

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИВОДА ДОМЕННОГО СКИПОВОГО ПОДЪЕМНИКА НА ЦЕЛОСТНОСТЬ ТЯГОВОГО КАНАТА И УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СКИПА

Чепак А.А., Борисенко В.Ф., Бобровицкий В.И.

Донецкий государственный технический университет

On the base of the dynamic model of the blast-furnace skip lift the influence of the efforts in the traction cable for stability the movement of skip and integrity of cable are showed.

Статистика нередко отмечает тяжелые аварии, возникающие в результате схода скипов с рельсовых направляющих при динамических ударах, сопутствующих выбору провиса (слабины) тягового каната или наезда скипа на твердые компоненты просыпавшегося транспортируемого сырья. Устранение таких аварий связано со значительными затратами времени, что приводит к существенным издержкам доменного производства.

С целью придания электромеханической системе подъемника защитных функций, препятствующих развитию аварийных режимов, в первом приближении ставится задача выявления механизма возникновения и характера влияния этих режимов на функционирование средств доставки сырья [1].

Разгон электропривода в начале каждого цикла разгрузки – погрузки практически всегда сопровождается предварительным выбором провиса каната, образованного в конце предшествующего цикла при наезде порожнего скипа на постель из сырья в скиповой яме и не мгновенной остановке канатного барабана. Особенно больших значений провис может достигать в результате технических неполадок, вызванных сбоями в работе путевых датчиков.

Схема динамической модели подъемника применительно к данному случаю представлена на рис.1, где кинематический зазор $\Delta \Phi_3$ имитирует провис каната, а упор Y – постель из сырья.

Коэффициент динамичности усилия F_k в канате при разгоне привода определяется выражением [2]

$$k_{\text{дин}} = \frac{F_{k \max}}{F_{k \text{ ср}}} = 1 + \left(1 - \frac{F_{k \text{ с}}}{F_{k \text{ ср}}} \right) \sqrt{1 + \frac{C_k v_{\text{б.нач}}^2}{\left(1 + \frac{m_c}{m_n} \right) \varepsilon_6^2 \cdot m_c}}, \quad (1)$$

где $F_{k \max}$, $F_{k \text{ ср}}$, $F_{k \text{ с}}$ – соответственно максимальное за период колебаний, среднее и статическое значения усилия натяжения каната;

C_k – коэффициент жесткости каната;

$v_{\text{б.нач}}$, ε_6 – начальная (в момент окончания выбора провиса) линейная скорость и линейное ускорение канатного барабана Б;

m_c , m_n – масса груженого скипа С и приведенная к скорости v_6 барабана масса электропривода.

Статическое тяговое усилие определяется массой скипа и углами наклона α_1, α_2 участков трассы движения (см. рис.3):

$$F_{k \text{ с}} = \frac{m_c g}{\cos(\alpha_1 - \alpha_2)} \sin \alpha_1,$$

где g – ускорение силы тяжести, $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Начальная скорость барабана зависит от ускорения привода и величины провиса каната:

$$v_{\text{б.нач}} = \sqrt{2\varepsilon_6 L_{\text{пр}}}. \quad (2)$$

Подставив равенство (2) в выражение (1) и учтя, что $F_{k \text{ ср}} = F_{k \text{ с}} + \varepsilon_6 m_c$, получим:

$$k_{\text{дин}} = 1 + \frac{\varepsilon_6 m_c}{F_{k \text{ с}} + \varepsilon_6 m_c} \sqrt{1 + \frac{2C_k L_{\text{пр}}}{\left(1 + \frac{m_c}{m_n} \right) \varepsilon_6 m_c}}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что коэффициент динамичности тягового усилия возрастает с повышением ускорения ε_6 и увеличением длины провиса $L_{\text{пр}}$. Это влечет за собой рост максимального усилия на канате:

$$F_{k \max} = k_{\text{дин}} F_{k \text{ ср}} = k_{\text{дин}} (F_{k \text{ с}} + \varepsilon_6 m_c). \quad (4)$$

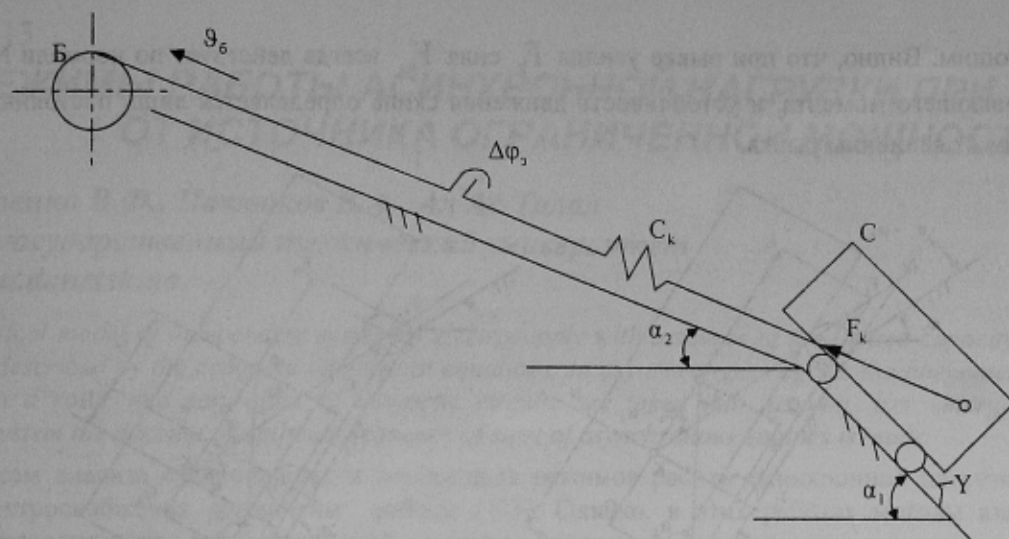


Рисунок 1 - Динамическая модель доменного скипового подъемника с расположением скипа под погрузкой

На рис.2 графически представлена зависимость $k_{дин}(L_{пр})$ при номинальных данных подъемника:

$$\varepsilon_{\delta} = 0,25 м/с^2; \quad m_c = 3 \cdot 10^4 кг; \quad m_n = 2,3 \cdot 10^5 кг; \quad C_k = 2,1 \cdot 10^6 Н/м; \quad \alpha_1 = 60^\circ; \quad \alpha_2 = 45^\circ; \\ F_{к.с} = 2,6 \cdot 10^5 Н.$$

Из рисунка следует, что с увеличением длины провиса коэффициент динамичности вначале растет быстро (в интервале $L_{пр} = 0 \dots 2 м$), затем медленно. Реальное значение длины провиса достигает 3,5 м, при котором коэффициент $k_{дин}$ составляет 2,1 и, согласно (4), максимальное усилие на канате $F_{к.мах} = 546 кН$, что не превышает предела прочности каната, который принимается с 5-кратным запасом по отношению к номинальному тяговому усилию 150...200 кН.

Таким образом, при данной закономерности заложенный в систему управления электроприводом пусковой режим не представляет угрозы для целостности каната даже при длине провиса до 6 м, что маловероятно. Однако следует иметь в виду, что колебания тягового усилия с высокой амплитудой приводят к интенсивному снижению усталостной прочности каната, и когда она снизится в 1.5...2 раза, то неизбежна серьезная авария на подъемнике из-за порыва каната. Поэтому колебания скипа следует гасить всеми доступными способами, включая использование демпфирующих свойств самого электропривода.

Для оценки вероятности схода скипа с направляющих в случае резкого возрастания тягового усилия (при выборе провиса) необходимо обратиться к векторным диаграммам усилий, приведенным на рис.3.

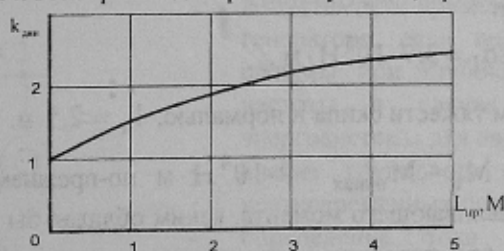


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента динамичности тягового усилия от длины провиса

На рис.3,а представлен вариант крепления каната к точке К корпуса скипа, лежащей на нормали N, которая проходит через ось задних колес. Усилие F_k каната, действующее вдоль основной части наклонного моста подъемника, геометрически раскладывается на две составляющие, одна из которых F_{k_1} действует по направлению движения скипа в скиповой яме, другая F_{k_2} - вдоль нормали N. Сила F_{k_1} является движущей, а сила F_{k_2} осуществляет прижатие задних колес скипа к направляющим. С другой стороны, сила тяжести G_c скипа, приложенная к центру тяжести O, также раскладывается на две составляющие, одна из которых G_{c_1} действует противоположно направлению движения, другая G_{c_2} осуществляет прижатие передних и задних

колес к направляющим. Видно, что при рывке усилия F_k сила F_{k_2} всегда действует по нормали N , то есть не создает опрокидывающего момента, и устойчивость движения скипа определяется лишь постоянным усилием G_{c_2} , не зависящим от величины рывка.

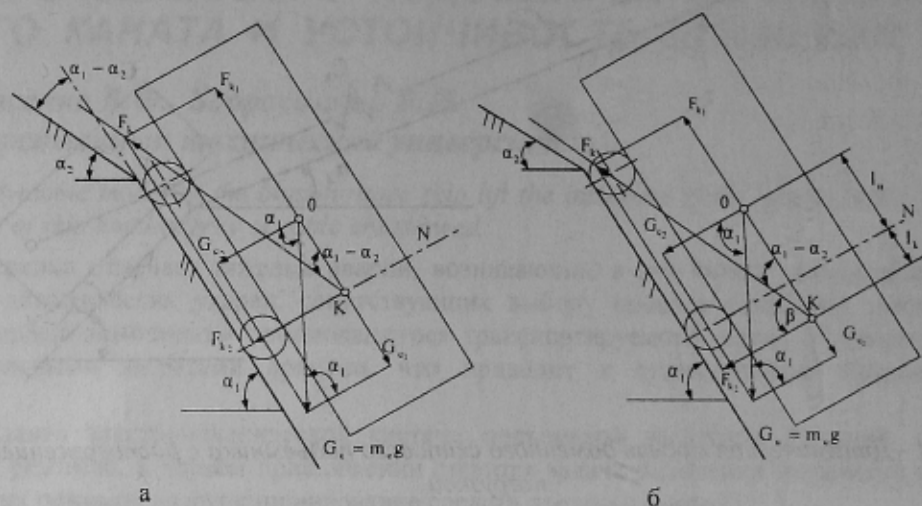


Рисунок 3 - Векторные диаграммы усилий при различных вариантах крепления каната к скипу

На рис.3,б представлен вариант крепления каната к точке K , смещенной относительно нормали N на расстояние l_k к задней стенке скипа. Разложение сил аналогично проведенному на рис. 3,а. Однако в данном случае сила F_{k_2} оказывает опрокидывающее действие вокруг задних колес, т.е. стремится развернуть скип по часовой стрелке с возможной потерей контакта передних колес с полотном. Составляющая G_{c_2} силы тяжести оказывает, как и ранее, восстанавливающее действие на скип. Поэтому для оценки степени устойчивости зацепления колес необходимо установить соотношение опрокидывающего и восстанавливающего моментов вокруг задних колёс.

Максимальный опрокидывающий момент определяется равенством

$$M_{o \max} = F_{k_2 \max} \cdot l_k = F_{k \max} \cdot l_k \cdot \cos \beta,$$

где β - угол, равный $90^\circ - (\alpha_1 - \alpha_2) = 75^\circ$.

Приняв $l_k = 2\text{ м}$, для длины провиса $3,5\text{ м}$ находим $M_{o \max} = 2,8 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Восстанавливающий момент

$$M_v = G_{c_2} \cdot l_{ц} = G_c \cdot l_{ц} \cdot \cos \alpha_1 = 3,7 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $l_{ц}$ - расстояние между центром тяжести скипа и нормалью, $l_{ц} = 2,5 \text{ м}$.

Суммарный момент $M_{\Sigma} = M_v - M_{o \max} = 9 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ по-прежнему является восстанавливающим, но он вчетверо меньше того восстанавливающего момента, каким обладал бы скип при отсутствии рывка тягового усилия ($F_k = 0$). Это означает, что передняя часть скипа становится как бы вчетверо легче, и в случае попадания руды под передние колеса корпус скипа способен сравнительно легко приподняться и сойти с направляющих. При длине провиса $L_{пр} = 6 \text{ м}$ ($k_{дин} = 2,45$ по рис.2) максимум тягового усилия $F_{k \max} = k_{дин} \cdot F_{k \text{ ср}} = 6,55 \cdot 10^5 \text{ Н}$ и суммарный крутящий момент $M_{\Sigma} = 3 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$, то есть скип будет находиться у грани опрокидывания и может потерять устойчивость без наезда на препятствие.

Из вышеизложенного следует, что наиболее эффективными способами снижения вероятности возникновения аварий на скиповом подъемнике могут быть снижение величины ускорения при разгоне привода и применение упреждающей защиты, действующей на отключение и быстрое затормаживание привода в случае недопустимой скорости нарастания тягового усилия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. - М.: Высшая школа, 1966. - 480 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с.