

## К ВОПРОСУ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКИПОВЫМИ ПОДЪЕМНЫМИ УСТАНОВКАМИ

В. С. УДУТ

(Представлено научно-технической конференцией горного факультета)

В вопросе автоматического управления шахтными подъемными машинами наибольший интерес представляет решение проблемы автоматизации управления скиповыми подъемными установками с асинхронным приводом.

Режим работы скиповых подъемов характеризуется однородностью выполняемых операций и незначительным изменением концевой нагрузки, что облегчает автоматизацию их управления. Выполнение заданного режима работы усложняется влиянием загрузочных, разгрузочных и посадочных устройств, которые создают известное сопротивление движению подъемной системы. Недостаточная изученность этих сопротивлений приводит к тому, что выбор как самого метода автоматического управления подъемной машиной, так и параметров регулирования производится интуитивно без должного обоснования. Следовательно, решению проблемы автоматического управления подъемной машиной должно предшествовать исследование режима работы установки, который определяется статическими моментами сопротивления и заданным законом изменения скорости в течение одного цикла. Подъемная установка при этом должна рассматриваться как единый электромеханический агрегат.

Скиповые подъемы угольных шахт восточных районов Советского Союза, в частности Кузнецкого бассейна, в большинстве случаев оборудованы машинами с цилиндрическими барабанами, асинхронными электродвигателями, скипами с разгрузкой через дно и бункерами большой емкости с дозирующими загрузочными устройствами.

На подъемах Кузбасса в эксплуатации находятся три типа скипов с разгрузкой через дно: 1) с отклоняющимся кузовом; 2) с неподвижным кузовом и рычажным затвором; 3) с неподвижным кузовом и секторным затвором. Кроме того, отдельные породные подъемы оборудованы опрокидными скипами.

Загрузка скипов производится дозирующими устройствами барабанного типа с секторными затворами. Открывание затворов осуществляется скипами, подаваемыми под загрузку, а закрывание — контргрузами. Фиксирование скипов при загрузке в определенном положении обеспечивается посадочными (опорными) брусками.

По расположению контргрузов загрузочные устройства подразделяются на две группы: 1) с контргрузами, расположенными на бараба-

не затвора; 2) с контргрузами, вынесенными с барабана затвора и связанными с ними канатами.

Загрузочные устройства имеют два вида кареток: 1) с поступательным перемещением и 2) с вращательным перемещением (каретки рычажного типа).

Вследствие незначительной глубины шахт, не превышающей для восточных районов страны 400 м, статическое сопротивление на участке до входа скипа в разгрузочные кривые всегда будет иметь положительное значение, так как появление отрицательных статических сопротивлений на скиповых подъемах возможно только при глубине шахт свыше 800 м. Поэтому замедление машины на этом участке пути можно производить без использования тормозов.

Величина замедления в режиме свободного выбега определяется параметрами подъемной установки

$$j = \frac{\kappa Q + p(H - 2x)}{\Sigma m_i}, \quad (1)$$

где  $x$  — путь, пройденный сосудами, м;

$\kappa$  — коэффициент шахтных сопротивлений;

$Q$  — вес полезного груза, кг;

$H$  — высота подъема, м;

$p$  — вес 1 м каната, кг/м;

$\Sigma m_i$  — масса движущихся элементов подъемной установки, приведенная к радиусу навивки каната, кг·сек<sup>2</sup>/м.

Анализ работы скиповых подъемов шахт Кузнецкого бассейна показывает, что среднее замедление в режиме свободного выбега на различных установках равно 0,4 ÷ 1,5 м/сек<sup>2</sup> и в значительной мере зависит от полезной загрузки скипов. Так, например, изменение веса полезного груза на ±20% от нормального значения сопровождается изменением величины замедления в режиме свободного выбега на скиповом подъеме шахты „Капитальная - 1“ треста „Осинники-уголь“ в пределах 0,7 ÷ 0,4 м/сек<sup>2</sup>, на северном скиповом подъеме шахты „Коксовая - 1“ треста „Сталинуголь“ — 1,4 ÷ 0,9 м/сек<sup>2</sup> и на скиповом подъеме шахты им. С. М. Кирова треста „Ленинуголь“ — 1,0 ÷ 0,6 м/сек<sup>2</sup>.

Вследствие этого изменяется и участок пути, на котором скорость сосудов снижается от максимальной до скорости дотягивания. Компенсировать влияние изменения концевой нагрузки на управление можно при наличии положительных статических сопротивлений сочетанием режима свободного выбега с двигательным при полностью введенном в цепь ротора сопротивлении или переключением двигателя с одной реостатной характеристики на другую.

Наиболее сложно управлять машиной скипового подъема в период дотягивания, так как характеристики асинхронного двигателя не обеспечивают постоянной малой скорости при резком изменении статических сопротивлений и колебании полезной нагрузки скипов.

На характер изменения статических сопротивлений подъемной системы прежде всего оказывает влияние тип применяемого скипа и частичная разгрузка его при дотягивании. В литературе [1, 2] частичная разгрузка скипа к моменту остановки принимается равной 40% веса полезно-поднимаемого груза. Наблюдения за процессом разгрузки скипов на шахтах Кузбасса, проведенные с целью определения коэффициента разгрузки, дали несколько отличные результаты. Так, для скипов с разгрузкой через дно и отклоняющимся кузовом,

а также для скипов с секторным затвором этот коэффициент оказался равным 25 % и для скипов с рычажным затвором ввиду большего пути движения в разгрузочных кривых — 40 % веса полезной нагрузки. Кроме того, открывание затвора скипа сопровождается значительным давлением ролика на разгрузочные кривые, что приводит к изменению натяжения каната и нарушению статической уравновешенности мертвых весов сосудов. При движении в разгрузочных кривых скип находится в равновесии под действием активных и реактивных сил, поэтому натяжение каната можно определить из условия равновесия сил. Проще всего это сделать применив графоаналитический метод решения.

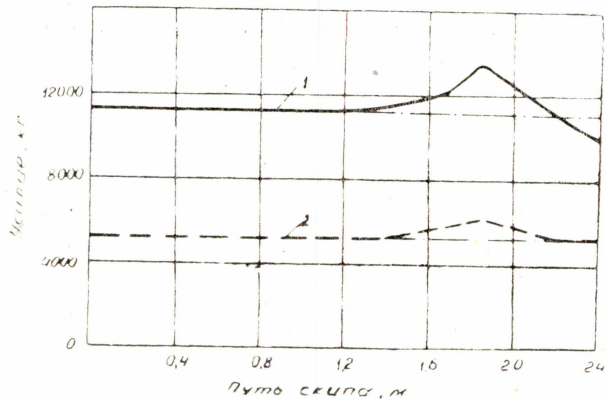


Рис. 1. Натяжение каната при движении скипа с отклоняющимся кузовом в разгрузочных кривых. 1—при грузе; 2—при пустом скипе.

из диаграмм, натяжение каната значительно отличается от обычно принимаемого в расчетах и показанного штрихпунктирными линиями. Перемещение порожнего скипа сопровождается меньшим изменением натяжения каната.

Аналогичная картина наблюдается и при других скипах, разгружающихся через дно. Натяжение каната в относительных единицах от концевой нагрузки при движении грузеных скипов в разгрузочных кривых дано в табл. 1.

Таблица 1

Тип скипа	Условный тоннаж скипа, тонн	Концевая нагрузка, кг	Относительное натяжение каната		Амплитуда изменения натяжения каната, кг
			максимальное	минимальное	
С отклоняющимся кузовом	6,0	11250	1,20	0,90	3400
С неподвижным кузовом и рычажным затвором	6,0	10100	1,05	0,75	3000
С неподвижным кузовом и секторным затвором	6,0	10600	1,10	0,90	2150

Открывание затвора дозатора весом опускающегося скипа вызывает снижение натяжения данной ветви каната. Статическое сопротив-

ление затвора при открывании зависит от расположения контргрузов и их веса, типа каретки, сопротивления сил трения между углем и открывающимся сектором затвора, наличия угля в лотке дозатора и сопротивления трения в цапфах вала.

Вес контргрузов при наличии каретки поступательного перемещения для шеститонных скипов принимается равным до 3000 кг, а при каретках рычажного типа до 4250 кг. Так как мертвый вес скипов равен 4100 ÷ 5250 кг, то становится ясно, что загрузочное устройство оказывает значительное влияние на натяжение каната при перемещении скипа на каретке затвора дозатора.

Статическое сопротивление открыванию затвора дозатора из условия равновесия системы определяется выражением

$$F_{\text{ст.о}} = \frac{i}{r_c \cos(\alpha + \beta_1)} \left[ G r_{\text{гр}} \cos(\alpha + \varphi_1) + G_y r_6 f \cos \alpha - \right. \\ \left. - G_m r_m \cos(\alpha + \varphi_2) + G_6 r f_0 - G_l r_l \cos(\alpha + \beta_2) \right] - G_k, \quad (2)$$

где  $i$  — коэффициент рычажной передачи каретки;

$G$  — вес контргрузов, кг;

$G_y$  — сила давления угля на сектор затвора дозатора, кг;

$G_m$  — вес угля, находящегося в лотке дозатора, кг;

$G_6$  — вес барабана затвора (если контргрузы расположены на барабане, то и их вес), кг;

$G_l$  — вес лотка дозатора, кг;

$G_k$  — вес каретки, кг;

$r_{\text{гр}}$  — расстояние от оси вращения барабана затвора до центра тяжести контргрузов или до точки приложения действия силы их веса, м;

$r_6$  — радиус барабана затвора дозатора, кг;

$r_m$  — расстояние от оси вращения барабана затвора до центра тяжести угля, находящегося в лотке, м;

$r$  — радиус цапф вала затвора дозатора, м;

$r_l$  — расстояние от оси вращения барабана затвора до центра тяжести лотка, м;

$r_c$  — расстояние от оси вращения барабана затвора до точки крепления тяги от каретки, м;

$\alpha$  — угол поворота барабана затвора, град;

$\varphi_1$  — угол, определяющий положение центра тяжести контргрузов при закрытом затворе, град;

$\varphi_2$  — угол, определяющий положение центра тяжести угля, находящегося в лотке при закрытом затворе, град;

$\beta_1$  — угол, определяющий положение шарнира тяги каретки на барабане при закрытом затворе, град;

$\beta_2$  — угол, определяющий положение центра тяжести лотка при закрытом затворе, град;

$f$  — коэффициент трения угля по материалу сектора затвора;

$f_0$  — коэффициент трения цапф в подшипниках.

Если контргрузы вынесены с барабана и соединены с ним канатом, то при любом положении затвора  $\cos(\alpha + \varphi_1) = 1$ .

Изменение натяжения опускающейся ветви каната при открывании затвора загрузочного устройства представлено на рис. 2. Определение натяжения каната производится по выражению

$$F_{0.в} = Q_m - \frac{\kappa - 1}{2} Q + p x - F'_{ст.о}, \quad (3)$$

где  $Q_m$  — мертвый вес скипа, кг;

$x$  — путь, пройденный опускающимся скипом, м.

Натяжение каната при посадке скипа на каретку (точка К на рис. 2) резко снижается, так как сопротивление открыванию затвора загрузочного устройства имеет максимальное значение. Затем по мере

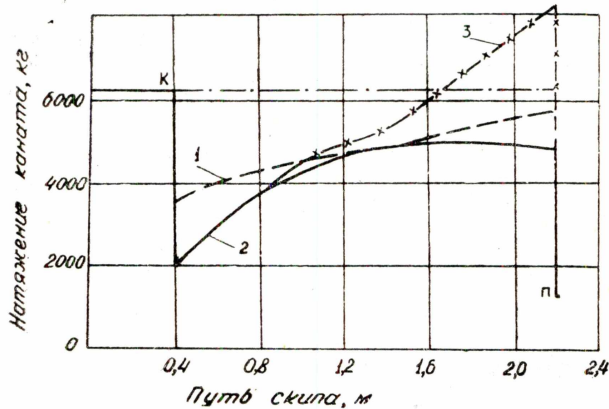


Рис. 2. Натяжение каната от действия концевой нагрузки в процессе открывания затвора дозатора. 1—при расположении контргрузов на барабанах и каретке рычажного типа; 2—при контргрузах, вынесенных с барабана, и каретке поступательного перемещения; 3—при расположении контргрузов на барабанах и каретке поступательного перемещения.

перемещения каретки и открывания затвора натяжение каната постепенно возрастает и в отдельных случаях (кривая 3) может превышать его натяжение до посадки скипа на каретку дозатора, так как лоток затвора под действием веса угля, поступающего из бункера, ложится на переднюю стенку скипа и передает канату дополнительное усилие.

Посадка скипа на опорные брусья полностью разгружает канат от действия концевой нагрузки, и его натяжение при застопоренной машине и напуске данной ветви определяется собственным весом каната (точка П на рис. 2)

$$F_{0.к} = p H. \quad (4)$$

Закрывающийся затвор дозатора действует на поднимаемый скип с усилием, которое равно:

а) если на скип действует каретка

$$F'_{ст.з} = \frac{i}{r_c \cos(\alpha + \beta_1)} [G r_{гр} \cos(\alpha + \varphi_1) - G_y r_0 f \cos \alpha - G_m r_m \cos(\alpha + \varphi_2) - G_6 r f_0 - G_d r_d \cos(\alpha + \beta_2)] - G_k; \quad (5)$$

б) если на скип действует лоток затвора

$$F'_{ст.з} = \frac{1}{r_k \cos(\alpha + \gamma)} [G r_{гр} \cos(\alpha + \varphi_1) - G_y r_0 f \cos \alpha - G_m r_m \cos(\alpha + \varphi_2) - G_6 r f_0 - G_d r_d \cos(\alpha + \beta_2)] - G_k \frac{r_c \cos(\alpha + \beta_1)}{r_k \cos(\alpha + \gamma)}. \quad (6)$$

Здесь  $r_k$  — расстояние от оси вращения барабана затвора до точки касания лотком передней стенки скипа, м;

$\gamma$  — угол, определяющий положение точки касания лотком скипа при закрытом затворе, град.

Зная усилие, с которым затвор дозатора действует на скип, определяем натяжение каната

$$F_{п.в} = \frac{\kappa}{2} Q + Q_M + p(H-x) \pm F_{ст.з}. \quad (7)$$

Диаграммы изменения натяжения каната при закрывании затвора загрузочного устройства приведены на рис. 3.

Применение каретки поступательного перемещения и расположение контргрузов на барабане вызывает значительное увеличение натяжения каната в начале подъема (кривая 3), но в остальных случаях (кривые 1 и 2) оно не превышает натяжения ветви после схода скипа с каретки

$$F_{п.в} = \frac{\kappa}{2} Q + Q_M + p(H-x). \quad (8)$$

Сравнение диаграмм, представленных на рис. 2 и 3, позволяет сделать вывод, что влияние загрузочных устройств на натяжение каната проявляется в основном при открывании затвора дозатора.

Статические сопротивления, определяемые как разность натяжения грузовой (поднимаемой) и порожней (опускаемой) ветвей каната, представлены на рис. 4 и 5. Фактическое значение статических сопротивлений в начале движения (рис. 4) несколько ниже значений, обычно принимаемых в расчетах. В случае применения загрузочного устройства с контргрузами, расположенными на барабане, и с кареткой поступательного перемещения в начале движения наблюдается увеличение статического сопротивления, что объясняется сопротивлением лотка затвора перемещению поднимаемого скипа. В процессе закрывания затвора каретка начинает подпирать поднимающийся скип, снижая статическое сопротивление движению подъемной системы. При контакторном

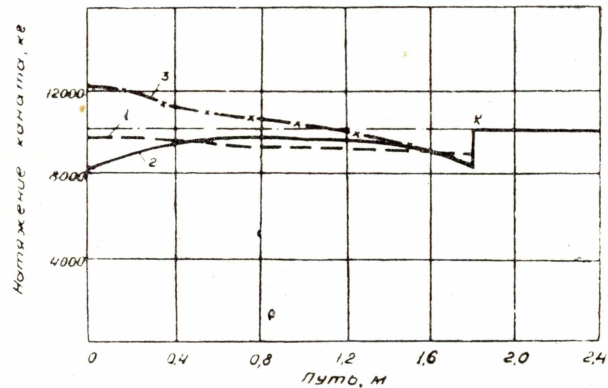


Рис. 3. Натяжение каната от действия концевой нагрузки в процессе закрывания затвора дозатора. 1—при расположении контргрузов на барабане и каретке рычажного типа; 2—при контргрузах, вынесенных с барабана, и каретке поступательного перемещения; 3—при расположении контргрузов на барабане и каретке поступательного перемещения.

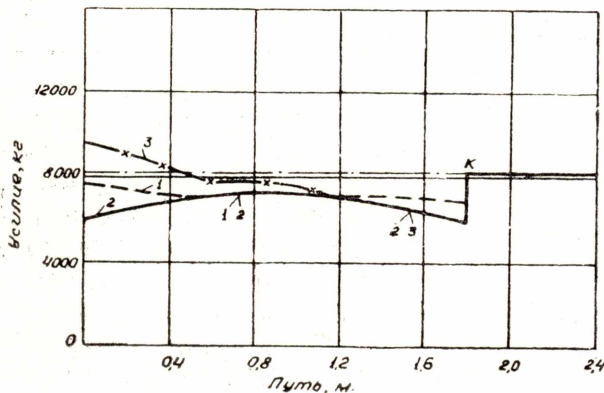


Рис. 4. Влияние загрузочных и разгрузочных устройств на статическое сопротивление движению скипов в начале подъема.

1—при расположении контргрузов на барабане и каретки рычажного типа; 2—при контргрузах, вынесенных с барабана, и каретке поступательного перемещения; 3—при расположении контргрузов на барабане и каретке поступательного перемещения.

пуске подъемного двигателя в функции времени изменение статических сопротивлений не внесет существенного затруднения в автоматизацию управления подъемной машиной.

Значительно большее влияние на изменение статических сопротивлений оказывают загрузочные и разгрузочные устройства в конце подъема (рис. 5). Прежде всего обращает внимание резкое изменение их при посадке скипа на каретку загрузочного устройства (точка К), а затем и на посадочные брусья (точка П). Статические сопротивления при дотягивании скипов изменяются в широких пределах и имеют более высокие значения, чем принимаются обычно при расчетах [1, 2]. Кинематика, принимаемая в автоматизированных скиповых подъемах, предусматривает дотягивание скипов с постоянной скоро-

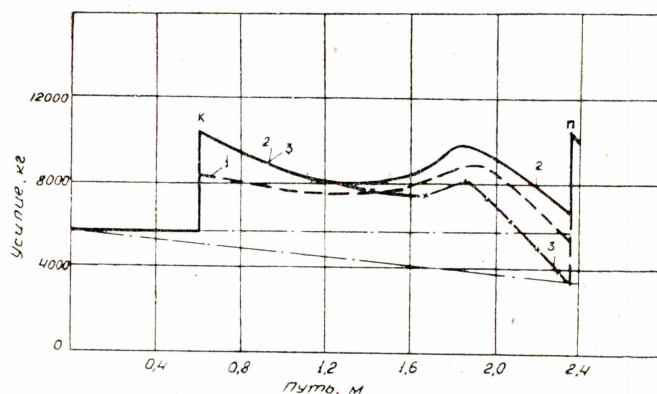


Рис. 5. Влияние загрузочных, разгрузочных и посадочных устройств на статическое сопротивление движению в конце подъема.

1—при расположении контргрузов на барабане и каретке рычажного типа; 2—при контргрузах, вынесенных с барабана, и каретке поступательного перемещения; 3—при расположении контргрузов на барабане и каретке поступательного перемещения.

стью, поэтому значение движущего усилия, развиваемого двигателем на радиусе навивки каната, можно принять равным значению статических сопротивлений.

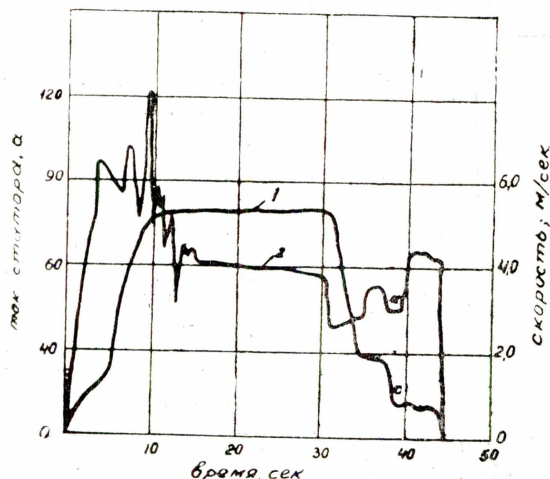


Рис. 6. Диаграммы тока и скорости скипового подъема шахты № 8.

1—скорость подъема; 2—ток статора.

Диаграммы тока и скорости (рис. 6), снятые на скиповом подъеме шахты № 8 треста „Проконьевскуголь“, подтверждают вышеизложенный характер изменения статических сопротивлений в конце подъема. Точка *a* на кривых тока и скорости соответствует моменту входа груженого скипа в разгрузочные кривые. Замедление подъемной системы до разгрузочных кривых производилось при полном сопротивлении реостата в цепи ротора, а дотягивание — на второй механической характеристике двигателя без наложения механического тормоза. Тормоз включался лишь для окончательной остановки

подъемной машины. Скорость движения при дотягивании изменялась незначительно и в среднем была 0,7 м/сек. Следовательно, двигатель в этом случае развивал усилие, близкое к статическому сопротивлению подъемной системы. Обработка снятых диаграмм (рис. 6) с

учетом параметров установки и приводного двигателя позволяет сделать вывод, что среднее значение сопротивления подъемной системы при движении скипов в разгрузочных кривых и на каретке дозатора в конце подъема на 30% выше, чем сопротивление до входа в разгрузочные кривые.

Аналогично изменяются сопротивления движению и при других типах скипов с разгрузкой через дно, применяемых в Кузбассе. Это вынуждает производить дотягивание скипов в двигательном режиме на второй или третьей реостатных характеристиках. Поддержание скорости в необходимых пределах возможно за счет импульсного переключения двигателя с одной реостатной характеристики на другую [3] или использования механического тормоза при работе электродвигателя с сопротивлением в цепи ротора. Последний способ управления является нежелательным, так как сопровождается излишним расходом электроэнергии и износом тормозных колодок. Поэтому для дотягивания можно рекомендовать импульсный метод управления.

Схема автоматического управления подъемной машиной в конце подъема, построенная на данном принципе, будет работоспособной только в том случае, если область регулирования движущих моментов, развиваемых двигателем, будет перекрывать диапазон изменения сопротивлений при движении скипов в разгрузочных кривых и на каретке дозатора при допустимом отклонении скорости от заданного значения.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

1. При решении вопросов автоматизации управления скиповыми подъемными установками шахт небольшой глубины (100 ÷ 400 м) для замедления подъемной машины до входа скипов в разгрузочные кривые следует принимать режим свободного выбега.

2. Дотягивание скипов в разгрузочных кривых и на каретке дозатора, учитывая увеличение и резкие изменения сопротивлений подъемной системы, следует производить при работе подъемного двигателя в импульсном режиме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шклярский Ф. Н. Физико-механические основы электрического рудничного подъема. Углетехиздат, 1952.
2. Герман А. П., Шклярский Ф. Н. Рудничные подъемные установки. Углетехиздат, 1947.
3. Кудин Б. Д. Автоматическая скиповая подъемная установка. Углетехиздат, 1956.