© В.Г. Ивахник, К.И. Шахова, Г.В. Селезнев, 2006

УДК 622:647.2

В.Г. Ивахник, К.И. Шахова, Г.В. Селезнев

К ВОПРОСУ О ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВУЗОВСКИХ ИННОВАЦИЙ ПО ТЕМАТИКЕ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Семинар № 20

В инновационно-технологичес-кой деятельности Инженерного центра (ИЦ) Горного Университета широко используется применение электромагнитных воздействий, обеспечивающих ресурсосбережение различных технологических процессов. Изготовление деталей, в частности, магнитно-импульсная обработка (МИО) ориентирована для обработки технического углерода с целью изменения его физико-механических свойств и использованию в различных композиционных материалах для изготовления деталей.

Технология МИО технического углерода [1] внедряется в замен способа ионизирующего радиационного воздействия.Этод способ является непроизводительным, небезопасным в радиационном плане и необеспечивающим в достаточной мере улучшение эксплуатационных свойств графитосодеражащей продукции – резино-технических изделий, графитированных электродов для металлургической промышленности [2,3], графитонаполнительных термопластов, использующихся в конструкционных и антифрикционных материалах (вкладыши подшипников, зубчатые колеса, втулки, уплотнения и т.д.).

В настоящее время программа экспериментальных и опытно-промышлен-ных работ ИЦ МГГУ, совместно с кафедрой «Технология машиностроения и ремонта горных машин» (ТМР), включает уточнение экспериментальных данных по влиянию МИО на определенные материалы, применяемые в технологических процессах различных производств. Так, в частности, для расширения инновационной тематики по практическому применению МИО в резино-технической продукции, приведенной в Патенте РФ [1], проведены испытания различных марок резин, используемых при изготовлении конвейерных лент.

Анализ результатов испытания резин, подверженных МИО

Для получения достоверных результатов влияния МИО на резину испытывались по 5 образцов, после обработки МИО. Одновременно испытывался образец, не прошедший обработку (контрольный). При испытаниях производились замеры геометрических размеров образцов.

Механические испытания велись на машине с фиксацией разрушающей нагрузки: удлинение при разрыве и остаточное удлинение. По данным, полученным при испытаниях, рассчитывался предел прочности резины и измерялась твердость резины по Шору.

Образцы изготавливаются в виде двусторонней лопатки в соответствии с требованиями ГОСТ 270 – 75. На узкую часть образца были нанесены метки симметрично относительно центра образца. Испытания проводились на машине типа ЦМГИ – 250, обеспечивающей:

- измерение силы при заданных удлинениях и в момент разрыва с погрешностью измерения силы при прямом ходе (нагружении) не более ± 1 %;
- от измеряемой силы, начиная с 0,2 от наибольшего предельного значения каждого диапазона измерения;
- ход активного захвата не менее 1000 мм;
- скорость движения активного захвата (500 ± 50) мм/мин;
- измерение расстояния между метками и захватами при растяжении образца с ценой деления шкалы 1 мм и градуированным в процентах относи-тельного удлинения.

Образцы перед испытанием кондиционировали в соответствии с требованиями ГОСТ 269 – 66. Толщину образцов на узкой части измеряли толщиномером по ГОСТ 11358 – 89 с нормированным измерительным усилием, ценой деления шкалы 0,01 мм и диаметром измерительной площадки 10 мм.

Толщину образцов измеряли в трех точках. За результат измерения приняли среднее арифметическое всех измерений.

За ширину образца лопатки приняли расстояние между режущими кромками штанцевого ножа в его узком участке.

Испытания проводились при комнатной температуре и скорости движения активного захвата (500 ± 50) мм/мин. Образец закреплялся в захватах машины по установочным меткам так, чтобы ось образца совпадала с направлением растяжения.

После проверки нулевых установок приборов, измеряющих силу и удлинение, приводят в действие механизм растяжения. В ходе непрерывного растяжения фиксировалась сила, соответствующая заданным удлинением. В момент разрыва образца были зафиксированы сила и расстояние между метками. Части разорванного образца освобожденные из захватов, помещались на ровную поверхность стола и через (1,0 ± 0,1) мин после разрыва измеряли расстояние между метками двух сложенных по месту разрыва частей образца.

При обработке результатов были определены условная прочность, относительное удлинение и условное напряжение.

Прочность при растяжении выражают условным и истинным значениями, указанными ниже.

Условную прочность f_P в МПа (кгс/см^2) образцов лопаток вычисляли по формуле

$$f_m = \frac{P_m}{d \times b_0},$$

где P_P – сила, вызывающая разрыв образца, МН (кгс); d – среднее значение толщины образца до испытания, м (см); b_0 – ширина образца до испытания, м (см).

Относительное удлинение ε_P в МПа (кгс/см^2) при разрыве образцов лопаток в процентах вычисляли по формуле

$$\varepsilon_m = \frac{l_m - l_0}{l_0} \times 100,$$

где l_P – расстояние между метками в момент разрыва образца, мм; l_0 – расстояние между метками образца до испытания, мм.

Условное напряжение f_ε при заданном удлинении образцов лопаток в МПа (кгс/см^2) вычисляли по формуле

$$f_\varepsilon = \frac{P_\varepsilon}{d \times b_0},$$

где P_ε – сила при заданном удлинении, МН (кгс); d – среднее значение толщины образца до испытания, м (см); b_0 – ширина образца до испытания, м (см).

Помимо испытаний на механическую прочность проведены испытания резины на износ.

Для получения зависимости износа рабочей обкладки во времени испытывались 4 типа резин.

Зависимости получены по результатам наблюдений за партией резинотканевых конвейерных лент при различных условиях эксплуатации. Следует отметить линейный характер износа обкладки от времени.

Таблица 1

Физико-механические свойства резин

Марка резины	Вид каучука	Временное сопротивление σ_B, МПа	Относительное удлинение при разрыве δ, %	Температура хрупкости при замерзании, °С
КБ-21	Бутадиен-стирольный СКН	5,8	630	–
В-14	Бутадиен-нитрильный СКС	10	160	– 45
ИРП-1287	Фторкаучук СКФ-26	18,5	130	– 25
ИРП-1225	Фторкаучук СКФ-32	28	520	– 20
6429	Бутилкаучук БК	10,3	600	

Таблица 2

Характеристики марок резин

Марка резины	Механические характеристики (реологические параметры)						
	G_∞, МН/м^2	G_0, МН/м^2	α	β	λ	$G_Б$, МН/м^2	ψ
						при ω = 70 рад/с и A = 12,0 мм	
2959	0,74	1,76	0,6	1,11	0,58	1,6	0,3 ÷ 0,32
1224	0,66	–	–	–	–	1,34	0,07 ÷ 0,1
1378	0,43	0,78	0,6	0,3	0,45	0,74	0,08 ÷ 0,1
51-1562	0,56	0,82	0,8	2,4	0,32	0,66	0,15 ÷ 0,2
310	0,58	0,83	0,8	2,4	0,33	0,67	0,15 ÷ 0,2

Основные свойства резин, необходимые для оценки результатов испытаний, указаны в табл. 1.

Основные характеристики наиболее распространенных марок резин приведены в табл. 2

G_∞, G_0 - равновесный и мгновенный модуль сдвига; ψ – технический коэффициент поглощения энергии

$$\psi = \frac{S}{S_0} = \frac{\Delta W}{W},$$

где S – площадь петли гистерезиса; S_0 – площадь треугольника, соответствующая полной энергии при идеальной упругости материала; ΔW – необратимая рассеянная энергия; W – амплитуда значения энергии; α – параметр дробности, выражаемый через максимальное значение спектра времени релаксации и дефект модуля

$$\alpha = -1 + \frac{2}{\pi}\arcsin\delta - \frac{\lambda B(\omega_1)}{\sqrt{\left[A^2(\omega_1) - A(\omega_1\lambda) + B^2(\omega_1)\right]^2 + \lambda^2 B^2(\omega_1)}};$$

β – обобщенное время релаксации

$$\beta = \omega_1^{1+\alpha}\sin\delta\frac{A(\omega_1)}{B(\omega_1)} - \omega_1^{1+\alpha}\cos\delta;$$

λ – дефект модуля

$$\lambda = \frac{G_0 + C_\infty}{G_0};$$

$A(\omega)$ – частотная кривая;

A – механическая характеристика

$$A = 1 - \sqrt{\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^2 - \frac{\psi^2}{4\pi^2}}$$

$B(\omega)$ – частотная кривая;
B – механическая характеристика

$$B = \frac{\psi}{2\pi} = \frac{S}{2\pi S_0}$$

$$\delta = 0{,}5\pi(1+\alpha);$$

ω – частота нагружения;
P – упругая деформирующая сила.

Применение МИО приводит к изменению упругих характеристик резин. Меняется упругая деформирующая сила, поэтому изменяются реологические характеристики резин. Характеристики магнитных полей, создаваемых плоскими индукторами исследовались измерением импульсного магнитного поля.

Величина максимального тока в индукторе рассчитывалась по формуле

$$I_{\max} = K_r U_0 \sqrt{\frac{C_0}{L}},$$

где K_r – коэффициент, учитывающий омические потери в разрядной цепи; U_0 – напряжение заряда на конденсаторах, В; C_0 – емкость накопителя, мкФ; L – индуктивность разрядной цепи, мкГн.

Индуктивность прямоугольного индуктора, измеренная с помощью измерителя индуктивности ИЦ Е7–8, составляет L = 15,4 мкГн.

На основе осциллограммы определена величина напряженности поля в центральной зоне индуктора:

$$H_m = \frac{U_h}{K_u},$$

где K_u – чувствительность датчиков Холла, K_u = 580 МВ/Тл

Напряженность поля плоского прямоугольного индуктора по осям X, Y и Z имеет разную интенсивность. Поэтому обрабатывать детали индуктором такой формой нецелесообразно ввиду получения неравномерных свойств на поверхности и по сечению деталей.

Для устранения этого недостатка использовался квадратный индуктор с последовательно соединенными обмотками. Квадратный индуктор характеризуется равномерным распределением напряженности магнитного поля на поверхности. Градиент напряженности магнитного поля относительно плоскости индуктора изменяется менее интенсивно.

Использование плоских индукторов при обработке материалов ведет к изменению свойств, которое можно связать с полями механических напряжений из-за нарушения структуры, приводящих к искажению электронного энергетического спектра.

Для установления параметров индукторов проводились экспериментальные работы по определению влияния МИО на конструктивные элементы конвейерных лент и отдельные компоненты резин. Исследовалось влияние МИО на свойства технического углерода. Техуглерод используют для усиления резин из некристаллизующихся каучуков и повышения износостойкости резин, улучшения технологических свойств резиновых смесей, повышения твердости, модуля упругости, износостойкости, тепло- и электропроводности, что, в конечном счете, снижает стоимость резин.

Исследование резин велось с использованием ренгеноструктурного анализа и определению механических свойств конвейерных лент. Полученные результаты приведены на рис. 1, рис. 2 и в табл. 3.

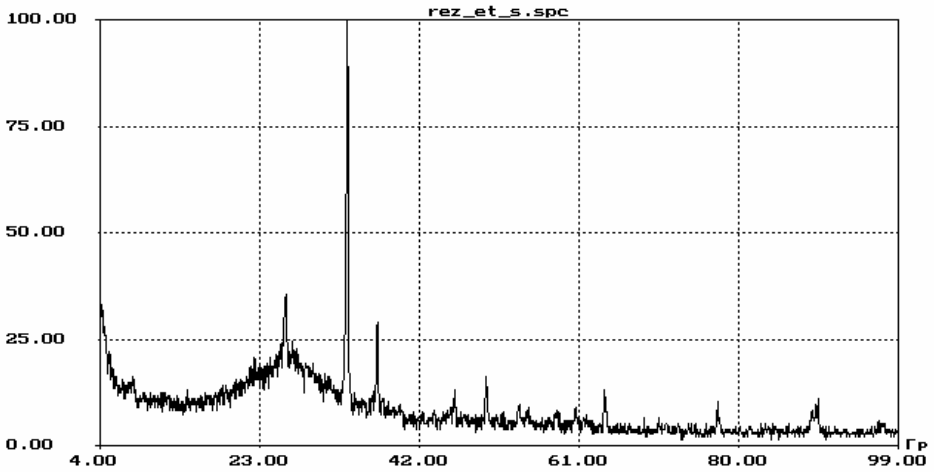
Оптимальные режимы обработки представлены в табл. 3.

Как следует из приведенных данных, обработка резин тремя импульсами с напряженностью магнитного поля 10^6 А/м соответствует наилучшим результатам для резин 51-3050, 1347 и 3825-20. Происходит стабилизация свойств, разбросы в твердости и прочности минимальны. Понижение твердости по

Таблица 3

Марка резины	Напряжение поля, А/м	Количество импульсов
51-3050	10^5	3
1347	10^6	3
1348-7	10^5	3
3825-20	–	3

а



б

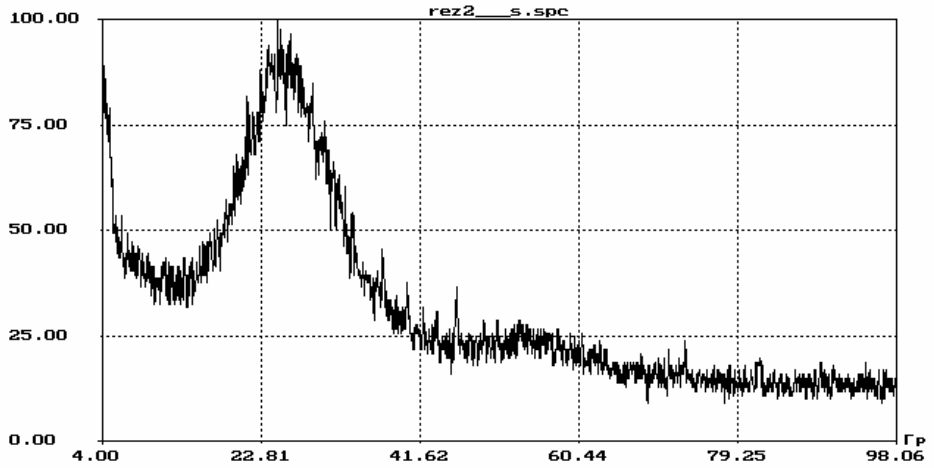
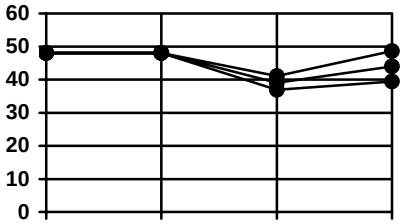


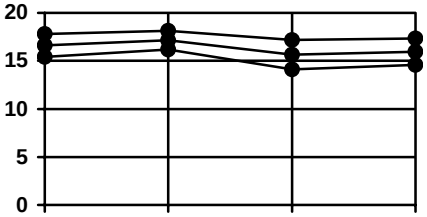
Рис. 1. Дифрактограммы образцов резины: а) – исходное состояние; б)-после обработки МИО

а) Резина 51-3050.

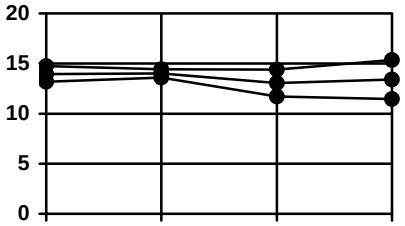
Твердость по Шору А.



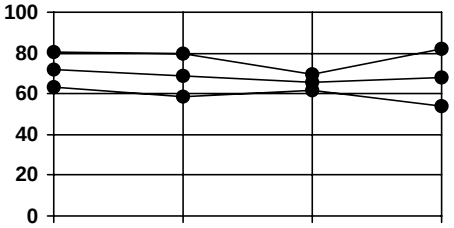
Нагрузка при разрыве, МПа.



Условная прочность, МПа.

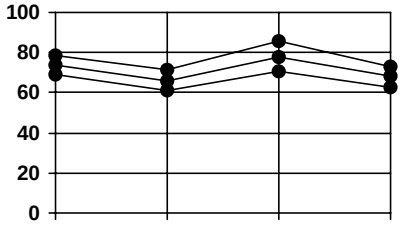


Относительное удлинение при разрыве, ×10 %.

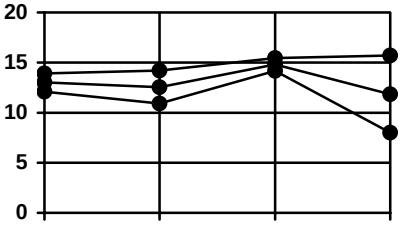


б) Резина 1348-7.

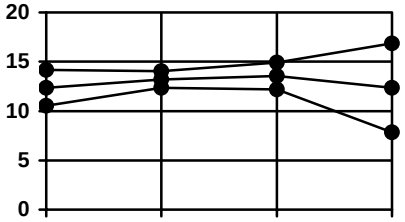
Твердость по Шору А.



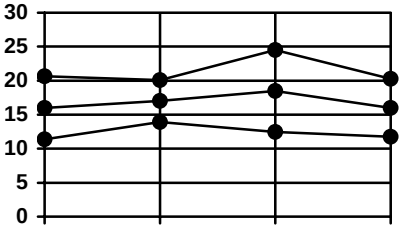
Нагрузка при разрыве, МПа.



Условная прочность, МПа.

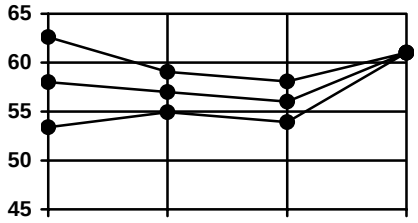


Относительное удлинение при разрыве, ×10 %.

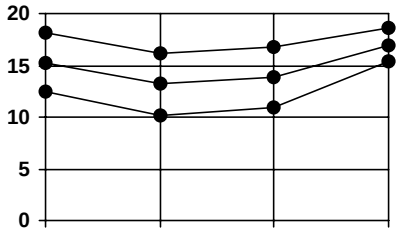


в) Резина 1347.

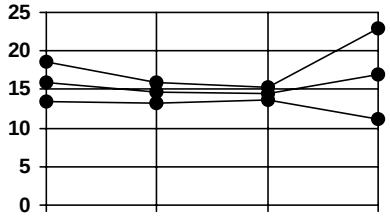
Твердость по Шору А.



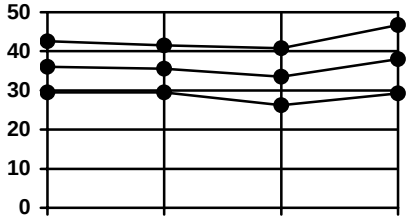
Нагрузка при разрыве, МПа.



Условная прочность, МПа.

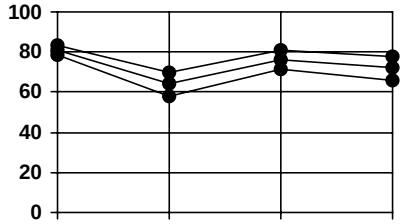


Относительное удлинение при разрыве, ×10 %.

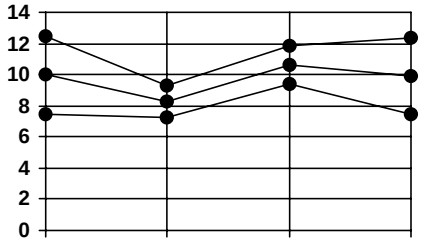


г) Резина 3825-20.

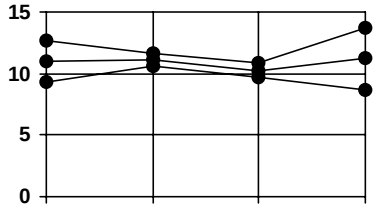
Твердость по Шору А.



Нагрузка при разрыве, МПа.



Условная прочность, МПа.



Относительное удлинение при разрыве, ×10 %.

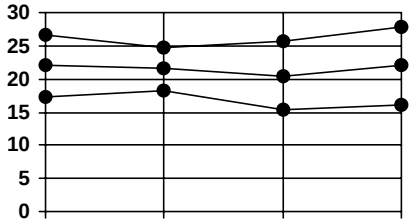


Рис. 2. Влияние МИО на свойства резин

Шору связано со снижением жесткости и уменьшением изнашивания незакрепленным абразивом, что характерно для конвейерных лент.

Для каждого типа резины существует оптимальный режим МИО. Использование МИО в случае, если не удается достичь максимального сочетания прочности и пластичности дает меньший разброс в механических свойствах, а это значит, что надежность ленты возрастает, т.к. нагрузки будут распределяться равномернее и будут отсутствовать слабые места, по которым идет разрушение. Использование произведения прочности на пластичность дает более полную характеристику работы конвейерной ленты и может быть предложена в качестве критерия для оценки работоспособности ленты.

У резины 1348-7 в результате МИО увеличивается разрывная нагрузка, относительное удлинение и условную прочность. В то же время обработка полем 10^5 А/м позволяет получить минимальное рассеивание в свойствах резины.

Обработка резины 5130-50 режимом 10^5 А/м приводит к минимальному росту разрывной нагрузки, сохранению условной прочности и незначительному снижению относительного удлинения при разрыве. Таким образом, предложенные режимы практически не меняют свойств этой резины, но при режиме 10^5 достигается минимум разброса в свойствах, что дает повышение надежности ленты с этой резиной в условиях эксплуатации.

Резина 1347 увеличивает нагрузку при разрыве, условную прочность и относительное удлинение при обработке режимом 10^6 А/м. Этот же режим обеспечивает минимальный разброс в свойствах. Таким образом, можно утверждать, что режим 10^6 А/м является оптимальным для этой марки резины

Резина 3825-20 практически не изменяет механических свойств на проведенных режимах обработки, но при всех режимах существенно снижается разброс по свойствам. Поэтому использование МИО для лент, содержащих эти резины, является целесообразным.

Результаты промышленных испытаний конвейерной ленты с МИО

Для испытаний конвейерной ленты с МИО использовался известный в отечественной и зарубежной практике метод производственных испытаний, состоящий в одновременной установке на конвейер отрезков различных лент, состыкованных вместе. Применение метода исключает влияние случайных факторов на показатели долговечности лент. Такие факторы неизбежно вносят погрешности в результаты испытаний лент, устанавливаемых на конвейер последовательно.

В условиях Мансуровского карьероуправления проведено изучение интенсивности износа конвейерных лент с различными видами обкладок в условиях абразивного износа. Применяли состыкованные в одну ленту методом горячей вулканизации четыре отрезка лент различных типов.

Конвейер № 2 предназначен для транспортирования песчано-гравийной смеси (ПГС) фракции 0 ÷ 75 мм из цеха первичного дробления в цех сортировки. Конвейер установлен в наклонной галерее, имеет длину 50,7 м, ширину ленты 1200 мм, скорость ленты 1,0 м/с, производительность 280 $м^3$/ч по ПГС. Угол транспортирования 8 градусов. Высота падения на ленту груза составляет 0,45 м от центра плиты, установленной под углом 40° к горизонту до ленты. Конвейерная лента Курского завода РТИ 2-ТК-200/5 с толщиной рабочей обкладки 5 мм и нерабочей – 3 мм подвергалась воздействию высоких динамических нагрузок.

В процессе эксплуатации составной ленты наблюдались вырывы рабочей обкладки, сквозные продольные и поперечные порывы, износ глубиной до 2 – 3 прокладки сердечника. Самым долговечным оказался кусок ленты, обработанный по режиму 10^6 А/м.

Долговечность ленты увеличилась на 30 % и составила 22 месяцев. Наблюдалось сокращение количества и площади вырывов. И практически отсутствовали продольные и поперечные порывы.

В пределах ленты без обработки наблюдается разброс по количеству перевезенной массы и долговечности, достигающий 7–10 %. После обработки уменьшился разброс по количеству перевезенной массы до 2–3 %. При этом долговечность ленты увеличилась на 25–30 %, т.е. разброс в долговечности составляет 5–7 %. Увеличение долговечности (срока службы) ленты на 25–30 % находится за пределами разброса, поэтому можно утверждать, что использование МИО приводит к повышению срока службы ленты и, следовательно, к сокращению расхода ленты на единицу транспортируемого груза.

Проведенные экспериментальные работы показывают, что в результате МИО изменяются свойства резин, входящих в состав конвейерных лент, что . дает возможность применения инноваций ИЦ МГГУ в конвейерных лентах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Способ* обработки технического углерода и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2099373, 1997.

2. *Ивахник В.Г., Шахова К.И., Черанев А.И.* Проблемы повышения качества литейной продукции. Горный информационно-аналити-ческий бюллетень, вып. 4, М.: МГГУ, 2002, с. 101 – 102;

3. *Ивахник В.Г., Шахова К.И., Черанев А.И.* Повышение качества литейной продукции. Журнал «Горные машины и автоматика», 2004, №7, с. 11-12.

Коротко об авторах

Ивахник В.Г. – кандидат технических наук,
Шахова К.И. – кандидат технических наук,
Селезнев Г.В. – инженер,

Московский государственный горный университет.

© П.Е. Канюка, 2006

УДК 622:647.2

П.Е. Канюка

ТВЕРДОЕ ТОЧЕНИЕ И НАКАТНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ХВОСТОВИКОВ

Семинар № 20

Тяжёлые условия эксплуатации буровых установок в горнодобывающей и угольной промышленности обуславливают повышенные требования к изготовлению узлов и деталей буровых установок. Для ускорения развития горнодобывающей промышленности необходимы новые производительные установки и машины. Добиться этого, можно изготавливая, экономичные высокопроизводительные установки.

Технический уровень, качество и надёжность деталей буровых установок, применяемых в угольных и других шахтах, в значительной мере определяют технико-экономические показатели работы установки, работающей в весьма тяжёлых условиях, связанных с ограниченностью габаритов; высокой динамичностью, действующих нагрузок, агрессивностью шахтных вод. Поэтому вопрос о техническом уровне качества и надежности может быть решен только при использовании новых технологий изготовления деталей буровой установки. В настоящее время наименее надежными деталями буровой установки, имеющими недостаточную долговечность, являются хвостовики, которые осуществляют основное ударно-вращательное движение.

Условия работы бурильных машин в шахте определяют характер повреждений и вид износа деталей. На эффективность работы бурильных машин влияют организация работы, конструкция машин и точность изготовления узлов, износостойкость и усталостная прочность деталей, характер сопряжения и состояние поверхностных слоёв и т.д. Один из наиболее важных факторов, влияющих на работу, - износ деталей и усталость. Большинство деталей изготовляется по второму классу точности, поэтому износостойкость и характер сопряжения наиболее ответственных деталей как в начале работы, так и в процессе эксплуатации во многом определяют надёжность и долговечность машины в целом.

Повреждение или отказ хвостовиков происходит по следующим причинам:

1. Сухое трение между деталями, совершающими возвратно-поступатель-ное или колебательное движение, при которых осуществить постоянную смазку не представляется возможным;

2. Высокая частота ударов поршня о хвостовик бура, вызывающая вибрацию всей машины;

3. Отсутствие смазки в зоне трения, наличие воды и абразивных частиц высокой твёрдости создают благоприятные условия к металлическим связям, т.е. к заеданию трущихся поверхностей.

4. Машины, находясь в шахте, по различным причинам не эксплуатируются, в результате трущиеся поверхности подвергаются усиленной коррозии, прочность поверхностных слоёв при этом уменьшается и создаются благоприятные условия для износа.

Основные виды повреждаемости хвостовиков: износ шлица, выкрашивание резьбы, выкрашивание и смятие торцевой поверхности хвостовика, ударяющей по торцу бура.

Износ трущихся поверхностей вызывает увеличение зазоров, а получающийся внецентренный удар увеличивает потери на трение.

При термообработке хвостовика из цементированных сталей закаливается и резьба. После полной химико-термической обработки твёрдость резьбы достигает HRC 54 и более. В настоящее время основной операцией ХТО является цементация, производимая как в агрегатах, так и печах периодического действия. Учитывая недостатки данного вида обработки, длительное время обработки и неоднородность слоя, был предложен процесс ионной цементации.

Использование только ионной цементации недостаточно для существенного увеличения ресурса детали.

Поэтому встал вопрос о повышении качества механической обработки.

Горное машиностроение достаточно трудоемкое, которое включает в себя большой объем металлообрабатывающего инструмента. Применение в производстве отечественного и импортного инструмента дает положительный эффект. Импортный инструмент во много раз дороже, то не все предприятия способны обеспечить свой завод лишь этим инструментом. Импортный инструмент, который окупает себя во много раз быстрее чем, такой же отечественный инструмент, создает серьезную конкуренцию и большое поле деятельности для отечественных производителей.

Достаточно острые режущие кромки и соответствующие твердые сплавы со специальным покрытием, обеспечивают мягкое резание и хорошее качество обработанных поверхностей.

Экономические преимущества дает и сокращение технологических операций за счет уменьшения времени обработки, например многосторонняя обработка за один установ. Так и высокоскоростная обработка приводит к росту произ-водительности за счет существенного увеличения скорости резания. Кроме того, при уменьшении силы резания улучшается качество поверхности.

Ввиду ужесточения требований к экологической безопасности все больше ставится под вопрос использование охлаждающе-смазочных материалов, которые в обработке резанием выполняют задачи отвода тепла. Первым шагом в решении этой проблемы является сухая обработка и смазка минимальным количеством СОЖ, которые применяются уже по многих областях обработки резанием. Рост использования материалов со специальными свойствами и внедрения новых технологий обработки оказали решающее воздей-

ствие на дальнейшее развитие твердых сплавов и покрытий для изготовления режущего инструмента.

В настоящее время на отечественных предприятиях все больше и больше применяются передовые разработки мировых фирм в области металлообработки. Новые сплавы, инструменты и новые покрытия инструментов в программах таких фирм как KENNAMETAL, SANDVIK, ISCAR и т.д., приводят к их широкому применению в данной области.

Повышение требований к режущему инструменту заставляет разработчиков и производителей постоянно работать над совершенствованием инструментальных материалов.

В настоящее время после ХТО осуществляется операция шлифования и последующая накатка. Для более эффективного применения современных станков, можно осуществить операции твердого точения и накатного полирования на одном станке. Жесткость станка позволяет осуществлять данные операции, не прекращая цикл изготовления хвостовика.

На качество обработки при твердом точении влияют следующие факторы: вид связки, размер зерна, способ изготовления инструментального материала; механическая прочность, теплостойкость, усилие зажима детали; точность и механическая прочность станка; режимы обработки, материал детали и инструментальный материал учитываемые технологией. В результате деталь будет характеризоваться точностью размеров и форм, шероховатостью поверхности.

Твердое точение подразумевает под собой:

- Определённую геометрию режущей кромки;
- Обрабатываемые материалы имеют твердость HRC > 47 (…70)
- Общее получение формы (черновая обработка).
- Получение заданной шероховатости (чистовая обработка).

припуск 0,15…0,30 мм

IT 6 → ≤ IT 5

Rz = 3…6μm → Rz ≤ 2μm.

60 % всех обрабатываемых деталей находятся в этом диапазоне.

Хвостовики находятся в этом диапазоне.

Функционально принцип твердого точения заключается в нагреве материала заготовки в зоне контакта с режущей кромкой. Специально подобранная геометрия инструмента и режимы обработки нагревают материал, что приводит к его отпуску. После отделения стружки происходит быстрое охлаждение материала. В результате твердость детали уменьшается не более чем на 2 единицы, а полученная стружка имеет твердость около 45 единиц. Наиболее целесообразным для твердого точения являются материалы, закаливающиеся на воздухе, к числу которых относится и материал хвостовиков.

Целью замены шлифования твердой обработкой является улучшение экономических показателей. Съем материала при твердом точении в три раза меньше, чем при шлифовании. Стоимость токарного станка также примерно в три раза ниже, чем шлифовального, точность обработки идентична при твердом точении (иначе замена не имеет смысла) и ниже, чем при шлифовании.

Немаловажную роль играет тот факт, что твердое точение имеет намного более высокую гибкость – возможна обработка сложнопрофильных деталей, в то время как на шлифовальном станке такая обработка требует замены кругов и подналадки станка. Наконец, утилизация стружки проще и дешевле, чем шлифовального шлама. В результате, твердое точение практически всегда на 30-50 % экономичнее шлифования.

Инструментальным материалом для твердого точения являются режущая керамика и кубический нитрид бора. Каждый из материалов имеет свои преимущества и недостатки. Керамика существенно дешевле, но плохо воспринимает ударные нагрузки. Кубический нитрид бора менее восприимчив к ударным нагрузкам, но обладает существенно более высокой ценой. Тем не менее, оба инструментальных материала находят применение при твердой обработке.

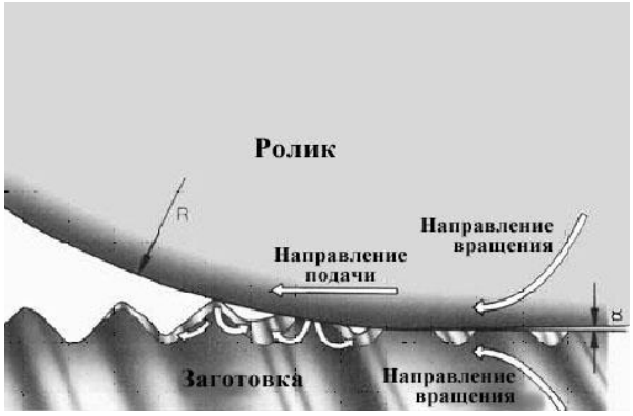
При твердом точении в поверхностном слое возникают остаточные напряжения и зоны с измененной твердостью и структурой – «белый слой».

Он представляет аморфное или нанокристаллическое строение поверхностного слоя и обладает максимально высокой твердостью, но неблагоприятными остаточными растягивающими усилиями.

Решением для создания на поверхности остаточных напряжений является упрочняющее накатывание. Этот метод обработки позволяет создать сжимающие напряжения в поверхностном слое, повысить твердость граничного слоя и улучшить шероховатость.

Постоянное стремление к сокращению затрат на обработку, а также уве-личение доли станков с ЧПУ привело в недавнем прошлом к дальнейшему развитию этих способов обработки и к повышению их эффективности. Сегодня, благодаря постоянному развитию инструментов, они эффективно применяются на обычных станках даже в условиях мелко- и среднесерийного производства. Это единственные процессы финишной обработки, при которых происходит деформация граничного слоя материала без снятия стружки.

В зависимости от условий обработки накатное полирование может приводить к

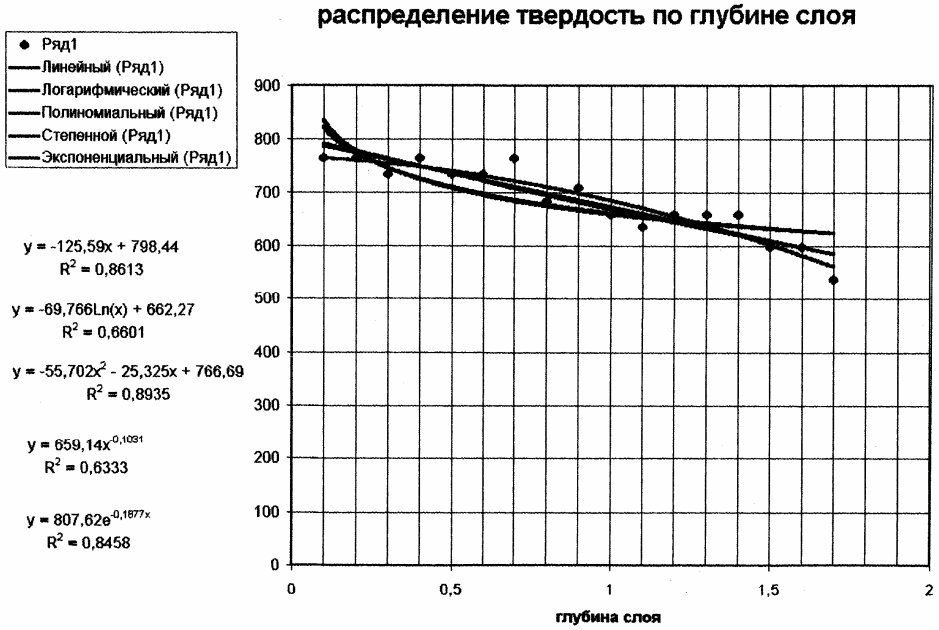


различным результатам. Если обработка производится с небольшим деформирующим усилием, имеет место остаточная шероховатость. В зависимости от назначения поверхности она может составлять от Rz1 до Rz10.

Характерной особенностью поверхности, обработанной накатным полированием, является большая доля плоских вершин, что в свою очередь определяет высокую долю несущей поверхности (воспринимаемой нагрузки) и плавные переходы между элементами профиля, полученные в результате перетекания материала. Кроме того, поверхность, полученная методом накатного полирования, по сравнению с поверхностью, полученной обработкой резанием, обладает постоянством шероховатости на большей части несущей поверхности и топографией с лучшей сопротивляемостью износу.

Поскольку диаметр поверхности измеряется по вершинам, при накатном полировании диаметр уменьшается на величину шероховатости Rz. Это необходимо учитывать при предварительной обработке, оставляя соответствующий припуск.

Важнейшим критерием является твердость заготовки. При применении обычных инструментов (в которых усилие на роликах создается механическим способом) граница применения находится на уровне 42–45 HRC. Материал более высокой твердости может быть обработан с применением гидростатического «шари-



кового» инструмента.

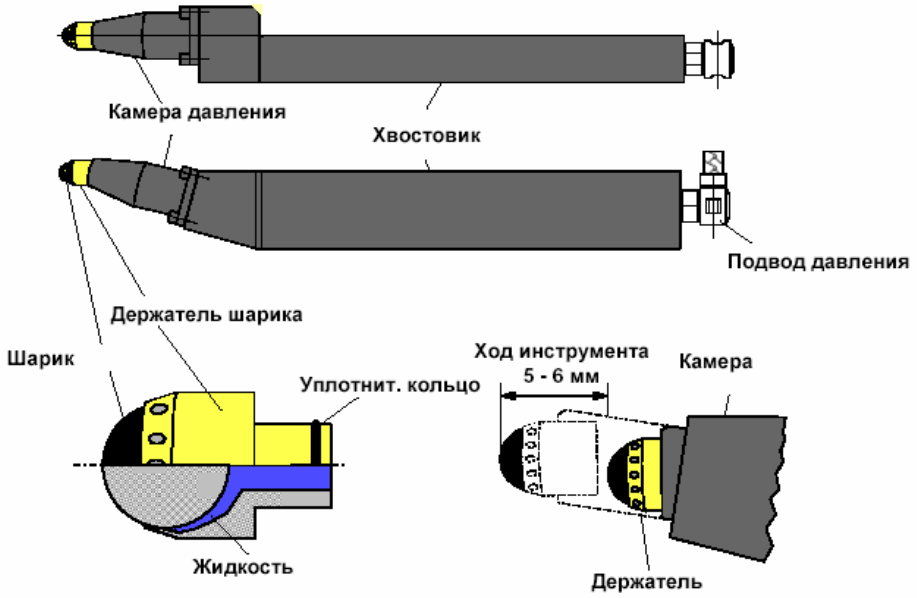
Упрочняющее накатывание — процесс механообработки, наиболее пригодный для повышения усталостной прочности деталей, испытывающих знакопеременные нагрузки. Этот процесс полностью снимает или сводит к минимуму напряжения в тех местах, где они возникают в первую очередь. Процесс протекает аналогично процессу накатного полирования (пластически деформируется поверхностный слой), но с другой целью — увеличение долговечности. Для обеспечения одинакового качества деталей во время процесса контролируются все параметры, в особенности усилие накатывания.

Микродеформирование поверхности заготовки осуществляется шариком из твердого материала со специально обработанной поверхностью. Шарик прижимается к поверхности заготовки давлением жидкости, одновременно плавая в ней и имея возможность вращаться в любом направлении. Инструмент, в котором установлен шарик, обеспечивает автоматическое постоянное восполнение жидкости и ее подачу под определенным давлением, в результате чего при любых условиях обработки поддерживается оптимальный зазор между шариком и гнездом. Ход системы восполнения компенсирует не только допуски заготовки и ошибки позиционирования, но даже и имеющие место в направлении подачи отклонения контура заготовки. При этом благодаря системе восполнения усилие накатывания остается неизменным. Усилие накатывания зависит от давления.

Путем выбора оптимального давления можно простым способом влиять на шероховатость поверхности. В качестве жидкости может быть использована практически любая из имеющихся на производстве СОЖ. Давление жидкости должно находится в диапазоне 100–400 бар. Благодаря четкой зависимости усилия накатывания от давления данный инструмент может быть использован для упрочняющего накатывания. Для хвостовиков давление должно быть 50-250 бар.

Распределение собственных сжимающих напряжений существенно лучше, чем при шлифовании и обработке дробью. В граничной области наблюдалось повышение твердости с 600HV до 680–730HV.

Для применения на обычных ручных



станках или обычных станках с ЧПУ, а также на современных станках с ЧПУ без приводных инструментов выпускается инструмент типа HG6-9 с квадратным хвостовиком. В этом случае подача жидкости осуществляется от внешнего гидравлического агрегата через вращающиеся соединения.

С точки зрения экологии накатное полирование имеет хорошие перспективы, как технология будущего. Это способ обработки, при котором виброустойчивость детали повышается при минимальном потреблении энергии. Одновременно повышается долговечность, что в свою очередь оказывает благоприятное воздействие на экологию (утилизация детали наступает позже), причем двойное — сокращается потребление материала и энергии на его производство и затраты на утилизацию. Рассмотренные способы механической обработки являются высокоэффективными в различных областях производства.

Коротко об авторах

Канюка П.Е – аспирант кафедры «Технология машиностроения и ремонта горных машин», Московский государственный горный университет.

© Ю.Д. Красников, 2006

УДК 622.271:621

Ю.Д. Красников

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Семинар № 20

1. Современные горные предприятия – это системы «технология-люди-машины-среда». Так как «технология» и «среда» остаются длительное время неизменными, то самыми «сильными» элементами этой системы являются «машины» и «люди». Не работают машины (и люди) – не работают и предприятия, плохо работают машины (и люди) – плохо работают предприятия.

2. Научно-технический прогресс на производстве, согласно определению на-

ших философов – это такое явление, при котором последние достижения науки используются производством и наоборот, последние достижения производства используются наукой. С этой точки зрения любая модернизация машины, например, увеличение мощности двигателя – уже научно-технический прогресс. Однако, за рубежом (Мюррей Браун и др., 1970 г.) считают, что научно-технический прогресс наступит в том случае, если, во-первых, вырастет производительность труда, во-вторых, вырастет производительность вкладываемого в производство капитала, в-третьих, вырастет интегральный показатель, учитывающий как труд, так и капитал.

3. Если следовать критериям, принятым за рубежом, то научно-технический прогресс на горных предприятиях РФ отсутствует:

а) производительность труда в угольной промышленности РФ в 20 раз ниже, чем в США;

б) производительность труда в горнорудной промышленности РФ в 7-8 раз ниже, чем в зарубежных странах;

в) производительность труда в строительстве (включая земляные работы при строительстве дорог, тоннелей и др.) в 6 раз ниже, чем в других странах, в том числе таких, как Гватемала, Никарагуа и др.

4. Отсутствие научно-техническо-го прогресса в отраслях в первую очередь определяется отсутствием научно-технического прогресса при создании машины – основного процесса современных машиностроительных предприятий. Существующие на сегодняшний день в РФ горные машины и оборудование, как сложные электромеханические агрегаты, в основной своей массе уступают заграничным аналогам – очистным и проходческим комбайнам, всем видам подземного транспорта, на открытых разработках – экскаваторам, буровым станкам (включая инструмент), автосамосвалам, ленточным конвейерам, железнодорожному транспорту и т.п. Электротехническое оборудование – электродвигатели, кабели, трансформаторы, тиристорные преобразователи, коммутационная аппаратура, приводные системы и системы управления, контроля и диагностики электрооборудованием и пр. также уступают аналогичным зарубежным образцам. Дальше такое положение не может быть терпимо.

5. Создание горных машин и оборудования, включая их электрическую часть, как известно, происходит на таких предприятиях как конструкторские бюро, институты и заводы, где главную роль играют «люди», а также и «машины» - ЭВМ в СКБ, станки на заводах. Однако самым важным участком при создании новых машин, обеспечивающих научно-технический прогресс в отраслях, является участок конструирования машины, где главное звено системы – конструктор, определяет все основные параметры машины и поэтому должен быть широко образован, информирован и талантлив, и, причем образован и информирован не только в области, для которой создаются машины, но всеобъемлюще, в планетарном масштабе. Поэтому в США, в центре автомобильной промышленности в Waine University, в совет директоров которого входят руководители автомобильных фирм, на инженерном факультете не готовят конструкторов для автомобильной промышленности, а готовят конструкторов самого широкого профиля, для всех отраслей, включая космос, авиацию и т.п.

6. Анализируя сложившуюся на сегодняшний день систему подготовки конструкторов в РФ, приходится обращать внимание на то, что:

а) конструкторов горных машин и оборудования готовят в горных вузах, а не в политехнических таких, например, как МВТУ им. Н.Э. Баумана;

б) работа выпускников МВТУ им. Н.Э. Баумана в конструкторских организациях горного машиностроения говорит об их более высоком профессионализме и мастерстве;

в) подготовка специалистов высшей квалификации кандидатов и докторов технических наук по специальности «Горные машины» практически не сказывается на научно-техническом прогрессе в горном машиностроении. Процессы создания новых горных машин и оборудования и формирования весьма многочисленного отряда кандидатов и докторов технических наук (больше, чем в любой стране мира!), а также академиков большого числа общественных академий (горной, инженерной, естественных наук, информатики и т.п.) протекают независимо друг от друга и также не приводит практически к созданию техники мирового уровня, что, как нам кажется, и привело к недопустимому отставанию горного дела в РФ от заграницы;

г) стандарты подготовки в вузах РФ инженеров-механиков, специализирующихся на конструировании машин и оборудования, содержат повторение материала в различных предметах курса. Например, материалы раздела «Механика» курса физики повторяются в курсах теоретической механики, теории механизмов и машин, деталей машин. Кстати, следует отметить, что указанные предметы не преподаются в указанном выше Waine University (США, Детройт), а излагаются в обширном курсе «Создание машин», который в наших вузах не преподается.

д) курс «Создание машин» (например, Г. Дитера (600 стр., 1992 г.)) включает такие темы, как:

– Инженерная предприимчивость (организация инженерной функции, этика в технике, технологическое прогнозирование и др.).

– Процесс проектирования (детальная морфология проектирования, будущие соображения в проектировании и др.).

– Проблема и ее решение (мозговая атака, морфологические анализы, аспекты поведения при решении проблем, матрица решения, деревья решения и др.).

– Моделирование и имитация (математическое моделирование, анализы предельных моментов и др.).

– Оптимизация (методы поиска, многопеременные исследовательские поиски, многофазные объективные функции и др.).

– Выбор материалов (эксплуатационные характеристики материалов, оценка методов выбора материалов, индекс весового свойства, инфляция, чувствительные анализы, неопределенность в экономических анализах, анализы прибыли и др.).

– Оценка себестоимости (категории себестоимости, индексы себесто-имости, методы коэффициентов планирования себестоимости, жизненный цикл стоимости, модели стоимости и др.).

– Планирование проекта (планировочная карта, метод критического пути, программа «PeRT» и др.).

– Инженерная статистика (ошибки и пробы, статистика и конструкция, оценки основной тенденции, статистическая конструкция эксперимента, анализ поверхностного отклика и др.).

– Риск и надежность (риски и общество, анализ дерева ошибок и др.).

– Анализ повреждений и качества (контроль качества и гарантии, гарантия изделия и др.).

– Источники информации (авторское право и копирование и др.).

– Коммуникация конструкции (природа коммуникаций, надлежащая регистрация результатов и др.).

– Приложения A, B, C, D, E (проблемы, полезные характеристики, кривые и др.).

Представляется, что уже настало время корректировки политики в области подготовки инженеров-механиков и, в первую очередь, инженеров-конструкторов, специалистов высшей квалификации, развертывания работ по созданию горной техники нового технического уровня, имея конечной целью увеличение производительности труда, снижение себестоимости продукции, рост прибыли, то есть всего

того, что определяет научно-технический прогресс в отраслях.

Коротко об авторах

Красников Ю.Д. – Московский государственный открытый университет.

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СО РАН			
ТИЩЕНКО Игорь Владимирович	Создание оборудования для проходки скважин с частичным уплотнением и экскавацией грунта	05.05.04	к.т.н.

© Л.И. Андреева, В.И. Саитов, 2006

УДК 622.232: 621.001.2

Л.И. Андреева, В.И. Саитов

МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ (ПОДСИСТЕМ) СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Семинар № 20

Повышение эффективности производства и конкурентоспособности товарной продукции с одновременным снижением давления на окружающую среду являются важнейшими проблемами для большинства горнодобывающих предприятий [ГП]. ГП по своим системообразующим признакам относятся к большим техническим системам [1, 2], следовательно, эффективное разрешение проблем, возникающих на современном этапе развития ГП, возможно только на основе научного - системного подхода.

Одним из основных понятий в прикладном системном анализе и системотехнике является понятие структуры системы. Ведущий специалист в системном анализе технических систем В. Хубка дает такое определение структуры системы. «Понятие *структура* (Str) характеризует внутреннюю организацию, порядок и построение системы. Таким образом, структура – это совокупность элементов и отношений между ними» [3].

Математически это определение описывается следующим образом: если $E = \{e_1, e_2,\ldots,e_n\}$ есть множество элементов, а $R = X\{r_1, r_2,\ldots, r_n\}$ - множество отношений, то структура $Str = \{E, R\}$ представляет собой множество, состоящее из E и R.

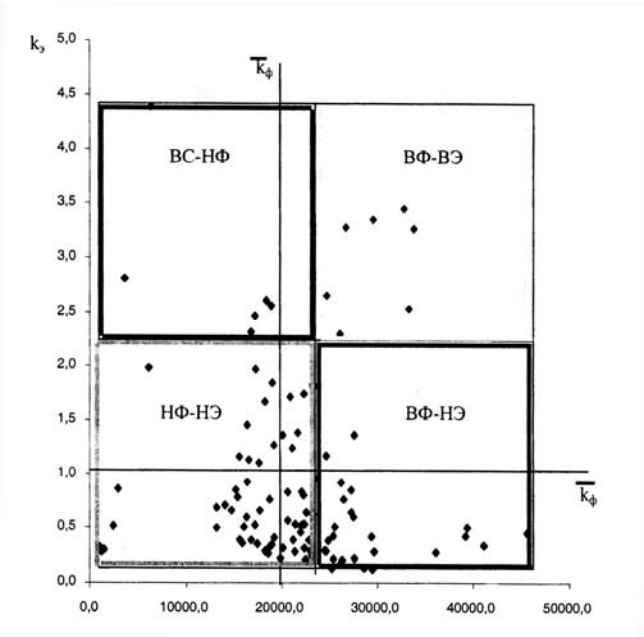


Рис. 1

Известно, что функционирование системы однозначно определяется ее структурой. Относительно замкнутая система с заданной структурой функционирует однозначно, т. е. ее структура полностью определяет способ функционирования и, следовательно, ее эф-фективность. С другой стороны, функционирование не определяет структуру однозначно, т. к. одна и та же функция может быть реализована различными структурами. Это и позволяет оптимизировать сложные технические системы [*Ts*] на уровне внутренней структуры. При этом, как показывает опыт проектирования *Ts*, оптимизация на этом уровне дает наибольший эффект, поскольку изменять структуру *Ts* на этапе эксплуатации практически невозможно, в лучшем случае это повлечет непомерные финансовые затраты [4].

Оптимизация структуры *Ts* проводится на основе функциональной модели и модели органоструктуры. Зачастую на этом этапе проектирования в распоряжении разработчиков недостаточно информации о свойствах отдельных элементов, из которых возможно построение разрабатываемой структуры. В таких случаях исследователь использует понятия типа «больше - меньше», «чуть-чуть», «хорошо - плохо», «лучше - хуже» и т. п. Формализация таких «расплывчатых» терминов важная задача при построении моделей САПР, и для ее решения используется аппарат теории расплывчатых множеств и алгоритмов. При этом часто функция принадлежности в расплывчатых множествах определяется субъективно. Причем ее значения могут меняться как для разных пользователей, так и для одного и того же пользователя [5].

На различных этапах жизненного цикла Ts часто возникает необходимость быстрого и обоснованного принятия решения по структуре систем. Такие задачи могут возникнуть как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. В этом случае при принятии решений необходимо по возможности избавиться от субъективизма.

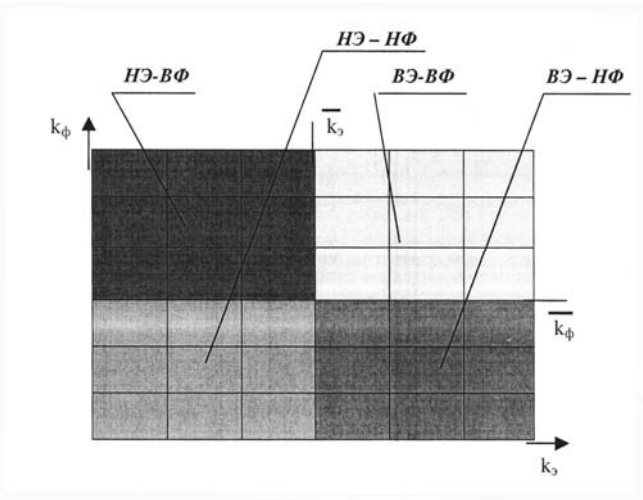


Рис. 2

Представляется, что решение подобных задач возможно, если использовать и развить матричный способ идентификации элементов или подсистем апробированный при идеентификации систем ремонта и обслуживания основного горно-транспорт-ного оборудования [6]. В этой работе объекты, классифицировались по двум признакам: стоимость обслуживания выемочно-погрузочного оборудования (руб./м^3) – ордината kэ на рис. 1, т. е. по существу экономический критерий, и производительное время работы (маш.-ч/год) абсцисса kф графика, т. е. показатель качества функционирования системы ремонта и обслуживания. На основе этих двух признаков были выделены четыре группы экскаваторов. Однако при этом границы между этими группами были обозначены несколько условно и субъективно: максимальные значения принятых признаков были поделены пополам и прямые проведенные через середины максимальных значений служили гра-ницами между различными группами. Введем некоторую корректировку в приведенную диаграмму. Будем рассматривать реализации kэ и kф для каждого объекта идентификации как случайные величины и нанесем выборочные средние значения их на систему координат на рисунке они обозначены как $\bar{k}_ф$ и $\bar{k}_э$. Как видно, распределение экскаваторов по группам существенно изменилось, так как границами между группами являются средние значения критериев для всей совокупности рассматриваемых объектов, а не произвольно взятые середины отрезков координат. На наш взгляд, такое разделение в большей степени объективно и не зависит от предпочтений проводящего анализ исследователя. Далее, если мы разобьем область определения значений каждого из критериев на шесть подобластей, то получим новую систему координат рис. 2 .

Субъективные предпочтения можно минимизировать, если рассматривать два основных типа количественных оценок элементов (подсистем) *Ts* функциональные и экономические, как дискретные, случайные величины, каждая из которых имеет свой закон распределения. Конкретный вид этих характеристик (их размерность) зависит от целей анализа, типа *Ts* и т.п. На рис. 2 обозначено: по оси абсцисс значение экономического критерия - $k_э$; ось ординат – функциональный критерий - $k_ф$. Теперь, если провести новые оси и через координаты значений их выборочных средних, то получим четыре квадранта, которые разделяют элементы с различной степенью предпочтений по этим двум критериям:

- НЭ-ВФ – низкий экономический показатель при высоком значении функционального критерия, т. е. наиболее предпочтительный вариант;
- ВЭ-ВФ – высокий экономический критерий – высокий функциональный, в некоторых случаях, например в экстре-

мальных условиях, не приходится считаться со стоимостью для обеспечения высоких фун-кциональных показателей;

- ВЭ – НФ - высокий экономический – низкий функциональный, наименее привлекательный вариант;

- НЭ – НФ – низкий экономический критерий – низкий функциональный при определенных условиях, например, при ограниченных финансовых ресурсах у потенциального потребителя он может пойти и на такой вариант.

Известно, что наиболее полной характеристикой случайной величины является закон ее распределения. Таких законов предложено достаточно много. На практике наибольшее распространение получил нормальный закон распределения. Теоретически случайная величина x может изменяться в пределах $-\infty \le x \le \infty$.

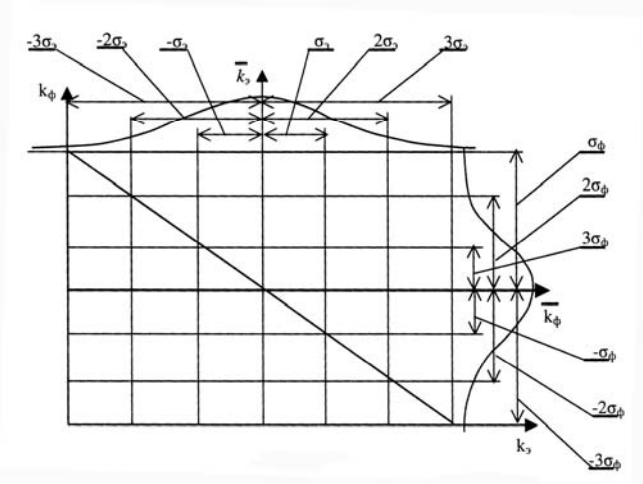


Рис. 3

Однако с вероятностью до долей процента случайная величина находится в интервале

$$M[x] - 3\sigma \le x \le M[x] + 3\sigma[x],$$

где $M[x]$ - математическое ожидание случайной величины x; σ - среднеквадратичное отклонение.

Обозначенный интервал и принимается за пределы изменения случайной величины.

С целью определения предпочтений объектов анализа внутри отдельной области (квадранта) каждый квадрант разделим на три равных части вдоль каждой из осей. Длину каждого из трех отрезков примем равной среднеквадратичному отклонению. В этом случае получаем новую систему координат рис. 3, в которой мы можем идентифицировать интересующие нас объекты по их качеству.

Условия идентификации в полученной системе координат можно описать следующим образом.

Обозначим объект анализа как e_i значения критериев функционального и экономического, которым отвечает этот объект $k_ф^i$ и $k_э^i$, соответственно. Средние значения совокупности из n объектов, как $\bar{k}_ф^i$ и $\bar{k}_э^i$, среднеквадратичное отклонение, как $s_ф^i$ и $s_э^i$. Отношения предпочтения выражается неравенством, если $e_i \rangle e_j$, i-й объект предпочтительней j-того.

Очевидно, что в принятой системе координат направление предпочтения по осям координат: $k_ф^i \to max$ и $\bar{k}_э^i \to min$.

Если $k_ф^i \rangle k_ф^j$ и $\bar{k}_э^i \langle \bar{k}_э^j$, то $e_i \rangle e_j$. Основываясь на изложенной логике не составит труда разработать алгоритм для вычисления места конкретного элемента системы в координатах $k_э - k_ф$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С.* Большие технические системы.- М.: Наука, 1977. - 350 с.

2. *Саитов В.И.* Основы системного анализа и теории технических систем (на примере горных машин): Учебное пособие. - Екатеринбург: УГИ, 1993.- 88 с. – ISBN 5-230-25 488.2.

3. *Хубка В.* Теория технических систем /Пер. с нем. – Мир.: Мир. 1987.– 208 с.

4. *Матвеевский С.Ф.* Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1987.—224 с.

5. *Курейчик В.М.* Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР: Учебник для вузов.- М.: Радио и связь. 1990.- 352 с.

6. *Андреева Л.И.* Формирование системы технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии. Челябинск, 2004. - 206 с.

Коротко об авторах

Андреева Л.И. – доктор технических наук, зав. лабораторией «Технологии и организации ремонта горно-технологического оборудования» НТЦ НИИОГР.

Саитов В.И – доктор технических наук, профессор кафедры ГМК ГОУ ВПО, Уральский государственный горный университет.

© Ю.А. Лагунова, Е.А. Лазарев, П.А. Жиганов, 2006

УДК 622.73

Ю.А. Лагунова, Е.А. Лазарев, П.А. Жиганов

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Семинар № 20

В настоящее время весьма расширяется круг технологических задач, которые решаются с помощью процессов дробления и измельчения. Процессы дробления и измельчения широко применяют в таких отраслях промышленности как строительная, строительно-дорожная, горно-обогати-тельная, металлургическая и энергетическая. В связи с широким диапазоном использования дробильно-размольной техники появляются и новые направления в области ее проектирования и эксплуатации.

Кроме того, новым в современном отечественном производстве горно-обогатительного оборудования является отказ от серийного производства машин и оборудования так называемого «общего назначения». Абсолютное большинство, даже серийно выпускаемой продукции, в настоящее время изготавливается для конкретного заказчика, под конкретные условия эксплуатации. Это один из основных факторов, который позволит восстановить рынки сбыта и обеспечит эффективную работу машиностроительных заводов.

На сегодняшний день основным направлением в проектировании щековых дробилок является изменение конфигурации рабочих органов (дробящих плит) этих машин, а также развитие конструктивной схемы со сложным качанием щеки. Преимуществом дробилок со сложным качанием щеки является меньшая занимаемая площадь, меньшая трудоемкость монтажа и, соответственно, возможность использования в составе мобильных установок и на рудных шахтах.

В НПК «Механобр-Техника» успешно развивается направление создания виброщековых дробилок (ВЩД), которые отличаются от традиционных щековых эксцентриковых дробилок использованием самосинхронизирующихся вибраторов вместо приводного эксцентрика. Каждый из двух вибраторов размещен на своей щеке, каждый из них имеет свой приводной электродвигатель. Вибраторы не связаны между собой кинематически, однако вращаются синхронно и противофазно, благодаря явлению самосинхронизации вращающихся объектов [1].

Компания «Telsmith» выпускает щековые дробилки с верхним эксцентриком. Основные направления совершенствования конструкции – это установка упорных валов для уменьшения нагрузки на подшипники; гидравлические регулировочные системы и гидравлический клиновой фиксатор. Так, на щековой дробилке серии «Iron Giant» модель 3858 с загрузочным окном 970x1470 мм компания «Telsmith» устанавливает двойные гидравлические цилиндры, жестко сцепленные штоком поршня с подвижной щекой дробилки. При попадании в камеру недробимого элемента срабатывает уставка по давлению, и шток поршня оттягивает подвижную щеку до положения, при котором давление сбрасывается до номинального. Таким образом, недро-бимый предмет проходит через камеру дробления не причиняя ущерба узлам агрегата.

В России конусные дробилки крупного и редукционного дробления производятся в основном на ОАО «ОМЗ – Горное оборудование и технологии» (Уралмашзавод). Основным направлением в развитии проектирования этих машин является расширение типоразмерного ряда (ККД-500/75; ККД-900/140; ККД-1200/150; ККД-1350/160; ККД-1500/180; ККД-1500/230; КРД-700/75; КРД-700/100); применение гидроопоры дробящего конуса, гидравлического механизма регулирования разгрузочной щели, а образующая дробящего конуса должна быть крутонаклонной.

Конусные дробилки среднего и мелкого дробления производства ОАО «ОМЗ – Горное оборудование и технологии» имеют до 5–6 типов профилей броней подвижного и неподвижного конусов, тем самым, удовлетворяя потребности каждого заказчика. Кроме того, каждый типоразмер дробилок ОАО «ОМЗ – Горное оборудование и технологии» возможно изготовить с различным эксцентриситетом вала, с гидравлической системой защиты от попадания недробимых предметов, с механизированной системой разгрузочной щели, с улучшенной системой загрузки и распределения питания по кольцевому сечению приемного отверстия.

Кафедра «Горных машин и основ конструирования» Санкт-Петербургс-кого горного института (технического универ-

ситета) предлагает изменить конструкции подвижного и неподвижного конусов, сделав их более пологими для увеличения числа шагов по камере дробления (зажатий кусков между бронями). Это безусловно окажет положительное влияние на качество продукта дробления.

Кафедра «Горных машин и комплексов» Уральского государственного горного университета разработала программу для расчета на ЭВМ рациональной камеры дробления конусных дробилок мелкого дробления с вариацией таких параметров как угол нутации дробящего конуса и частота качания конуса. Используя данную программу при проектировании конусных дробилок мелкого дробления можно добиться таких параметров машины, при которых удельная энергоемкость дробления принимает минимальное значение.

Выбор частоты качаний конуса следует производить с учетом комплекса факторов, в частности, физико-механических свойств перерабатываемого материала. При повышении крепости пород (при выемке руды на более низких горизонтах) целесообразно осуществлять дробление на пониженной частоте качаний, что позволит уменьшить износ броней, снизить инерционные нагрузки и нагруженность фундамента.

Наибольшие возможности в регулировании параметров дробления достигнуты ОАО «ОМЗ – Горное оборудование и технологии» при создании экспериментального образца конусной дробилки с приводом качания конуса из группы вертикально расположенных гидроцилиндров. Такая конструкция дробилки обеспечивает независимое регулирование размера разгрузочной щели, степени и усилия дробления, работу дробилки «под завалом», защиту от попадания недробимых тел, а также исключает взаимодействие подвижной и неподвижной броней в случае отсутствия нагрузки. Экспериментальное исследование подтвердило эффективность предложенной конструкции и позволяет приступить к созданию промышленного образца дробилки, способной адаптироваться под разрушаемую породу и осуществлять оперативное дистанционное управление процессом дробления.

Кроме того, кафедра «Горных машин и комплексов» Уральского государственного горного университета предлагает усовершенствовать конструкции конусных дробилок мелкого и среднего дробления за счет минимизации массы корпусных деталей, используя при этом расчет напряженно-деформированного состояния станины по методу конечных элементов.

По пути варьирования частоты качаний конуса и угла нутации, а также разработкой ступенчатой конфигурации броней конусов идут такие крупнейшие зарубежные фирмы как «Sandvik Rock Processing» (HYDROCONE), «KRUPP FORDERTECHNIK GMBH», «METSO MINERALS / NORDBERG», «PSP ENGINEERIND».

Компания Telsmith кроме вышеперечисленного разрабатывает в конусных дробилках системы противовращения конуса при полной загрузке или во время запуска, а также применяет особый тип футеровки камеры дробления с твердосплавными вставками Silver Bullet.

Новое направление в совершенствовании дробильного оборудования показывает НПК «Механобр-Техника», создавая и развивая конструкции конусных инерционных и вибрационных дробилок. В конусных инерционных дробилках между конусами существует динамическая связь, т.к. в них вместо эксцентрика в качестве привода используется регулируемый дебалансный вибровозбудитель [1].

Схема такой машины позволяет воздействовать на частоту вибрации, параметры дробимого слоя, силу воздействия на материал.

Для управления центробежной силой приводной вибратор дробилки изготавливают из трех установленных друг над другом грузов, средний из которых при-

нимается по своему статическому моменту равным сумме крайних грузов и выполнен с возможностью поворота на 360о при фиксации в любом положении. Такая конструкция позволяет плавно менять центробежную силу вибратора, а, следовательно, и дробящую силу, развиваемую внутренним подвижным конусом дробилки. Кроме того, можно осуществлять пуск и остановку дробилки под завалом, а также исключить поломки дробилки от попадания в нее недробимых тел без использования каких-либо предохранительных средств.

В 1986 году профессор Шонерт запатентовал новый тип дробилок – это валковые дробилки высокого давления (измельчающие валки высокого давления – High Pressure Grinding Rolls).

Отличие пресс-валков от валковых дробилок с гладкими валками заключается в конструктивном исполнении валков (их поверхностей), которые изготавливают по трем вариантам: рифлеными; наварными (Hexadur), отштифтованными (Durapin). Возможны следующие конструктивные исполнения валков: валки из прочных литых сегментов; кованые стальные валки с наварными или наплавленными слоями; цельнолитые валки. Основными узлами пресс-валков являются: валки, подшипники валков с корпусами, рама, гидравлическая система прижатия плавающего валка, приводы валков. Сила, действующая на находящийся между валками слой материала, передается посредством гидроцилиндров и составляет 50 кН на 1 см ширины валка (при диаметре валка 1 м) [2].

На ОАО «Новокраматорский машиностроительный завод (НКМЗ)» в настоящее время создают шнекозубчатые дробилки для крупного дробления руды и нерудных ископаемых, склонных к налипанию. Основные достоинства шнекозубчатых дробилок – простота конструкции и удобство в эксплуатации, низкая удельная металлоемкость, небольшая высота дробилки, отсутствие динамических нагрузок на фундамент и возможность установки на подвижном шасси. В процессе работы дробилки материал подается на вращающиеся навстречу друг другу зубчатые шнеки. Крупные куски захватываются зубьями, раздавливаются и в измельченном виде проходят через разгрузочную щель между шнеками вниз. Мелкая фракция просыпается между зубьями без измельчения, как через разгрузочную щель, так и вдоль боковых стенок дробильного корпуса. К настоящему времени на ОАО «НКМЗ» освоены два типоразмера шнекозубчатых дробилок: ДШЗ-500/140 и ДШЗ-1000/320 [3].

Ударные дробилки находятся на пороге массового внедрения в технологический процесс рудоподготовки. Эти машины обладают большими возможностями для совершенствования конструкции.

Широкое распространение и успех дробилок «Бармак Ротопактор» в конце XX века обеспечили популярность принципу центробежно-ударного дробления, который до этого не рассматривался в качестве серьёзной альтернативы традиционному методу измельчения путем раздавливания, реализованному в щековых и конусных дробилках. Хотя дробилки «Бармак Ротопактор» реализуют принцип дроб-ления «в слое», шире стали применяться и дробилки, дробящие по принципу «кусок о броню».

С середины 80-х годов к производству и модернизации дробилок данного типа приступили фирмы «Бармак Америка» (США), «Крофт Имприсэ» (Великобритания), а также те фирмы, которые ранее уже выпускали данную продукцию, в частности, конструкции типа «Tornado» или «Spokane». Среди крупнейших зарубежных фирм, выпускающих центробежно-ударные дробилки с вертикальным валом, можно отметить такие как Metso Minerals, Sandvik, Thyssen Krupp, Telsmith, Alta (Чехия). Компания «Сидэррэпидс Айова» (США) выпускает

дробилки VSI с электрическим и дизельным приводом. Открытый ускоритель снабжен разгонными ребрами, выполненными из материала с высоким содержанием карбида хрома. Отражательная поверхность состоит из угловых отбойных плит, установленных на кольцевой обечайке. С целью снижения износа отбойных плит обечайка может быть повернута вокруг своей оси. «Kolberg Pioneer» (США) – одна из крупнейших американских компаний, выпускающих дробилки центробежно-ударного типа. Конструкция дробилки близка к «Barmac», характеризуется низким абразивным износом вследствие реализации принципа дробления «в слое». Компания Krupp (Германия) также выпускает центробежно-удар-ные дробилки серии «Тайфун» [4].

В России центробежно-ударные дробилки производят ОАО «Уралмеханобр-Инжиниринг» (серия ДЦ), НПО «Урал-Центр» (Минск-Магнитогорск) и ЗАО «Новые технологии», Санкт-Петербург (серия «Титан»). Наибольшее распространение получили дробилки серии «Титан».

Дробление материалов в центробежных дробилках ударного действия производится за счет высокой центробежной силы, которая разгоняет загружаемый материал и направляет его на отражательную плиту или пласт из измельченной породы в камере дробления (принцип самофутеровки).

В дробилках и мельницах серии «Титан» была реализована конструкция самобалансирующего опорного узла вращающейся системы на воздушном подвесе. Благодаря простой, но эффективной и надежной конструкции, удалось решить ряд проблем, которые ранее считались неразрешимыми. Опора представляет собой две полусферы, в зазор между которыми нагнетается воздух. Требуется небольшое давление воздуха, достаточно типового напорного вентилятора. Роторная часть «всплывает» и выбирает ось вращения под действием внешних факторов. При этом значительно снижается чувствительность к дебалансу (по сравнению с подшипниковыми аналогами – до 5–10 раз) [4].

Практически устраняются технические ограничения на размеры и скорость вращения роторных систем: диапазон линейных скоростей при центробежной дезинтеграции увеличивается до 100 м/с и более. Диаметры роторов, а вместе с ними и единичная производительность оборудования ограничены только техническими возможностями машиностроительных предприятий и условиями транспортировки.

Выводы

Основными направлениями совершенствования дробильно-размольного оборудования являются как интенсификация рабочих процессов дробления и измельчения традиционных видов оборудования, так и изыскание новых эффективных рабочих процессов и разработка технических решений для их реализации.

Анализ конструктивных и технологических решений по совершенствованию оборудования имеет общий характер, так как эта информация является закрытой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А. и др.* Производство кубовидного щебня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок. – С.-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 112 с.

2. *Денегин В.В.* Измельчительные валки высокого давления: Конструкция, достижения, проблемы // Горная техника, 2004. – С. 120-126.

3. *Барабанщиков В.Н., Попов Г.И., Шепель О.В.* Новое оборудование АО «НКМЗ» для дробления материалов // Горные машины и автоматика, 2003. - № 8. – С. 20-21.

4. *Титан* Издание ЗАО «Новые технологии», 2005. - № 03.

Коротко об авторах

Лагунова Ю.А., Лазарев Е.А., Жиганов П.А. – Уральский государственный горный университет.

© **П.И. Пахомов, Т.В. Лядышева, 2006**

УДК 622: 658. 513

П.И. Пахомов, Т.В. Лядышева

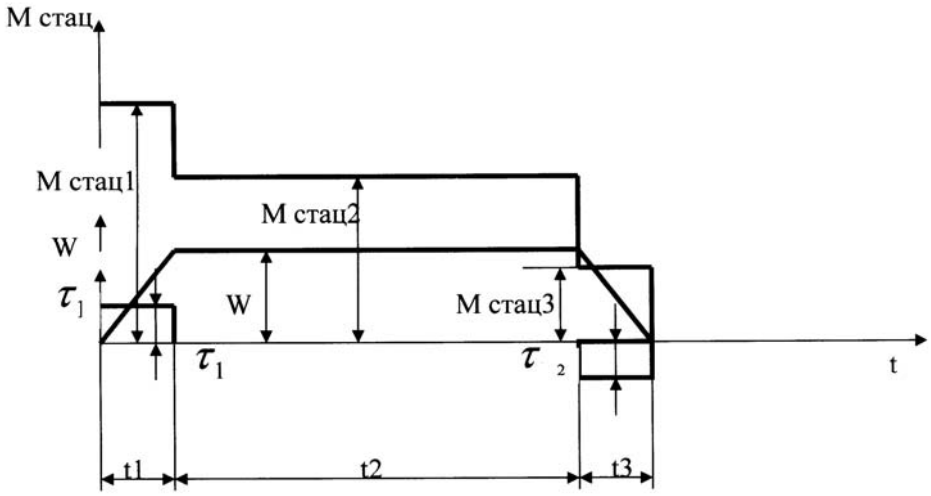
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ

Семинар № 20

Подъемная машина элемент сложной системы (шахты, рудника, жилого дома и т. д.), нормальное функционирование которого определяется рядом важных факторов. Поэтому главным критерием оценки надежности подъемных машин является их безотказность, то есть способность непрерывно сохранять работоспособность.

Для сохранения высокого уровня работоспособности, подъемная машина должна быть ремонтно-пригодна, то есть приспособлена к выполнению технического обслуживания. Учитывая высокую стоимость приобретения и монтажа подъемных машин, а также необходимость длительной остановки ствола шахты (при замене машины), важным критерием надежности является долговечность, то есть свойство сохранять работоспособность до предельного состояния.

Каждый из перечисленных критериев оценки надежности, в процессе эксплуатации, характеризуется конкретными показателями, так как на элементы подъемника действуют стационарные нагрузки, величины которых определяются весом поднимаемого груза, степенью уравновешенности подъемного каната и силами инерции движущихся масс в период неустановившегося движения. Эти нагрузки можно определять величиной крутящего момента на коренном валу подъемника



Трехпериодная тахограмма угловой скорости подъема.

$M_{кр} = F_{ДВ} R$, где $F_{ДВ}$ - движущее усилие на канатодвижущем органе, определяется по формуле [1]

$$F_{ДВ} = \frac{1}{i_{пл}}\Big[Q_{гр}(1+\xi-\psi_{пр})-(n_q q_n - i_{пл} n_p p_n)\times$$

$$\times(H-2x)+p_{кб}(\frac{x}{2}+h_{пт})\Big]+M i_{пл}\frac{d^2x}{dt^2} \quad , \quad (1)$$

где $i_{пл}$ - кратность полиспаста; $Q_{гр}$ – вес полезного груза; $\psi_{пр}$ - часть веса противовеса, уравновешивающая полезный груз; $n_p q_n$ – число и вес 1 м уравновешивающих канатов; $n_p p_n$ – число и вес подъемных канатов; $p_{кр}$ - вес 1 м кабеля; H - высота подъема; $h_{пт}$ – длина петли кабеля и уравновешивающих канатов; $\frac{d^2x}{dt^2}$ - ускорение движения сосуда и противовеса; ξ - коэффициент, учитывающий вредные сопротивления в долях полезного груза.

Полиспастная подвеска кабины и противовеса применяется только для грузовых и карьерных подъемников. У остальных видов подъемных машин, как сосуды, так и протмвовесы подвешиваются к концам канатов, поэтому для них $i_{пл}$ = 1.

У однососудных подъемников с противовесом возможны следующие режимы работы:

- подъем груженого сосуда - спуск противовеса:
- подъем противовеса - спуск порожнего сосуда:
- подъем порожнего сосуда - спуск противовеса:
- подъем противовеса – спуск груженого сосуда.

Из возможных режимов работы однососудных подъемников с противовесом для двухсосудных подъемников будет иметь место 1 режим, когда происходит подъем груженого и спуск порожнего сосудов, и 4 режим при спуске груженого и подъеме порожнего сосудов. Режимы 2 и 3 аналогичны между собой и соответствуют перегону порожних сосудов, что происходит только при маневровой работе. Следовательно, для двухсосудного многоканатного подъемника со шкивом трения уравнение примет вид [1]

$$F_{дв} = (\xi \pm 1)Q_{гр} - (n_q q_n - n_p p_n)\times$$

$$\times(H - 2x) + M\frac{d^2x}{dt^2} \qquad (2)$$

Динамическое уравнение для одноканатного барабанного подъемника при $n_q = 1$ и $n_p = 1$, [2]

$$F_{дв} = (\xi \pm 1)Q_{гр} - (q - p)(H - 2x) + M\frac{d^2x}{dt^2} \qquad (3)$$

Стационарные нагрузки также могут быть определенны в зависимости от вида подъемника и тахограммы его работы. На рис. 1 отображена трехпериодная тахограмма угловой скорости подъема.

В периоды пуска и остановки в подъемниках возникают переходные силовые процессы, приводящие к появлению дополнительных динамических нагрузок. В связи с этим значения суммарных нагрузок описываются выражениями, включающими как статические, так и динамические составляющие:

- в период разгона $M_1 = M_{стац.1} + M_{дин.1}$;
- в период равномерного движения $M_2 = M_{стац.2}$; (4)
- в период торможения $M_3 = M_{стац.3} + M_{дин.3}$.

Значения M_1, M_2 и M_3 определяются из общего решения неоднородного дифференциального уравнения при влиянии диссипативных сил трения на формирование момента в упругой связи, при ненулевых начальных условиях [1]

$$M_{01} = e^{-\alpha_1 t}\left(M_{01(0)}\cos\beta_1 t + \frac{\alpha M_{01(0)} + M_{01(0)}}{\beta_1}\sin\beta_1 t\right) -$$

$$-M_1 e^{-\alpha_1 t}\left(\cos\beta_1 t + \frac{\alpha_1}{\beta_1}\sin\beta_1 t\right) + M_1 \qquad (5)$$

Из данной формулы видно, что первое и второе слагаемое со временем затухают.

Момент в упругой связи двухмассовой механической системы определяется аналогично. В случае ненулевых начальных условий и мгновенно приложенных, постоянных по величине внешних моментов $M_1(t) = M_1$ и $M_2(t) = M_2$ [1]

$$M_{12} = e^{-\alpha_1 t}\times$$

$$\times\left(M_{12(0)}\cos\beta_1 t + \frac{\alpha_1 M_{12(0)} + M_{12(0)}}{\beta_1}\sin\beta_1 t\right) -$$

$$-\frac{j_2 M_1 + jM_2}{j_1 + j_2}e^{-\alpha_1 t}\left(\cos\beta_1 t + \frac{\alpha_1}{\beta_1}\sin\beta_1 t\right) +$$

$$+\frac{j_2 M_1 + j_1 M_2}{j_1 + j_2}. \qquad (6)$$

Общее решение неоднородных уравнений в случае комплексных корней характеристического уравнения найдем как сумму общего решения однородных уравнений и частного решения [1]

$$M_{12} = \tilde{M}_{12} + \tilde{\tilde{M}}_{12} =$$

$$= e^{-\alpha_1 t}\left(B_{12}^{(1)}\cos\beta_1 t + C_{12}^{(1)}\sin\beta_1 t\right) +$$

$$+ e^{-\alpha_2 t}\left(B_{12}^{(2)}\cos\beta_1 t + C_{12}^{(2)}\sin\beta_1 t\right) + R_{12},$$

$$M_{23} = \tilde{M}_{23} + \tilde{\tilde{M}}_{23} =$$

$$= e^{-\alpha_1 t}\left(B_{23}^{(1)}\cos\beta_1 t + C_{23}^{(1)}\sin\beta_1 t\right) +$$

$$+ e^{-\alpha_2 t}\left(B_{23}^{(2)}\cos\beta_1 t + C_{23}^{(2)}\sin\beta_1 t\right) + R_{23}. \qquad (7)$$

Стационарное напряженное состояние для двухмассовой системы определиться по формуле:

$$M_{12}^{стац} = \frac{j_2 M_1 + j_1 M_2}{j_1 + j_2} =$$

$$= M_1\frac{j_2}{j_1 + j_2} + M_2\frac{j_1}{j_1 + j_2}. \qquad (8)$$

Для трехмассовой системы:

$$M_{12}^{стац} = M_1 \frac{j_2 + j_3}{j_1 + j_2 + j_3} - (M_2 + M_3)\frac{j_1}{j_1 + j_2 + j_3}, \quad (9)$$

$$M_{23}^{стац} = (M_1 + M_2)\frac{j_3}{j_1 + j_2 + j_3} - M_3 \frac{j_1 + j_2}{j_1 + j_2 + j_3}.$$

Таким образом, в периоды разгона и торможения на детали подъемников действует переменная нагрузка, амплитуда которой изменяется закономерным образом во времени согласно зависимости (4).

Следовательно, для трехпериодной тахограммы подъема значение коэффициента долговечности определяется из выражения:

$$k_{дл} = \sqrt[m]{\frac{\lambda}{\delta_1^m N_Б}\left[\int_0^{t_1} \delta_{1(t)}^m N_{(t)1} dt + \int_0^{t_2} \delta_{3(t)}^m N_{(t)3} dt + \int_0^{t_3} \delta_{2(t)}^m N_{(t)2} dt\right]}, \quad (10)$$

где $\delta_{1(t)}, \delta_{2(t)}, \delta_{3(t)}$ - напряжения, определяемые для рассматриваемой детали подъемника от нагрузок; $N_{(t)1}, N_{(t)2}, N_{(t)3}$ - число циклов нагружения детали соответственно в течение периода разгона, равномерного движения и торможения; t_1, t_2, t_3 - время разгона, равномерного движения и торможения за один период подъема, рис.(1).

Величина σ_1 определя-ется для значения $M_{стац.}$ Таким образом, формула (10) позволяет определить коэффициент долговечности с учетом переходных процессов.

Для касательных напряжений коэффициент долговечности с учетом соотношения $n(t) = \frac{30\omega t}{\pi}$,($\omega t$ - угловая скорость вращения коренного вала подъемника) [1]

$$n_{\tau дл} = \frac{\tau_{-1Д}}{\tau_1 \sqrt[9]{\frac{1800\lambda}{\pi N_Б M_{стац1}^9}\left[\int_0^{t_1} M_1^9 \tau_1 t_1 dt + \int_0^{t_3} M_{111}^9 (\omega_{макс} - \tau_3 t_3) dt + M_{стац2}^9 t_2 \omega_{макс}\right]}}, \quad (12)$$

$$n_{\sigma дл} = \frac{(\sigma_{-1})_Д}{\sigma_1 \sqrt[9]{\frac{1800\,\lambda}{\pi N_Б M_{стац1}^9}\left[\int_0^{t_1} M_1^9 \tau_1 t_1 dt + \int_0^{t_3} M_{111}^9 (\omega_{макс} - \tau_3 t_3) dt + M_{стац2}^9 t_2 \omega_{макс}\right]}} \quad (13)$$

$$k_{дл\tau} = \sqrt[9]{\frac{1800\lambda}{\pi N_Б M_{стац1}^9}} \times \sqrt[9]{\left[\int_0^{t_1} M_1^9 \omega_{1t} dt + \int_0^{t_1} M_{111}^9 \omega_{3t} dt + M_{стац2}^9 t_2 \omega_{\max}\right]}. \quad (11)$$

Учитывая, что для принятой трехпериодной тахограммы угловых скоростей

$\omega_{1t} = \tau_1 t_1$; $\omega_{3t} = \omega_{макс.} = \tau_3 t_3$;

$\omega_{макс.} = \frac{\pi n}{30}$,

(где n – число оборотов вала, τ_1, τ_3 - угловые ускорения), получаем значение запаса прочности вала по касательным напряжениям 1]

где τ_1 - касательное напряжение, соответствующее крутящему моменту $M_{стац.}$ Так как $k_{дл.\tau} = k_{дл\,\sigma}$ [4], то запас прочности вала по нормальным напряжениям определяется по формуле 1]

Данное выражение показывает, что изгибные моменты вала связаны с крутящим моментом линейной зависимостью.

Таким образом, выше приведенные зависимости показывают, что при рассмотрении вопроса об эксплуатационной надежности подъемных машин с длительным сроком службы учитываются, как статическая, так и динамическая состав-

ляющие нагрузок. Следовательно, применяя приведенные характеристики можно рассчитать запас прочности вала по нормальным и касательным напряжениям, а так же определить коэффициент долговечности от углового ускорения и числа оборотов вала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Федорова З.М., Лукин И.Ф., Нестеров А.П.* Подъемники. Издательское объединение «Вища школа» 1976. – 296 с.
2. Федоров М.М. Избранные труды. Издательство А.Н.УССР., т.1.1975. - 148 с.
3. Штремель Г.Х. Грузоподъемные машины – М., Высшая школа.,1980. – 304 с.
4. *Детали* машин. Расчеты и конструирование. Справочник под редакцией Ачеркана. М., «Машиностроение» т.1.1968. – 185 с.

Коротко об авторах

Пахомов П.И. – член.-корр. ИАКР, доктор технических наук,
Лядышева Т.В. – аспирантка.

© С.В. Казаков, А.П. Сибрина, 2006

УДК 622.23.05.51

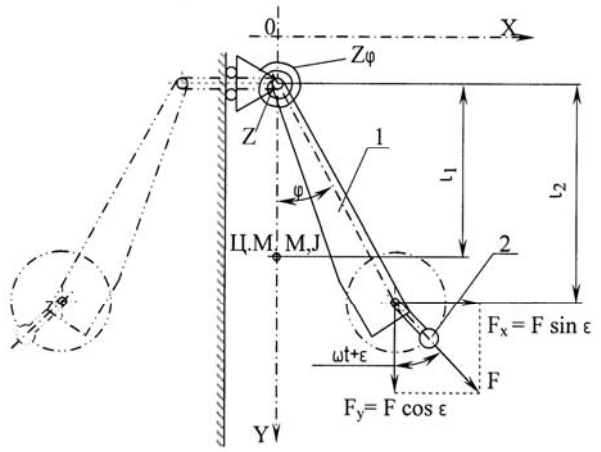
С.В. Казаков, А.П. Сибрина

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВИБРОЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК

Семинар № 20

В научно-производственной корпорации «Механобр-техника» для дробления хрупких руд и особо прочных нерудных материалов (ферросплавов) разработаны динамические схемы вибрационно-щековых дробилок с инерционным приводом различных типов.

Известные направления совершенствования щековых дробилок с эксцентриковым приводом не позволяют создать машину с наиболее эффективным ударным характером воздействия щек на материал, при котором появляется возможность сочетать в одном агрегате две и более стадии дробления. Имеются также серьезные трудности использования дробилок с кинематическим приводом для работы в автоматизированных линиях с дистанционным управлением. Таким требованиям отвечают дробилки с инерционным приводом. Применение инерционного привода дает возможность получать теоретически неограниченные усилия в полости дробления, которые могут лимитироваться только прочностью машины. Большая частота колебаний (1000 – 1500 мин$^{-1}$ и более) позволяет оценить воздействие щек на материал как вибрационное. Одновременно изменяется сам характер приложения нагрузки. Если в дробилках с кинематическим приводом характер приложения нагрузки в основном статический, то с инерционным – наблюдается пиковое нарастание силы воздействия на материал, которое оценивается как ударное.



Указанные особенности инерционного привода позволяют использовать его для дробления самых прочных и твердых горных пород при наиболее эффективном ударно – вибрационном способе разрушения.

Инерционный привод по сравнению с кинематическим при соответствующих условиях дает возможность значительно упростить конструкцию машины путем использования явления самосинхронизации, что значительно снижает массу и габариты установки, облегчает ремонт и обслуживание дробилки. Важное достоинство ударно – вибрационных дробилок, позволяющее применить их в автоматизированных линиях - возможность работы в условиях перегрузок. Их так же как и инерционные конусные дробилки, можно останавливать и пускать с полностью загруженной рабочей полостью, попадание недробимого тела не вызывает поломки машины, поскольку колебания возбуждаются не кинематическим, а динамическим путем и зависят только от инерционных параметров дробилки.

Ударно–вибрационные дробилки динамически уравновешены, не требуют фундамента, их можно устанавливать на межэтажных перекрытиях и эстакадах.

Отличительная особенность ударных щековых дробилок по сравнению с известными ударными агрегатами (молотковыми и роторными дробилками) заключается в том, что удары производятся не по свободно падающему куску материала, а по куску, находящемуся между двумя молотами (дробящими щеками) или на тяжелом корпусе машины (наковальне). Очевидно, что в виброщековых дробилках удары будут более эффективными. [1]

На рис. 1 представлена динамическая схема уравновешенной виброщековой дробилки с самосинхронизирующимися вибраторами.

Уравнения движения щеки:

дифференциальное уравнение для координаты *y*

$$M\ddot{y} = F\cos(\omega t + \varepsilon) \qquad (1)$$

дифференциальное уравнение вращательного движения щеки

$$\ddot{\varphi} + \frac{Z_\varphi + Mgl_1}{I_z}\varphi = \frac{Fl_2}{I_z}\sin(\varphi t + \varepsilon) \qquad (2)$$

Решение уравнений движения щеки:

уравнение пути возвратно-поступательного движения

$$y = -F\cos(\omega t + \varepsilon)/(M\omega^2) \qquad (3)$$

уравнение углового пути щеки

$$\varphi = \frac{Fl_2}{Z_\varphi + Mgl_1 - \omega^2 I_z}\sin(\omega t$$

(4)

Дробилка, разработанная по рассмотренной динамической схеме, представленная на рис. 2, включает в себя дробящий механизм, опорную площадку с приводом и электродвигателями.

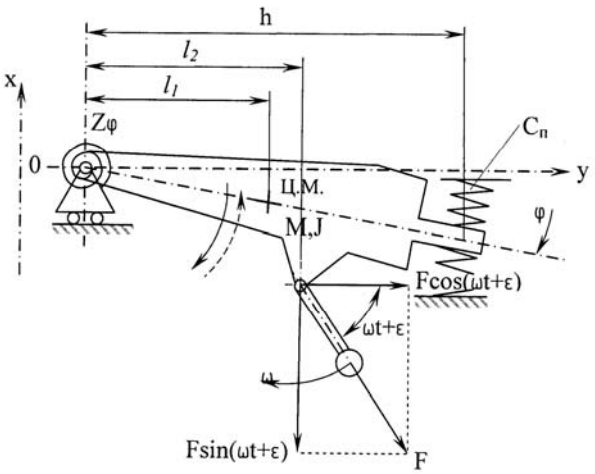
Дробящий механизм установлена на площадку через «мягкие» амортизаторы, исключающие передачу вибраций на опорную конструкцию. При рабочем ходе щеки движутся вперед и вниз, осуществляя дробление руды и сообщая дополнительную скорость материалу при разгрузке. При холостом ходе щеки движутся назад и вверх, обеспечивая эффективную разгрузку раздробленного материала.

Для рассматриваемой схемы составлены уравнения движения; получено выражение для ударного импульса и

кинетической энергии, теряемой за удар; найдено выражение для определения высоты призмы выпадения раздробленного материала, подчеркивающее качественно отличный от обычных дробилок характер разгрузки продукта; получено условие самосинхронизации дебалансных вибраторов.

С целью снижения габаритных размеров виброщековой машины, а также возможности использования в стесненных условиях шахт, предложено расположить камеру дробления под некоторым углом к горизонту. Динамическая схема наклонной дробилки представлена на рис. 3 [2].

Уравнения движения щеки:



дифференциальное уравнение качания щеки

$$I\ddot{\varphi} + Z_\varphi\varphi + 2C_п h^2\varphi - \qquad (5)$$
$$- Fl_1\varphi\cos(\omega t + \varepsilon) = Fl_2\sin(\omega t + \varepsilon)$$

где $C_п$ – жесткость опорных пружин; h – расстояние до опорных пружин.

дифференциальное уравнение возвратно-поступательного движения вдоль оси ОУ

$$M_{ДР}\ddot{y} = 2F\cos(\omega t + \varepsilon)$$

(6)

где $M_{ДР}$ – масса дробилки

Решение уравнений движения щеки:

дифференциальное уравнение движения щеки

$$\varphi = \frac{Fl_2}{Z_\varphi + 2C_п h^2 - Fl_1\cos(\omega t + \varepsilon) - \omega^2 I} \times$$
$$\times \sin(\omega t + \varepsilon) \qquad (7)$$

уравнение горизонтальных перемещений дробилки

Рис. 2. Виброщековая дробилка с приемным отверстием 440x1200 на Кировском заводе в Санкт-Петербурге

Рис. 4. Наклонная дробилка на передвижной платформе

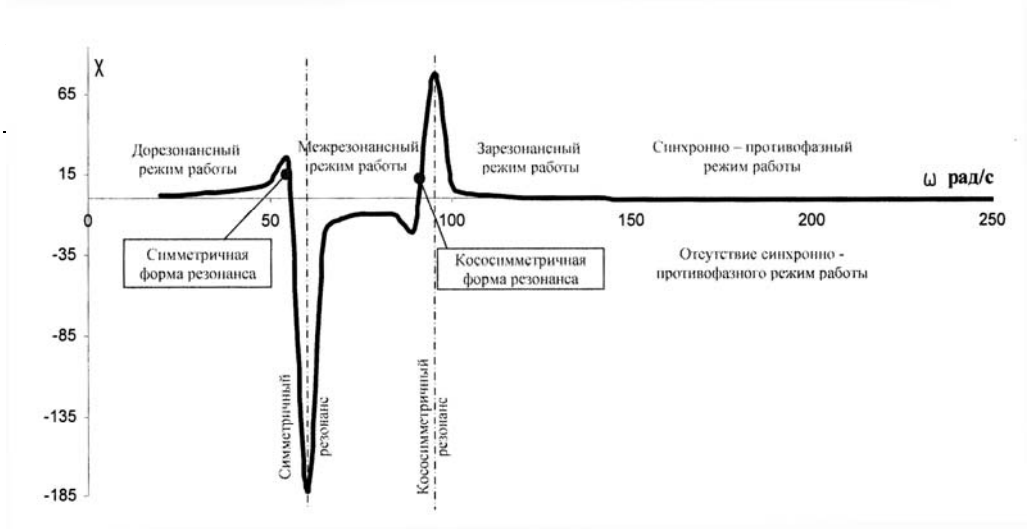


Рис. 5. Амплитуда частотных характеристик

$$y = \frac{2F}{M_{ДР}\omega^2}\cos(\omega t + \varepsilon)$$

(8)

К тому же, подобное расположение камеры дробления дробилки позволяет сообщать материалу за цикл движения щеки начальную скорость в направлении разгрузки, обеспечивающую прохождение материала через дробилку. Указанное решение дробилки определяет компактность установки и значительно снижает ее стоимость.

Расположение наклонной дробилки с питателем и отгрузочным конвейером на передвижной платформе представлено на рис. 4.

Схема виброщековой дробилки с двумя самосинхронизирующимися вибраторами имеет весьма существенный недостаток: пересечение областей синфазного режима и однократного одноударного режима приходится на весьма узкие диапазоны, один из которых расположен ниже первой собственной, а второй – выше второй собственной частоты [2]. Амплитуда частотных характеристик представлена на рис. 5.

Избавиться от этого недостатка в рамках традиционной схемы невозможно. Естественное желание использовать наиболее существенную часть области существование одноударных режимов, лежащую в полосе частот $\frac{\omega}{\kappa} \rangle 1$, проще всего реализовать в виброщековой дробилке с одним вибратором на одной из щек рис. 6.

Уравнения движения системы:

$$(M_1 + M_2)\ddot{x} + M_1 r_1 \cos\delta_1 \ddot{\varphi}_1 - M_2 r_2 \cos\delta_2 \ddot{\varphi}_2 = -m\varepsilon\omega^2 \cos(\omega t + \beta)$$

Рис. 6. Схема одновибраторной дробилки

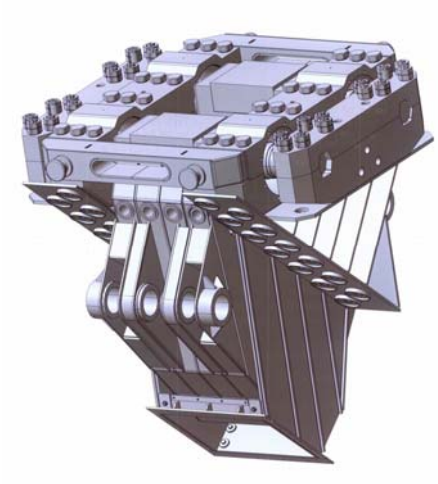


Рис. 7. Дробящий механизм ВЩД 1000х1200

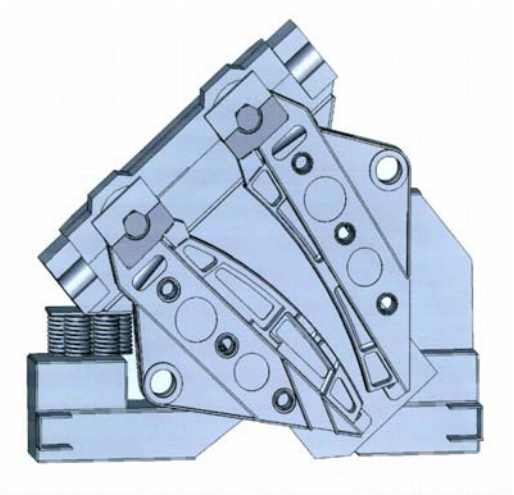


Рис. 8. Модель наклонной вибрационной щековой дробилки ВЩД 1000х1200

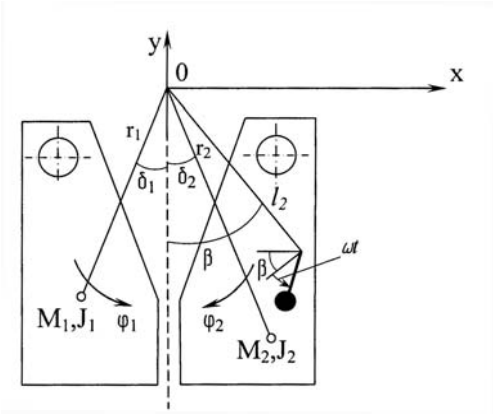
$$(M_1 + M_2)\ddot{y} - M_1 r_1 \sin\delta_1 \ddot{\varphi}_1 - M_2 r_2 \sin\delta_2 \ddot{\varphi}_2 =$$
$$= -m\varepsilon\omega^2 \sin(\omega t + \beta)$$
$$J_1 \ddot{\varphi}_1 + c(\varphi_1 + \varphi_2) + M_1 r_1 (\ddot{x}\cos\delta_1 - \ddot{y}\sin\delta_1) = 0$$
$$J_2 \ddot{\varphi}_2 + c(\varphi_1 + \varphi_2) - M_2 r_2 (\ddot{x}\cos\delta_2 + \ddot{y}\sin\delta_2) =$$
$$= m\varepsilon\omega^2 l_2 \cos\omega t \qquad (9)$$

где M_1 и M_2 – массы щек; J_1 и J_2 – моменты инерции щек относительно оси взаимного поворота; с – поворотная жесткость; ϕ_1 и ϕ_2 – углы поворота щек; m – масса дебаланса; ε - эксцентриситет дебаланса; ω - угловая скорость дебаланса; r_1 и r_2 – расстояние от оси торсиона до центра масс щеки.

На совете «НПК «Механобр-техника» с участием специалистов ЗАО «Автоматика» был принят технический проект о разработке рабочего проекта высокоэффективной первичной дробилки для реализации двухстадиальной схемы дробления, рис. 7, рис. 8.

Цель разработки заключается в создании дробилки, применение которой на практике двухстадиального вибрационного дробления, позволит, при исходной крупности куска 800 мм, получать дробленый продукт крупностью менее 10 мм при настройке на тонкое
дробление или менее 40 мм при производстве щебня. Производительность должна составить до 200 т/ч. Предлагаемая схема дезинтеграции рудного и нерудного сырья позволит быть вне конкуренции на мировом рынке дробильного оборудования.

Вибрационные щековые дробилки находят все большее применение в установках по переработке железобетонных и строительных отходов, ферро-сплавов, шлаков, шамота, литейных песков и других материалов, содержащих металличе-



ские включения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я.* Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. - С.-Пб.:ВСЕГЕИ

2. *Ревнивцев В.И., Денисов Г.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я.* Вибрационная дезинтеграция твердых материалов. – М.,: Недра, 1992.-430 с.

Коротко об авторах

Казаков С.В. – старший инженер-конструктор,
Сибрина А.П. – старший инженер-конструктор,
ОАО «НПК «Механобр-техника».

© Ю.В. Антипов, В.Г. Черных, 2006

УДК 622.232:658.5(06)

Ю.В. Антипов, В.Г. Черных

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ СЛУЖБЫ МЕХАНИКА ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Семинар № 20

Опыт эксплуатации отечественной горнопроходческой техники показывает, что основной причиной ее низкой эксплуатационной надежности, является несовершенство системы технического обслуживания и ремонта (ТОР), заключающееся в том, что остановка на ремонт производится либо преждевременно, когда оборудование не исчерпало свой ресурс, либо в экстренном порядке, когда наступает аварийная ситуация. Это приводит к большим трудовым и материальным затратам на поддержание оборудования в работоспособном состоянии.

На основе анализа эксплуатационных данных установлено, что в существующей системе ТОР угольной промышленности Российского Донбасса основным фактором, влияющим на эксплуатационную надежность шахтного оборудования, является время ликвидации отказов, которое напрямую зависит от принятой стратегии технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время разработана методика построения прогнозной стратегии замены элементов технических систем, которая обеспечивает возможность определения номенклатуры быстроизнашиваемых узлов и деталей систем и сроков их замены.

На основе широко распространенной в мировой практике CALS-техно-логии (CALS – информационная поддержка жизненного цикла изделия) [1] методика реализована в виде программного модуля «Инженерный анализ и планирование», входящего в состав интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР). ИЭТР представляют собой комплекс взаимосвязанных технических данных (программных модулей) в электронной форме на мобильном носителе (CD) и отображает информацию в удобном для

пользователя виде (техническое руководство, каталог деталей с возможностью заказа запчастей, обучающая система и т.д.).

Модуль «Инженерный анализ и планирование» [2] обеспечивает возможность построения прогнозных графиков с целью определения вероятностных сроков подготовки и проведения ремонтных работ по быстроизнашиваемым узлам и деталям. Его применение в системе ТОР по прогнозным оценкам позволяет в 1,5-2 раза сократить время ликвидации отказов.

Установлено, что наиболее значительной составляющей времени ликвидации отказов является время подготовки к ремонту, зависящее от наличия необходимых запасных частей. Поэтому среди важнейших направлений повышения эксплуатационной надежности в горной промышленности выделяется задача определения оптимального количества резервных элементов и мест их размещения.

Очевидно, что запасы нужны для того, чтобы удовлетворять спрос на детали в нужном количестве и в установленные сроки. Однако запасы требуют расходов на их содержание. Выбор политики управления запасами практически заключается в ответе на один вопрос: «Какая величина запасов является оптимальной?». При этом необходимо найти оптимальное сочетание между расходами на содержание запасных частей и затратами на удовлетворение потребного спроса на них, а также определить, какая величина запасов по каждой группе или даже позиции оборудования будет является достаточной для достижения данного сочетания, при котором суммарные затраты будут стремиться к минимуму.

Решение аналогичных задач обеспечивает складская логистика, которая основывается на решении ряда оптимизационных задач, с помощью которых определяется:

- оптимальная или экономичная партия заказа;
- количество складов и их месторасположение;
- задача консолидации груза (многономенклатурные отправки);
- управление запасами.

Однако, учитывая специфику горного производства, поставленная задача требует проведения дополнительных научно-исследовательских работ.

Определение оптимального количества резервных элементов, предлагается производить с применением метода «доминирующей последовательности». В каждом шаге расчетного процесса этого метода в резервируемую систему прибавляется по одному резервному элементу выбранного типа исходя из значения показателя выбора того типа, который обеспечивает наибольшее приращение показателя надежности на единицу ограничивающего фактора.

Следует учесть, что резервные элементы находятся в нагруженном резерве, используемом только для замены отказавших основных элементов, и что существуют определенные ограничения по стоимости, времени на замену, весу и т.д., превышение которых приведет к увеличению времени ремонтного цикла. В данном случае желательным является такое размещение резервных элементов, которое обеспечивает максимально возможную надежность системы при соблюдении требуемых ограничений. Такое оптимальное размещение резко сокращает общее количество различных возможных размещений резервных элементов. При этом, произведя выбор среди членов этого семейства резервных элементов, можно быть уверенным, что достигнуто максимально возможное значение показателя надежности при указанных ограничениях.

Предположим, что каждый элемент i-го типа i-ой подсистемы характеризуется **j типами различных затрат**, т.е. величина $\mathbf{c_{ij}}$ **есть затраты** j-го типа на i-й элемент. Например, первым типом ограничений может быть вес, вторым – стоимость и т.д.

Для каждого типа затрат определены линейные ограничения следующего типа:

$$\sum_{i=1}^{k} c_{ij} n_i \le c_j, \; j=1, 2, \ldots, r$$

где n_i – число резервных элементов заданного типа.

Так, например, может потребоваться, чтобы полный вес системы не превышал некоторой заданной величины c_1, а полная стоимость – величины c_2.

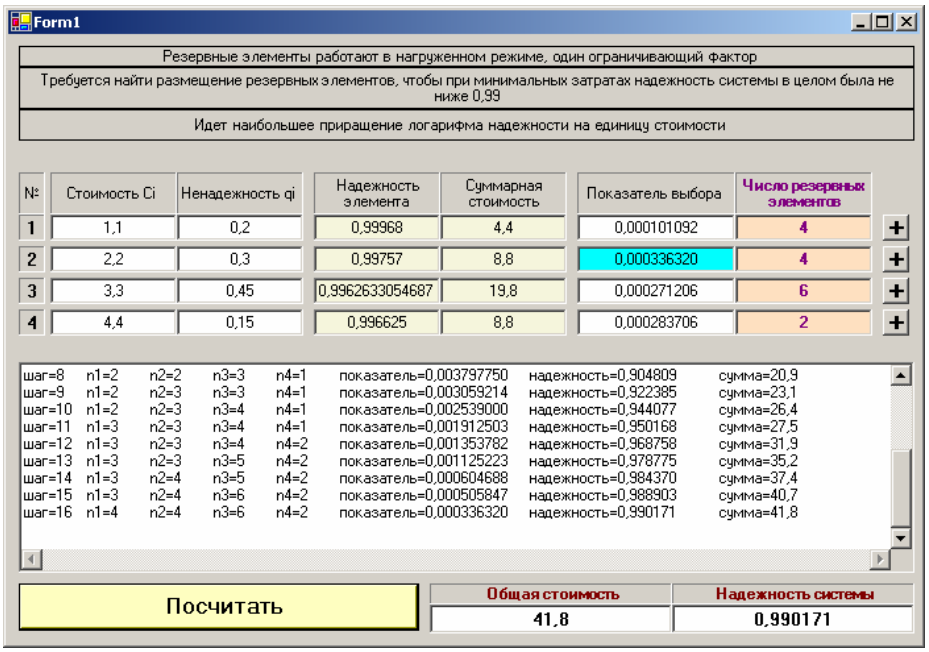
Каждый элемент i-го типа характеризуется вероятностью безотказной работы p_i независимо от того, работают или не работают другие элементы системы [3]. Таким образом, надежность системы P(n), где $n=(n_1,\ldots,n_k)$, определяется как:

$$P(n) = \prod_{i=1}^{k} (1 - q_i^{n_i}), \qquad (1)$$

где $q_i=1-p_i$.

Задача состоит в нахождении такого вектора n, компонентами которого являются положительные значения, чтобы максимизировать функцию P(n) при выполнении условий линейных ограничении (1).

а



б

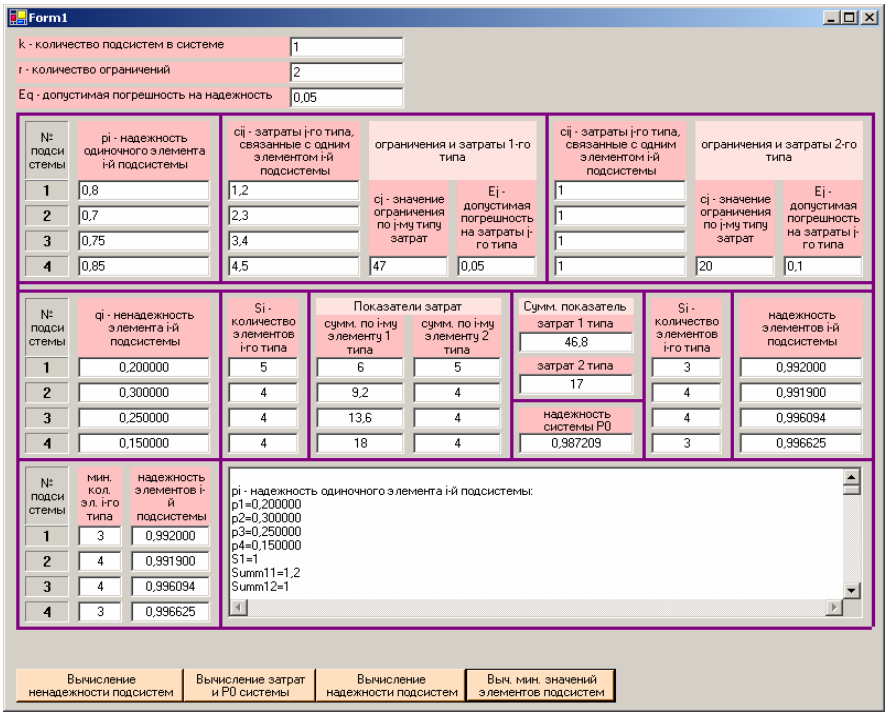


Рис. 1. Программная реализация метода «доминирующей последовательности»: а - при наличии одного ограничивающего фактора, б - при наличии двух ограничивающих факторов

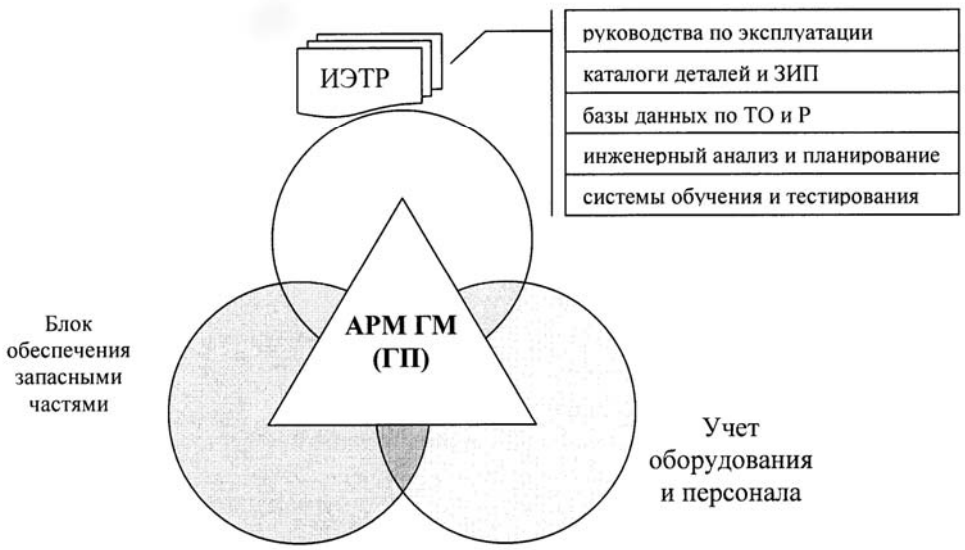


Рис. 2. Структура АРМ ГМ (ГП)

Пусть $c_j(n)=\sum_{i=1}^{k} c_{ij}n_i$ - суммарные затраты j-го типа на систему в целом, если резервируемая система характеризуется вектором n. Далее будем говорить, что n_1 доминирует n_2, если $c_j(n_1)\leq c_j(n_2)$, j = 1, …, r, в то время как $P(n_1)\geq P(n_2)$. Если при этом, по крайней мере, одно из неравенств является строгим, то будем говорить, что n_1 строго доминирует n_2. Последовательность S, состоящая из векторов n^h, h = 1, 2…, r, удовлетворяющих условиям $\sum_{i=1}^{k} c_{ij}n_i \leq c_j$, j=1, 2,…, r, называется доминирующей последовательностью, если ни один из векторов nh не доминируется строго никаким другим вектором. Ясно, что для решения этой задачи необходимо рассмотреть лишь члены доминирующей последователь-ности S.

В итоге получаются члены семейства «доминирующей последовательности», которые обеспечивают достижение заданной надежности системы при минимальных показателях ограничивающих факторов.

Применение метода доминирующей последовательности позволяет решить вопрос оптимального резервирования при наличии ограничивающих факторов, т.е. количество резервных деталей по каждой рассчитываемой группе узлов и механизмов.

Данный метод реализован в виде программного блока обеспечения запасными частями, который включает в себя три модуля (рис. 1):

- модуль обработки исходных данных и расчета необходимого количества запасных частей по каждой группе (позиции) оборудования;
- модуль определения и учета мест хранения запасных частей;
- модуль расчета и мониторинга «текучести» запасных частей по местам их хранения.

Данный блок позволит:

- планировать объемы и расположение запасных частей в точке их потребления;

- вести учет прогнозного времени поставки резервной детали;
- снизить удельную себестоимость эксплуатации техники;
- минимизировать затраты, которые зависят от организации поставки запасных частей с учетом данных прогнозного графика организации ремонта.

В результате объединения созданных программных блоков и модулей, нами предлагается информационный комплекс "Автоматизированное рабочее место главного механика горного предприятия (АРМ ГМ (ГП)) (рис. 2), включающий в себя:

- интерактивные электронные технические руководства по оборудованию;
- блок учета оборудования и персонала, обеспечивающий учет оборудования, его перемещений с участка на участок и инвентаризацию;
- блок обеспечения запасными частями.

Такой состав комплекса АРМ ГМ (ГП) позволит обеспечить оперативное выполнение задач, стоящих перед электромеханической службой горного предприятия и существенно повысить эксплуатационную надежность оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Колчин А.Ф. и др.* Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.

2. *Электронная* эксплуатационная документация – основа нового уровня организации электромеханической службы шахты - С.И. Носенко, В.Г. Черных, Ю.В. Антипов. Информационные технологии в науке и образовании. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2003, - 96 с.

3. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Математическая теория надежности. – М.:, 1969. -487 с.

Коротко об авторах

Антипов Ю.В. – аспирант кафедры "Технологические машины и оборудование"
Черных В.Г. – кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование»
Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ), г. Шахты.