

- ское использование: Справочное издание в 3-х кн. Кн. 1 / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 608 с.
2. Б у р д у к о в А.П., М а т у з о в С.В. Сжигание отходов углепереработки в котле кипящего слоя // Уголь. 2012. № 12. С. 69 – 72.
 3. К о р ч е в о й Ю.П., М а й с т р е н к о А.Ю., Т о п а л А.И. Экологически чистые угольные энерготехнологии. – Киев: Наукова думка, 2004. – 186 с.
 4. Ш у в а л о в Ю.В., Н и ф о н т о в Ю.А., Н и к у л и н А.Н. Брикетирование нетрадиционных видов топлив // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 9. С. 161 – 166.
 5. Д у б и н и н В.С., Л а в р у х и н К.М., С т е п а н о в а Т.А. и др. Использование древесины и растительных отходов с целью получения искусственного экологиче-
 - ски чистого твердого топлива для децентрализованного энергоснабжения России // Промышленная энергетика. 2006. № 9. С. 44 – 47.
 6. Ф и л и н а Н.А., А л и б е к о в С.Я. Технология утилизации древесных и нефтесодержащих отходов с целью получения тепловой энергии // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 10. С. 32 – 37.
 7. И с ъ е м и н Р.Л., К у з ъ м и н С.Н., В и р я с о в Д.М. и др. Котел для бесплакового сжигания сельскохозяйственных отходов // Промышленная энергетика. 2011. № 11. С. 55 – 58.

© 2013 г. В.И. Багрянцев, С.А. Казимиров, А.И. Куценко, А.П. Подольский, А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянцева
Поступила 20 сентября 2013 г.

УДК 621.313.2

А.Н. Савельев¹, М.В. Кипервассер¹, Д.С. Аниканов²

¹Сибирский государственный индустриальный университет

²ООО «ПНУ ОК «СШС»

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РАСПОЗНАВАНИЮ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВКАХ

Клетевые и скиповые шахтные подъемы относятся к основным технологическим агрегатам, обеспечивающим работу подземных горнодобывающих предприятий. От их надежной и безотказной работы зависят безопасность и производительность предприятия в целом.

Узлы и агрегаты подъемных установок в процессе работы подвергаются значительным нагрузкам, действие которых приводит к постепенному износу и выходу из строя механизма по тем или иным причинам. Доступ к быстро изнашивающимся узлам и деталям агрегата у персонала установки ограничен, что исключает непрерывную оценку их состояния. По этой причине возникающие неисправности и аварии выявляются несвоевременно, а их характер устанавливается зачастую неверно, что многократно увеличивает потери производства. В этой связи своевременное и точное определение места и характера повреждения является важной для производства задачей. В

сложившихся условиях для постоянной оценки состояния клетевых и скиповых шахтных подъемов может быть использован метод энергетической оценки работы привода [1].

Рассмотрим работу одного из основных механизмов, обеспечивающих технологический процесс рудной шахты, – скипового подъема [2]. Этим термином объединяется довольно сложный комплекс узлов и агрегатов, включающий:

- коренную часть подъема (барабан, тормозные устройства, опорные подшипники и т.д.) (рис. 1);
- подъемные сосуда (скипы) с прицепными устройствами и канатами;
- загрузочные устройства (дозаторы), шахтный ствол с направляющими проводниками, разгрузочные «кривые»;
- электрический двухдвигательный привод постоянного тока со схемой управления.

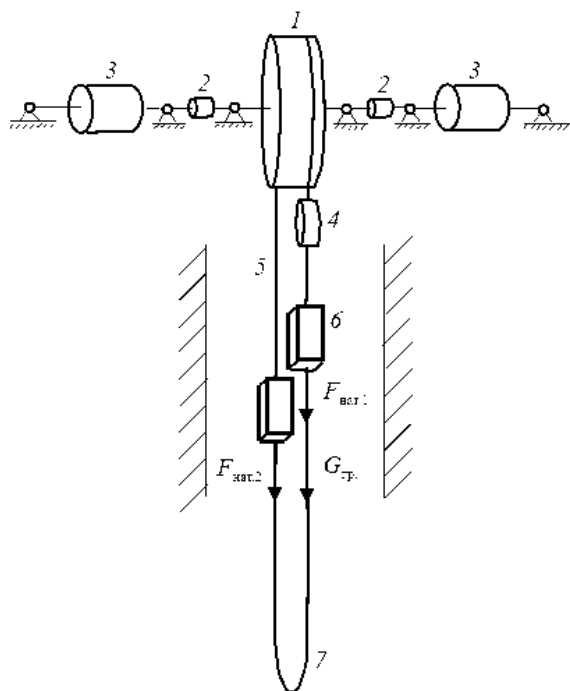


Рис. 1. Кинематическая схема скипового подъема с шкивом трения:

1 – шкив; 2 – муфты; 3 – приводные двигатели постоянного тока; 4 – отклоняющий шкив; 5 – канаты; 6 – скипы; 7 – уравнивающие резинотросовые ленты

В течение технологической смены механизм не обслуживается и не наблюдается технологическим персоналом за исключением машиниста скипового подъема, наблюдающего за всем комплексом механизмов шахтного подъема с пульта управления. При этом существуют несколько схем, приборов и устройств, контролирующих отдельные узлы или аварийные ситуации подъемной установки. Так, для контроля проскальзывания канатов используются схемы, сравнивающие скорости вращения канатопроводящего и отклоняющего шкивов. Иногда дополнительно измеряются скорости скипов [3]. Схемы предполагают использование значительного количества оборудования, но контролируется при этом лишь часть возможных неисправностей.

Контроль аварийных режимов движения скипа обычно выполняют разного рода датчики: переподъема 1-го и 2-го положения скипа, массы груза в скипе, износа тормозных колодок, превышение скорости и пр. Общее количество датчиков на скиповом подъеме достигает двадцати. Подобное количество датчиков весьма усложняет принципиальную и монтажную схемы электрооборудования. Сами датчики не очень надежные в эксплуатации, располагаются в труднодоступных, иногда опасных зонах, и также могут служить причиной отказа. С другой стороны, сравнительно с количеством возможных причин неисправностей и

отказов такое количество регистраторов явно не достаточно. Для сравнения: число аварийных режимов только в самом электроприводе, который контролирует схема защиты электропривода, составляет более сорока. Причем в большинстве случаев для регистрации аварийной ситуации используется информация всего о четырех параметрах электропривода: токе якорной цепи двигателей, токе обмоток возбуждения, напряжении якоря двигателей и их частоте вращения. Было бы весьма удобно, опираясь на результаты работ [1, 4], модернизировать действие схем защиты электродвигателей на механическую часть скипового подъема.

Работа скипового подъема сопровождается процессом преобразования одного вида энергии в другой. Электрическая энергия источника (электрической сети) преобразуется в энергию вращательного движения на валу электродвигателя и далее используется в механизме для совершения полезной работы. Для механизма скипового подъема рудной шахты этапы перехода энергии из одной формы в другую выглядят следующими: электрическая энергия трехфазной сети переменного тока – механическая энергия синхронного двигателя – электрическая энергия регулируемого генератора постоянного тока на его зажимах – энергия вращательного движения на валу приводного электродвигателя постоянного тока – потенциальная энергия поднятого полезного груза. Количество энергии, преобразованной из одной формы в другую, согласно закону ее сохранения с учетом потерь, должно быть одинаковым в любой интервал времени. Величины мощностей различных процессов описываются следующими известными выражениями:

– активная мощность трехфазной сети переменного тока

$$P_c = \sqrt{3} U_c I \cos \varphi, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где U_c – линейное напряжение сети, В; I – фазный ток сети, А; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

– мощность (электрическая) на зажимах постоянного тока преобразователя и цепи якоря приводного двигателя

$$P_3 = U_a I_a, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где U_a – напряжение якорной цепи, В; I_a – ток якорной цепи, А;

– механическая мощность на валу двигателя

$$P_m = M \omega, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где M – механический момент электродвигателя, Н·м; ω – угловая частота вращения вала, с^{-1} ;

– суммарная мощность движущихся и вращающихся частей механизма

$$P_{\Sigma} = (F_{\text{нат1}} - F_{\text{нат2}})v + J_{\text{пр}}\omega\varepsilon, \quad (4)$$

где $F_{\text{нат1}}$, $F_{\text{нат2}}$ – силы натяжения канатов, Н; v – линейная скорость скипов; ω – частота вращения вала двигателя; $J_{\text{пр}}$ – приведенный момент инерции; ε – угловое ускорение привода.

Как уже говорилось выше, в качестве привода механизма используются два двигателя постоянного тока независимого возбуждения, у которых величина механического момента на валу описывается выражением

$$M = c_m \Phi I_a, \quad (5)$$

где c_m – конструктивная постоянная; Φ – магнитный поток, создаваемый в статоре.

Магнитный поток в процессе работы не регулируется и остается практически постоянным. Следовательно, величина момента на валу прямо пропорциональна току якорной цепи, и, контролируя последний, по ней можно точно судить о механических нагрузках в приводе подъема.

Механический момент на валу шкива скипового подъема (рис. 1) складывается из двух основных составляющих: момента статического и момента динамического. Статический момент определяется усилиями натяжения канатов и описывается выражением

$$M_{\text{стат}} = R_{\text{ш}} F_{\text{нат1}} - R_{\text{ш}} F_{\text{нат2}} = R_{\text{ш}} G_{\text{гр}}; \quad (6)$$

здесь $R_{\text{ш}}$ – радиус шкива; $G_{\text{гр}}$ – масса груза в скипе.

Динамический момент возникает при разгоне и замедлении привода. В общем случае он описывается выражением

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dt} [R_{\text{ш}}^2 (2m_{\text{ск}} + m_{\text{гр}} + m_{\text{кан}}) + 2J_{\text{дв}} + J_{\text{шк}}], \quad (7)$$

в котором $m_{\text{гр}}$, $m_{\text{ск}}$ и $m_{\text{кан}}$ – массы груза, скипов и канатов; $J_{\text{дв}}$ – приведенные к валу шкива моменты инерции двигателей; $J_{\text{шк}}$ – приведенные к валу моменты инерции канатопроводящего и отклоняющего шкивов; $d\omega/dt$ – угловое ускорение (замедление) привода.

Полный механический момент на валу шкива в любой момент времени является суммой статической и динамической составляющих:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{стат}} + M_{\text{дин}}.$$

Анализируя величины, входящие в механический момент, можно отметить, что одни из них являются переменными, а другие постоянными. При этом переменные параметры в нормальных условиях эксплуатации скиповых подъемов являются закономерными и стабильными во времени. Так, масса груза в скипе зависит от состава и количества руды. Перед каждым подъемом масса груза с достаточной точностью определяется приборами замера, установленными на дозирующих устройствах. Динамические параметры привода (величины разгона и замедления) зависят от его настроек и характера тахограммы. Имея информацию о запрограммированной тахограмме и положении сосудов, можно судить о величине ускорения (замедления) привода в каждый момент времени, а следовательно, о величине электрических параметров привода.

Любая из аварийных ситуаций приводит к отклонению величины механического момента на валу электродвигателей подъема от штатного, нормального значения [1]. Как следствие, меняется ток якоря приводного электродвигателя. На рис. 2, а, б показаны зависимости тока якоря приводного электродвигателя соответственно при нормальных условиях и при нарушении целостности проводников. На обоих графиках присутствуют характерные участки, соответствующие движению электропривода по стандартной тахограмме: 1 и 5 – трогание и

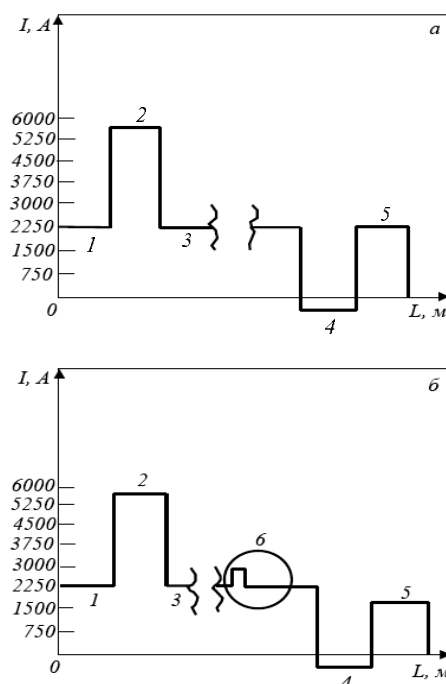


Рис. 2. Токограмма движения скипов при нормальных условиях (а) и при наличии неисправностей (б)

дотягивание скипов в разгрузочных кривых; 2 и 4 – разгон и замедление привода; 3 – движение с установившейся скоростью в стволе.

Кроме того, на рис. 2, б имеется явно выраженное отклонение величины тока от нормальных значений (участок б). Это отклонение связано с повреждениями проводников шахтного ствола.

Нарушение геометрии проводников не приводит к прекращению движения скипов. Явления, связанные с возникшим отклонением, мало заметны на фоне работающих механизмов и не могут служить информацией для определения места и характера неисправности. Вместе с тем очевидно, что с течением времени состояние проводников будет только ухудшаться и в итоге приведет к серьезной аварии и остановке агрегата. Возникшее на диаграмме тока отклонение от нормальных значений дает четкую информацию о месте возникновения неисправности и ее характере. Величина отклонения тока показывает степень нарушения геометрии проводников. Отклонения тока якоря приводных электродвигателей от нормальных значений в абсолютных и относительных единицах для скипового подъема рудника «Шерегеш» приведены в таблице.

При выполнении дополнительных исследований возможна идентификация других видов неисправности механической части агрегата, так как характер отклонения тока от нормальных значений связан с типом неисправности вышеупомянутой механической части.

На базе электрических параметров привода скипов возможно создавать специальные защитные устройства. Так, из всех перечисленных выше аварийных ситуаций на шахтных

подъемных установках одной из самых опасных является проскальзывание каната. Такого рода аварийная ситуация происходит в результате застревания спускаемого сосуда в стволе. Итогом этого является проскальзывание канатов по шкиву, которое приводит к выходу из строя футеровки, значительным динамическим ударом в механопроводе и рассогласованию между положением путевого программного аппарата и фактическим положением подъемных сосудов. Для предупреждения этого опасного явления устройство защиты, основанное на контроле электрических параметров, должно иметь блок-схему, приведенную на рис. 3.

Такого рода устройство способно распознавать начальный этап аварийного режима по колебанию контролируемой величины тока. Принцип работы устройства основан на контроле действующих значений тока при помощи токоизмерительного шунта. Далее выходной сигнал из измерительного блока поступает на входы первого и второго блоков задержки, служащих для обеспечения выдержки времени при пуске механизма. При помощи логических схем и электронных блоков контролируются пусковые значения тока и отклонения, появляющиеся в результате наличия аварийной ситуации (проскальзывания каната). В результате при появлении аварийного режима работы устройство своевременно отключает питание двигателей.

Выводы. Имеются все основания и все возможности, чтобы осуществлять достаточно полный контроль за состоянием работоспособности элементов и узлов скипового подъема рудных шахт.

Отклонение значений тока в аварийных ситуациях

Вид неисправности (аварии)	Отклонение тока на участках тахограммы
	Трогание – разгон – установившееся движение – торможение – дотяжка
Нарушение армировки целостности направляющих проводников	от 150 до 300 от 5,03 до 7,90
Неисправности подшипников шкива коренной части подъемной установки	от 100 до 200 от 2,6 до 5,3
Обрыв одного из уравнивающих канатов	от 600 до 800 от 15,8 до 21,1
Проскальзывание канатов при зависании сосудов	до 1000 до 2,6
Обрыв головного каната	от 500 до 600 от 13,5 до 15,8

Примечание. В числителе – абсолютное отклонение тока, А; в знаменателе – относительное, %.

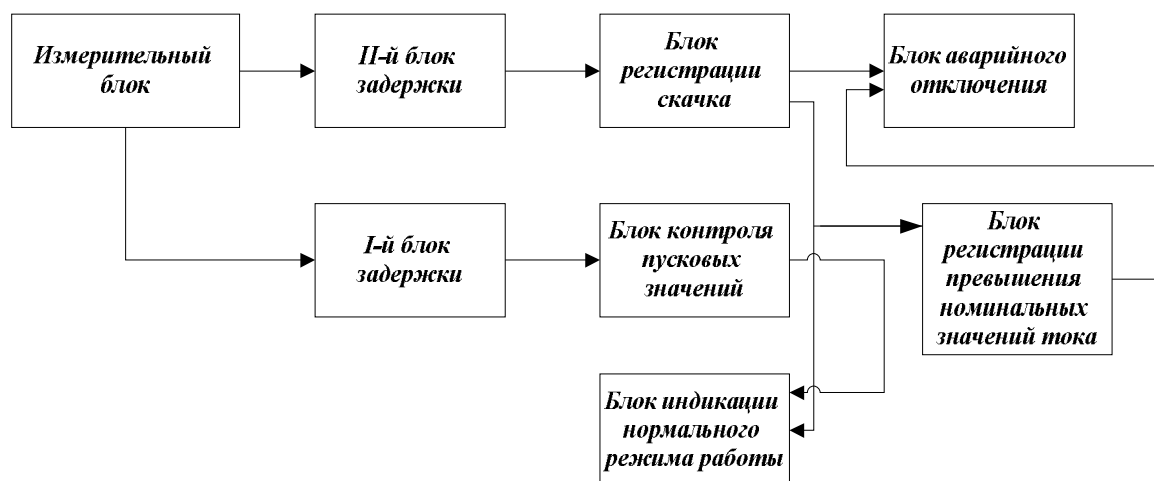


Рис. 3. Блок-схема устройства защиты от проскальзывания каната

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С. К обоснованию комплексного метода оценки работоспособности современных технологических объектов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 37 – 41.
2. Шахтный подъем / В.Р. Бежок, В.И. Дворников, И.Г. Манец, В.А. Пристром. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 626 с.
3. Сидоров В.А., Кравченко В.М., Седушин В.Я. Техническая диагности-

ка механического оборудования. – Донецк: Новый мир, 2003. – 125 с.

4. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Инжелевская О.В. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 6. С. 42 – 45.

© 2013 г. А.Н. Савельев, М.В. Кипервассер,
Д.С. Аниканов

Поступила 16 сентября 2013 г.