

## ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН ШАХТ КУЗБАССА

В. В. БУРКОВ, В. М. ВОРОНЧИХИН, Н. И. КЛЫКОВ, В. А. ТИМОФЕЕВ,  
В. С. УДУТ

(Представлена научным семинаром кафедры горных машин, рудничного транспорта  
и горной механики)

На шахтах Кузбасса находятся в эксплуатации отечественные и импортные подъемные машины, установленные 20—25 лет тому назад, то есть тогда, когда производительность шахт и глубина стволов были значительно меньше. Эти машины весьма различны по своим конструктивным и эксплуатационным характеристикам и имеют неодинаковый запас прочности основных элементов механической части. За длительное время эксплуатации неоднократно изменялся режим работы подъемных установок (менялись высота подъема, концевая нагрузка, скорости, ускорения и т. д.). Механическая часть некоторых машин значительно перегружена и это в ряде случаев приводит к поломке коренных валов, зубьев редуктора, оболочек барабанов и других деталей.

Кафедра горной электромеханики совместно с кафедрой прикладной механики Томского политехнического института имени С. М. Кирова с 1960 года произвела проверку механической части некоторых подъемных машин, поработавших на шахтах комбината «Кузбассуголь» выше 15—20 лет с целью выяснения пригодности их для дальнейшей эксплуатации.

Для определения фактических усилий в канатах у ободов барабанов было проведено исследование режима работы подъемных установок. Диаграммы скорости и ускорений снимались шлейфовым осциллографом МПО-2 и самопишущим ампер-вольтметром. Средняя концевая нагрузка и коэффициент перегрузки сосуда определялись путем взвешивания поднимаемого и опускаемого полезного груза. Масса движущихся частей подъемной установки, приведенная к радиусу навивки каната, определялась при свободном выбеге по диаграмме скорости и ускорений [1]. Значения максимальных ускорений, скачков ускорений, возможный напуск каната, координаты точек схода канатов с барабанов в различные моменты подъемной операции находились расчетным путем и экспериментально [2].

Статические усилия в канатах определялись с учетом шахтных сопротивлений и перегрузки сосудов. Статическое усилие поднимающейся ветви каната

$$F'_{cm} = (k_3 + k') Q + Q_m + p(H_0 - x), \quad (1)$$

где  $k_3$  — коэффициент загрузки сосуда (в среднем  $k_3 = 1,1$ );

$k'$  — коэффициент шахтных сопротивлений для одной ветви каната (для скипового подъема  $k' = 0,075$ , а для клетевого  $k' = 0,1$ );

$Q$  — полезный груз, кг;

$Q_m$  — мертвый груз сосуда, кг;

$p$  — вес 1 пог. м. каната, кг/м;

$H_0$  — длина отвеса каната, м;

$x$  — путь, проходимый сосудом с начала подъема, м.

Статическое усилие в опускающейся ветви каната при порожнем сосуде

$$F_{cm}'' = Q_m + p(H_0 - H + x) - k'Q, \quad (2)$$

где  $H$  — высота подъема, м.

При наличии груза это усилие увеличивается на величину спускаемого груза.

Разность статических усилий

$$F_{cm} = F_{cm}' - F_{cm}'' \quad (3)$$

Динамические усилия определялись в период выбирания напуска каната (для скиповых подъемов) и в период ускоренного движения сосудов с учетом максимальных ускорений и наибольших скачков ускорений.

Максимальные динамические усилия поднимающейся ветви каната в период выбирания напуска

$$F_{д.н} = j_n \left[ \varepsilon_n (Q + Q_m) + \frac{(GD^2)_{ш}}{L_{ш}^2} + p(H_0 + L_c) \right], \quad (4)$$

где  $j_n$  — максимальное ускорение в период выбирания напуска каната, м/сек<sup>2</sup>;

$g$  — ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>;

$(GD^2)_{ш}$  — маховой момент шкива, кг/м<sup>2</sup>;

$D_{ш}$  — диаметр шкива, м;

$L_c$  — длина струны каната, м.

Коэффициент динамической нагрузки при свободном напуске каната

$$\varepsilon_n = k_n \varepsilon_0 + \frac{g}{j_n} (k_n - 1) \left( \frac{k_3 + k' + n_c}{1 + n_c} + \alpha \right), \quad (5)$$

где  $n_c$  — отношение мертвого веса сосуда к полезному грузу;

$\alpha$  — отношение веса свисающей части каната к концевой нагрузке.

Коэффициент напуска [3]

$$k_n = 1 + \frac{220 \cdot \Delta l_n}{H_0 + L_c}, \quad (6)$$

где  $\Delta l_n$  — возможная величина напуска каната, м.

Коэффициент динамической нагрузки при нулевом напуске [4]

$$\varepsilon_0 = \left( 10 + 0,93 \frac{g}{j_n} \right) (0,3 + 0,16\alpha). \quad (7)$$

Максимальное динамическое усилие в канате в период ускоренного движения сосуда в стволе

$$F_d = \frac{j}{g} \left[ \varepsilon (Q + Q_m) + \frac{(GD^2)_{ш}}{D_{ш}^2} + p(H_0 + L_c - x) \right], \quad (8)$$

где  $j$  — максимальное ускорение, м/сек<sup>2</sup>;

Коэффициент динамической нагрузки при этом

$$\varepsilon = 1 + \frac{\Delta j}{j} (1 + 1,7\alpha), \quad (9)$$

где  $\Delta j$  — скачок ускорений,  $м/сек^2$ .

Динамическое ускорение в опускающейся ветви каната в период замедленного движения и разность динамических усилий определялись по общеизвестной методике.

Для определения максимальных ускорений и скачков ускорений определялись наибольший и наименьший пусковые моменты при переключении ступеней реостата [5]

$$\gamma_1 = \frac{2 \gamma_m \frac{v_0 - v}{v_0} \left[ \frac{R_1}{R_{i.p}} (\gamma_m + V \sqrt{\gamma_m^2 - 1}) \right]}{\left( \frac{v_0 - v}{v_0} \right)^2 + \left[ \frac{R_1}{R_{n.p}} (\gamma_m + V \sqrt{\gamma_m^2 - 1}) \right]^2} \quad (10)$$

и

$$\gamma_2 = \frac{2 \gamma_m \frac{v_0 - v}{v_0} \left[ \frac{R_2}{R_{i.p}} (\gamma_m + V \sqrt{\gamma_m^2 - 1}) \right]}{\left( \frac{v_0 - v}{v_0} \right)^2 + \left[ \frac{R_2}{R_{n.p}} (\gamma_m + V \sqrt{\gamma_m^2 - 1}) \right]^2}, \quad (11)$$

где  $\gamma_m$  — перегрузочная способность двигателя;

$R_1$  — сопротивление ступеней реостата, с которой происходит переключение двигателя,  $ом$ ;

$R_2$  — сопротивление ступеней реостата, на которую происходит переключение двигателя,  $ом$ ;

$v$  — фактическая скорость в момент переключений двигателя,  $м/сек$ .

Скорость каната, соответствующая синхронному числу оборотов двигателя

$$v_0 = \frac{\pi D \cdot n_0}{60 \cdot i}, \quad (12)$$

где  $D$  — диаметр барабана,  $м$ ;

$n_0$  — синхронное число оборотов двигателя,  $об/мин$ ;

$i$  — передаточное число редуктора.

Номинальное сопротивление ротора

$$R_{i.p} = \frac{U_{n.p}}{\sqrt{3} I_{n.p}}, \quad (13)$$

где  $U_{n.p}$  — номинальное напряжение ротора,  $в$ ;

$I_{n.p}$  — номинальный ток ротора,  $а$ .

Номинальное усилие двигателя на валу барабана

$$F_n = \frac{975 P_n \cdot i \cdot \eta_p}{n_n} \cdot \frac{2}{D}, \quad (14)$$

где  $P_n$  — номинальная мощность двигателя,  $квт$ ;

$n_n$  — номинальное число оборотов двигателя,  $об/мин$ ;

$\eta_p$  — коэффициент полезного действия редуктора.

Скачок ускорений при переключении ступени реостата

$$\Delta j = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\mu}, \quad (15)$$

где  $\mu = \frac{m}{F_n}$  — коэффициент, характеризующий маховые массы.

## Максимальное ускорение подъемной системы

$$j = \frac{\gamma_2 - \gamma_{ст}}{\mu}, \quad (16)$$

где  $\gamma_{ст} = \frac{F_{ст}}{F_H}$  — отношение статической нагрузки на двигатель к нормальному усилию.

Результаты вычислений по определению максимальных ускорений и скачков ускорений для скиповой подъемной установки шахты «Капитальная-1» приведены в табл. 1, а диаграммы пуска двигателя и диаграммы ускорений для этой же установки — на рис. 1 и 2.

Таблица 1

**Расчетные значения ускорений и скачков ускорений при пуске двигателя скипового подъема шахты «Капитальная-1» треста «Осинникиуголь»**

Момент пуска	Ступень реостата		$v$ м/сек	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_{мин}$ м/сек <sup>2</sup>	$j$ м/сек <sup>2</sup>	$\Delta j$ м/сек <sup>2</sup>
	обозначение	величина, ом						
Включение реверсора	$P_1$	2 218	0	0	0,326	0	0	0
—, — 1 контактора	$P_2$	1 024	0	0,326	0,725	0	0	0
—, — 2 —, —	$I_3$	0,674	0	0,725	1,000	0	0,32	0,32
—, — 3 —, —	$P_4$	0,414	0,8	0,840	1,260	0,01	0,72	0,71
—, — 4 —, —	$P_5$	0,331	1,6	0,943	1,170	0,19	0,58	0,39
—, — 5 —, —	$P_6$	0,234	2,4	0,900	1,220	0,11	0,66	0,55
—, — 6 —, —	$F_7$	0,141	3,0	0,885	1,350	0,08	0,87	0,79
—, — 7 —, —	$P_8$	0,064	3,5	0,930	1,650	0,16	1,40	1,24
—, — 8 —, —	$P_{фр}$	0,007	4,0	0,835	1,490	0	1,12	1,12

Примечание.  $v_0 = 4,33$  м/сек;  $R_{н-р} = 0,67$  ом;  $j_{ст} = 0,835$ ;  $\mu = 0,52$ ;  $j = 1,40$  м/сек<sup>2</sup>  
 $\Delta j = 1,24$  м/сек<sup>2</sup>;  $j_H = 0,32$  м/сек<sup>2</sup>.

Правильность расчета и качества монтажа металлического реостата значительно влияют на увеличение срока службы механической части подъемной установки. Однако проведенные исследования показали, что на многих подъемных установках сопротивление секций различных фаз роторного реостата не равны между собой. На скиповом подъеме № 14 шахты № 5—7 треста «Анжероуголь» асимметрия отдельных секций различных фаз реостата достигает 40—55%, на Западном скиповом подъеме шахты № 9/15 этого же треста — 44—57%, а на клетевом подъеме шахты «Физкультурник» — 114%. Это обстоятельство приводит к несимметричной нагрузке отдельных фаз двигателя, к ухудшению его механических характеристик и снижению надежности работы в период пуска и останова подъемной машины. Помимо этого на большинстве подъемных установок сопротивления секций роторного реостата не соответствует расчетным данным, полученным по методике, изложенной во «Временной инструкции по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок с асинхронным приводом». В тресте «Анжероуголь» на Западном скиповом подъеме шахты № 9/15 фактические сопротивления отдельных секций реостата отличаются от расчетных на  $\pm 50\%$ , на Восточном скиповом подъеме этой же шахты — на  $\pm 23\%$ , на клетевом подъеме шахты № 2 — на  $\pm 30\%$  и на клетевом подъеме шахты «Физкультурник» — на  $\pm 60\%$ . Аналогичная картина наблюдается и на других шахтах Кузбасса.

Настройка магнитных станций также часто не соответствует техническим данным двигателя, заданному режиму работы и фактическим сопротивлениям ступеней реостата. Это приводит к тому, что в момент включения привода в подъемных установках возникают большие ударные нагрузки. Например, на Восточном скиповом подъеме шахты 9/15 при полностью введенном сопротивлении реостата в цепь ротора величина момента, развиваемого двигателем, равнялась 48% от номи-

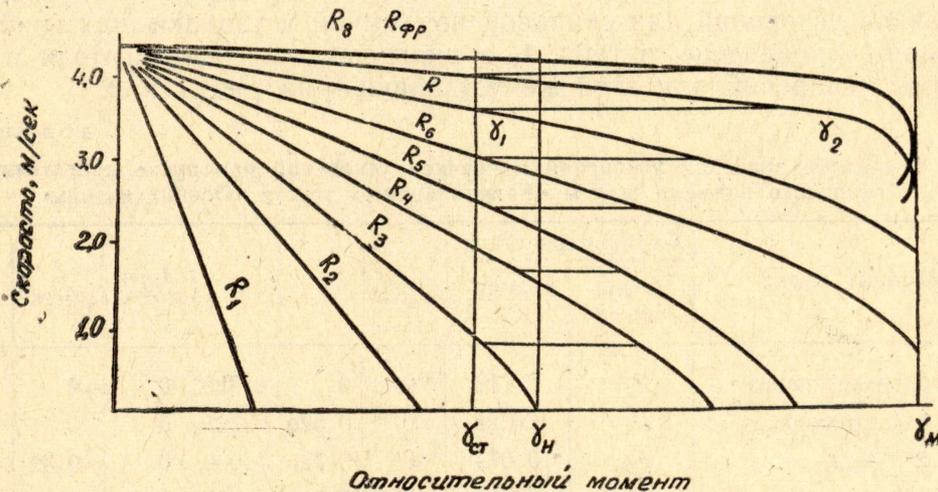


Рис. 1. Диаграмма пуска приводного двигателя скипового подъема шахты «Капитальная-1» треста «Осинникиуголь»

нального момента двигателя, на клетевом подъеме шахты «Физкультурник» — 56% и на клетевом подъеме шахты № 2 — 45%. На многих подъемных установках имели место большие ускорения в период выбирания свободного напуска каната (скиповой подъем шахты им. С. М. Кирова, треста «Ленинуголь», Северный скиповой подъем шахты



Рис. 2. Диаграммы ускорений (1) и замедлений (2) скиповой подъемной установки шахты «Капитальная-1» треста «Осинникиуголь»

«Коксовая № 1» треста «Прокопьевскуголь» и др.). большие и неравномерные скачки ускорений в период ускоренного движения сосудов (Южный скиповой подъем шахты «Коксовая-1» треста «Прокопьевскуголь», скиповой подъем шахты «Капитальная-1» треста Осинникиуголь» и др.). Вследствие вышеуказанных причин на ободу навивки каната возникают большие усилия, что приводит к поломке барабанов, зубьев редуктора и преждевременному износу подъемных канатов. Для

предотвращения подобных явлений необходимо так подбирать ступени реостата и настраивать магнитную станцию, чтобы ускорение в момент трогания машины не превышало  $0,3—0,35 \text{ м/сек}^2$ , а наибольшие скачки ускорений в пусковой период не превышали  $0,6—0,7 \text{ м/сек}^2$ . Эти положения необходимо учитывать при разработке методики расчета металлических реостатов для асинхронных подъемных двигателей.

Состояние коренного вала, барабанов и редуктора проверялось путем тщательного внешнего осмотра, измерением изнашиваемых элементов и ультразвуковой дефектоскопией.

Ввиду того, что на многих шахтах отсутствуют сведения о материалах, из которых изготовлены основные механические узлы подъемных машин, брались пробы металла соответствующих деталей, изготовлялись образцы и производились механические испытания, химический и металлографический анализ. Результаты этих испытаний позволили установить марку стали и ее основные механические характеристики (твердость, предел текучести, предел прочности и т. д.).

Проверочные расчеты на прочность и долговечность производились по результирующим нагрузкам в ветвях каната в различные периоды работы подъема, фактическим размерам деталей и количеству циклов нагружения с момента пуска машины в эксплуатацию. Запас прочности механических частей машины определялся по максимальным напряжениям, пределу текучести и пределу усталости материала. Запас прочности при экстренных нагрузках определялся по разрывному усилию каната.

Приведенные исследования показали, что, несмотря на длительную эксплуатацию, многие старые подъемные машины на шахтах Кузбасса имеют удовлетворительное состояние и могут быть использованы для дальнейшей работы (например, подъемные машины скипового подъема шахты им. С. М. Кирова треста «Ленинуголь», клетевого подъема шахты 5—7 треста «Анжероуголь», скипового подъема шахты 5—6 треста «Прокопьевскуголь» и др.). Однако на некоторых шахтах безаварийную работу подъемных машин нельзя гарантировать (например, подъемные машины клетевого и Южного скипового подъемов шахты «Коксовая-1» треста «Прокопьевскуголь»). В отдельных случаях дальнейшая эксплуатация подъемных машин возможна лишь при определенных условиях. Примерно в пределах пяти лет допустима эксплуатация подъемной машины скипового подъема шахты «Капитальная-1», если будет произведена замена оболочки барабана и установлены демпферы на тормозном устройстве или сделан отдельный привод для рабочего и предохранительного тормоза — во избежание наложения тормозных моментов при предохранительном торможении; на Северном скиповом подъеме шахты «Коксовая-1» треста «Прокопьевскуголь» необходимо заменить редуктор, усилить жесткость барабанов, применять более толстую футеровку и вовремя ее менять; на одноклетевой подъемной установке шахты «Капитальная-1» и на многих других необходимо изменить сопротивление ступеней реостата для снижения ускорений и скачков ускорений; на клетевом подъеме 15-бис шахты 9/15 треста «Анжероуголь» необходимо ограничить конечную нагрузку.

Следует отметить, что жидкостные реостаты обуславливают наиболее благоприятный динамический режим работы подъемных машин. Примером может служить клетевая подъемная установка шахты 5/7 треста «Анжероуголь». Хорошо сохранилась к моменту обследования механическая часть подъемных машин, оборудованных приводом по системе Г—Д, например, скиповой подъем № 7 на той же шахте. По-

ложительное влияние на работу канатов и элементов механической части подъемных машин оказывают пружинные соединительные муфты между приводным двигателем и редуктором, например, на скиповом подъеме шахты «Чертинская-1» треста «Беловуголь».

Во избежание вредных последствий напуска каната необходимо своевременно производить регулирование длины канатов, внедрять постоянный автоматический контроль аварийного и эксплуатационного напуска.

Особое внимание следует уделять проверке положения нижних вкладышей подшипников трехпорных коренных валов, так как превышение расчетных зазоров у средней опоры может послужить причиной возникновения больших напряжений, что приведет к поломке вала.

Во время двухгодичных ревизий следует производить ультразвуковую дефектоскопию ответственных деталей механической части подъемных машин, а через каждые 5 лет — проверку механической части подъемных машин по вышеизложенной методике с целью установления дальнейшей работоспособности основных узлов. Эти мероприятия позволят устранить крупные аварии и несчастные случаи на подъемных установках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Балашов. Экспериментальное определение приведенной массы в рудничной подъемной установке. В кн.: «Горное дело и геология». Научные труды Ново-черкаского, Томского, Среднеазиатского и Харьковского промышленных институтов. «Советская наука», 1940.
2. Н. И. Клыков. Контроль напуска каната на подъемных установках. Колыма, № 1, 1960.
3. В. В. Георгиевская. Влияние напуска каната на динамические усилия в нем (второй этап). Прикладная механика АН УССР, т. 2, вып. 2, 1956.
4. Ф. В. Флоринский. Динамика шахтного подъемного каната. Углетехиздат, 1955.
5. В. Д. Петунов. Эксплуатация и проектирование асинхронного привода шахтных подъемных машин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Рукопись. Научно-техническая библиотека Томского политехнического института, 1958.