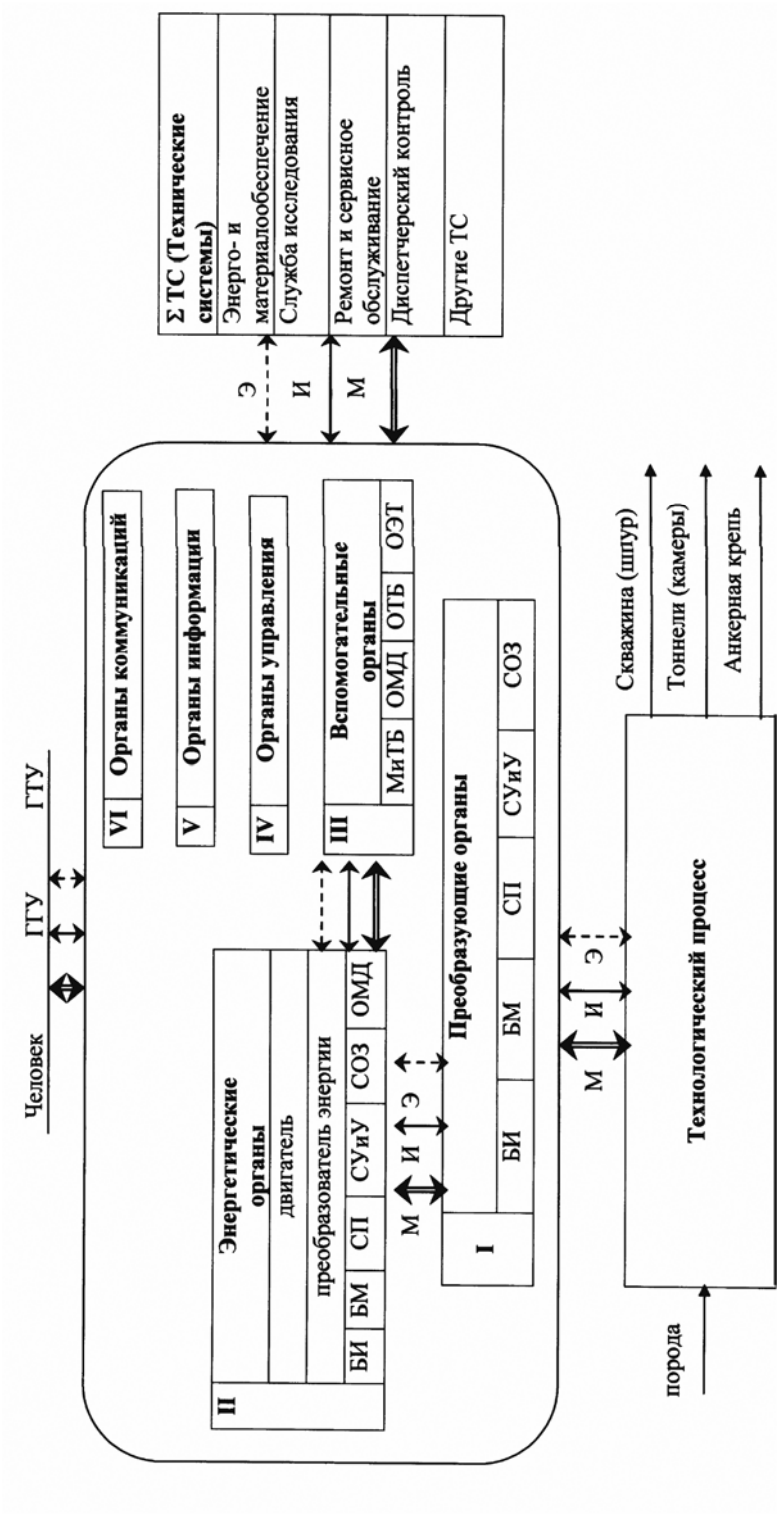
- монтажную и транспортную базу (М и ТБ);
- органы монтажа-демонтажа (ОМД);
- органы техники безопасности (ОТБ);
- органы эргономики труда (ОЭТ).

Все органы и технические системы взаимодействуют друг с другом и с технологическим процессом посредством связей. Связи взаимодействия подразделяются на:

- материальные (М);
- информационные (И);
- энергетические (Э).

Рассмотрение бурильной установки по функциональному назначению органов позволяет составить функциональную классификацию элементов. Синтез элементов во взаимосвязи с технологическим процессом позволяет выявить возможность совмещения выполняемых функций в одном структурном элементе.

Выбор рациональной структуры установки для конкретных условий эксплуатации позволит существенно повысить эффективность БУ и технологического процесса в целом. Это повышение можно осуществить следующими


Человек
ГГУ
ГГУ
VI
Органы коммуникаций
V
Органы информации
IV
Органы управления
III
Вспомогательные органы
МиТБ
ОМД
ОТБ
ОЭТ
Σ ТС (Технические системы)
Энерго- и материалообеспечение
Служба исследования
Ремонт и сервисное обслуживание
Диспетчерский контроль
Другие ТС
Э
И
М
II
Энергетические органы
двигатель
преобразователь энергии
БИ
БМ
СП
СУиУ
СОЗ
ОМД
М
И
Э
I
Преобразующие органы
БИ
БМ
СП
СУиУ
СОЗ
М
И
Э
Технологический процесс
порода
Скважина (шпур)
Тоннели (камеры)
Анкерная крепь

Орга
тан

способами: модернизацией существующего оборудования; созданием качественно нового оборудования; выбором установки, наиболее полно удовлетворяющей требованиям технологического процесса с учетом взаимосвязей в технической системе.

Модернизация оборудования заключается в техническом совершенствовании действующего оборудования в соответствии с современными требованиями путем конструктивного улучшения приспособлений. Модернизация оборудования часто позволяет при относительно небольших затратах повысить эксплуатационные показатели машин и удлинить экономически целесообразный срок использования основных фондов. Она способствует интенсификации технологических режимов, повышению уровня механизации и автоматизации, улучшению экономических показателей.

Создание качественно нового отечественного оборудования в последние годы сопровождается определенными трудностями, связанными с трудоемкими и дорогостоящими работами в цепочке научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, а также с финансированием машиностроительных заводов.

В современных условиях отечественные рудники ориентируются на широкое применение импортной самоходной техники, внедрение высокоэффективной конкурентоспособной технологии добычи.

Системный подход к рассмотрению оборудования буровзрывного комплекса позволяет существенно увеличить эффективность его применения. Для разработки методики выбора рациональной структуры бурильной установки необходимо комплексно рассмотреть влияние конструктивных элементов на технико-экономические показатели машин.

Технико-экономическими показателями бурильных установок для подземных работ в современных условиях являются:

1) эксплуатационные:

- производительность установки;
- надежность в работе, долговечность, удобство обслуживания, степень механизации;
- транспортабельность, удобство и быстрота монтажа-демонтажа;
- габариты и масса входящих в установку элементов, масса установки в целом;

2) технологические:

- трудоемкость и стоимость изготовления элементов бурильной установки;
- сложность замены быстро изнашивающихся деталей;
- степень унификации узлов;

3) экономические:

- себестоимость бурения;
- капитальные затраты;
- годовой экономический эффект;
- срок окупаемости дополнительных капиталовложений;
- производительность труда;
- условное высвобождение рабочих;
- снижение материальных затрат;
- снижение энергетических затрат.

Распределение показателей по значимости производится с учетом ранжирования критериев развития техники. Решение многокритериальных задач представляет собой сложный процесс, поэтому при выборе схемы бурильной установки для подземных условий необходимо определить наиболее значимый для конкретных условий эксплуатации критерий. Дальнейшие исследования необходимо проводить, определяя взаимосвязи конструктивных и режимных параметров и их влияние на выбранный показатель рабочего процесса. К конструктивным параметрам можно отнести группы органов и варианты их исполнения. Режимные параметры характеризуют технологический процесс, устанавливая уровень энергетического (силового) воздействия на объект. Показатель – это качественная и количественная характеристика хода и результата технологического процесса бурения. Определенное сочетание параметров и факторов, при которых происходит бурение, - режим бурения.

Одним из основных показателей технологического процесса является производительность бурильной установки. В результате предварительных исследований влияния конструктивных параметров бурильной установки на производительность было выявлено следующее:

- существенное влияние на повышение производительности оказывают преобразующие органы (тип бурильных машин, конструкция системы подачи, система очистки забоя, в т.ч. подвод очистного агента, стойкость бурового инструмента);
- правильный выбор типа и параметров энергетических органов позволяют повысить также и качество технологического процесса;
- среди вспомогательных органов на производительность бурильной установки в большей степени влияет тип ходового оборудования;
- при выборе конструкции различных органов бурильной установки необходимо учитывать взаимосвязи как между группами органов установки, так и между бурильной установкой, технологическим процессом и другими техническими системами рудника;
- технологический процесс является необходимым и определяющим при комплектации оборудования;
- состав оборудования бурильной установки зависит от горно-технологических (ГТУ), горно-геологических (ГГУ) условий работы оборудования, а также квалификации буровой бригады.

Разработка конструктивной классификации бурильных установок позволит наиболее полно отразить взаимосвязь конструктивных и режимных параметров, их влияние на технико-экономические показатели бурения. Разработка методики выбора рациональной схемы БУ позволит автоматизировать этот процесс для обеспечения эффективности буровзрывного комплекса в конкретных условиях эксплуатации.

Коротко об авторах

Гаврилова Л.А. – кандидат технических наук, доцент, Уральский государственный горный университет.