

УДК 622.67

Ю.В. Попов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ БОЛЬШЕГРУЗНОГО СКИПА НАКЛОННОГО ПОДЪЕМНИКА

Все элементы скипа должны иметь высокую работоспособность. Это возможно, если его параметры будут выбраны с учетом реальных режимов нагружения, которые зависят от горнотехнических условий эксплуатации.

Ключевые слова: наклонные подъемные установки, большегрузные скипы, ударное нагружение.

Конструктивные параметры большегрузных скипов должны обеспечивать максимально возможную эффективность работы в заданных условиях эксплуатации. Для достижения этой цели необходимо, чтобы все элементы скипа имели соответствующую работоспособность. Это возможно, если его параметры будут выбраны с учетом реальных режимов нагружения, которые зависят от горнотехнических условий эксплуатации. Технологическая схема транспортировки горной породы предусматривает её погрузку в скип из забоя без предварительного дробления. Известно, что при подготовке горной массы взрывом появляются негабариты, которые в процессе загрузки скипа могут существенно повлиять на нагруженность его элементов. В скипы загружается все, что проходит через ковш современного карьерного экскаватора.

Кузов скипа представляет собой тонкостенную призматическую оболочку сложной конфигурации с не смещаемыми жесткими гранями. Днище кузова следует рассматривать как жесткую пластину, защемленную по контуру. Наиболее тяжелым случаем нагружения будет ударное взаимодействие первого падающего куска массы в центр кузова при его загрузке. Падение последующих кусков, как показано в работах [1, 2], не приведет к увеличению нагружения, а колебания, возникающие в результате падения первого крупного куска, будут затухать, благодаря образованию подушки.

При расчете и конструировании реальной конструкции скипа необходимо знать силу удара.

Расчет по формулам классической теории удара не дает её достоверного значения, поскольку не учитывает особенностей работы и конструкции подъемного сосуда, в частности не учитывается удержание скипа головным канатом и то, что опорами являются пружины рессорного подвешивания ходовой части. Наличие головного каната и рессор гасят ударный импульс. Так как удар неупругий, то интерес представляет динамика движения груженого скипа в момент после ударной нагрузки.

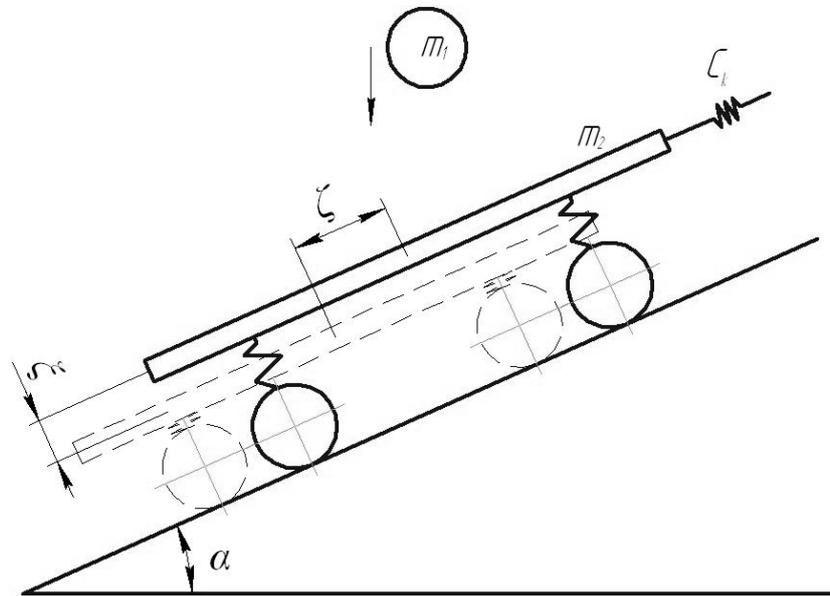


Рис. 1. Схема загрузки скипа единичным грузом

Рассмотрим случай, когда скип установлен на наклонном пути (угол наклона α) и удерживается головным канатом (рис. 1).

Размеры каната, главным образом его длина, а также его конструкция определяют его главную характеристику – ударную жесткость [3]. Она учитывает потери энергии при ударном нагружении. Эту жесткость, согласно рекомендациям [4] примем равной C_k . Суммарную жесткость пружин рессорного подвешивания кузова обозначим $C_{пр}$.

Ударная нагрузка груза вызовет опускание кузова скипа на величину ξ (за счет сжатия амортизирующих пружин ходовой части). Одновременно, падение груза m_1 вызовет некоторое перемещение скипа ζ вниз по наклонной плоскости за счет упругих деформаций подъемного каната.

Согласно закона сохранения энергии для этой системы начальная кинетическая энергия падающего груза равна максимальной энергии деформации, накопленной в канате и амортизирующих пружинах ходовой части к моменту максимального динамического перемещения и потерь энергии на трение между проволоками и прядями каната.

Кинетическая энергия системы определяется выражением:

$$T = \frac{1}{2} m_1 (\dot{\xi}^2 + \dot{\zeta}^2) + \frac{1}{2} m_2 (\dot{\xi}^2 + \dot{\zeta}^2) \quad (1)$$

Полагаем, что удар неупругий, т.е. после касания кузова скипа груз m_1 совершает движение вместе с массой m_2 .

Общая потенциальная энергия системы складывается из потенциальной энергии упругих связей Π_1 и потенциальной энергии положения Π_2 .

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 \quad (2)$$

$$\Pi_1 = \frac{1}{2}(C_{\text{ГП}} \times \xi^2 + C_K \times \zeta^2) \quad (3)$$

$$\Pi_2 = -T_2 g \cos \alpha \xi - m_2 g \sin \alpha \zeta - m_1 g \cos \alpha \xi - m_1 g \sin \alpha \zeta \quad (4)$$

$$\Pi = \frac{1}{2}(C_{\text{ГП}} \times \xi^2 + C_K \times \zeta^2) - T_2 g \cos \alpha \xi - m_2 g \sin \alpha \zeta - m_1 g \cos \alpha \xi - m_1 g \sin \alpha \zeta \quad (5)$$

Используем уравнение Лагранжа 2-го рода, которое обычно записывается в виде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \dot{T}}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

В нашем случае обобщенными координатами будут $q_1 = \xi, q_2 = \zeta$.

Получим дифференциальные уравнения движения рассматриваемой системы:

$$(m_1 + m_2) \ddot{\xi} = -C_{\text{ГП}} \xi + m_2 g \cos \alpha + m_1 g \cos \alpha \quad (7)$$

$$(m_1 + m_2) \ddot{\zeta} = -C_K \zeta + m_2 g \sin \alpha + m_1 g \sin \alpha \quad (8)$$

Решениями уравнений (7) и (8) будут:

$$\xi = \frac{\sqrt{2gH} \times m_1}{\sqrt{(m_1 + m_2) C_{\text{ГП}}}} \text{Sin} \left(t \sqrt{\frac{C_{\text{ГП}}}{m_1 + m_2}} \right) \times \text{Cos} \alpha + \frac{(m_1 + m_2) g \text{Cos} \alpha}{C_{\text{ГП}}}; \quad (9)$$

$$\zeta = \frac{\sqrt{2gH} \times m_1}{\sqrt{(m_1 + m_2) \times C_K}} \text{Sin} \left(t \sqrt{\frac{C_K}{m_1 + m_2}} \right) \times \text{Sin} \alpha + \frac{(m_1 + m_2) g \text{Sin} \alpha}{C_K}; \quad (10)$$

Рассмотрим величину $\text{Sin} \left(t \sqrt{\frac{C_K}{m_1 + m_2}} \right)$

Подставляем реальные значения $C_K(T_1 + T_2)$, получим $\sqrt{\frac{C_K}{T_1 + T_2}} \leq 3$, а при этом время удара [5] не превышает значения $0,1 \times 10^{-3}$ с. С достаточной точностью (3%) можно записать:

$$\text{Sin} \left(t \sqrt{\frac{C_K}{T_1 + T_2}} \right) = t \sqrt{\frac{C_K}{T_1 + T_2}}. \quad (11)$$

Аналогично

$$\text{Sin} \left(t \sqrt{\frac{C_{\text{ГП}}}{T_1 + T_2}} \right) = t \sqrt{\frac{C_{\text{ГП}}}{T_1 + T_2}}. \quad (12)$$

Тогда:

$$\xi = \frac{\sqrt{2gH} \times m_1 \times t}{m_1 + m_2} \times \text{Cos}\alpha + \frac{(m_1 + m_2)g\text{Cos}\alpha}{C_{\text{ГП}}}; \quad (13)$$

$$\zeta = \frac{\sqrt{2gH} \times m_1 \times t}{m_1 + m_2} \times \text{Sin}\alpha + \frac{(m_1 + m_2)g\text{Sin}\alpha}{C_{\text{К}}}. \quad (14)$$

Подставив (13) и (14) в уравнения (7) и (8) определим составляющие силы удара в точке падения груза.

Вертикальная составляющая сил удара:

$$F_{\text{уд.в.}} = \frac{-C_{\text{ГП}}\sqrt{2gH} \times m_1 \times t \text{Cos}\alpha}{m_1 + m_2}. \quad (15)$$

Горизонтальная составляющая:

$$F_{\text{уд.г.}} = \frac{-C_{\text{К}}\sqrt{2gH} \times m_1 \times t \text{Sin}\alpha}{m_1 + m_2}. \quad (16)$$

Полная сила удара в точке падения груза:

$$F_{\text{уд.}} = \frac{m_1 \times t}{m_1 + m_2} \sqrt{2gH(C_{\text{ГП}}^2 \text{Cos}^2 \alpha + C_{\text{К}}^2 \text{Sin}^2 \alpha)}. \quad (17)$$

Для исследования зависимости силы удара от массы падающего груза, высоты его падения и угла установки скипа под загрузку зададимся значениями:

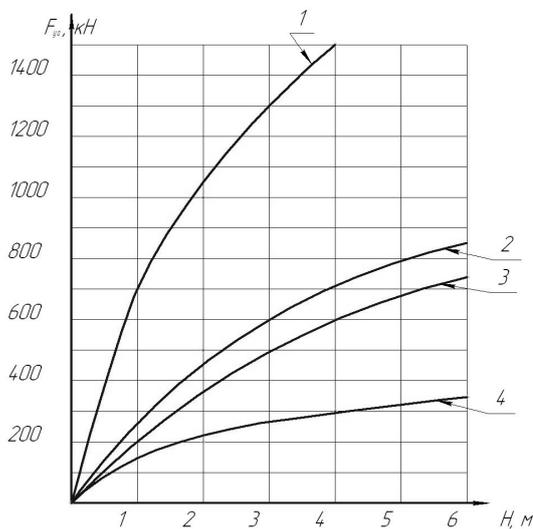


Рис. 2. Зависимость сил удара от высоты падения груза при $\alpha = 30^\circ$ 1 и 3-для 80-тонного скипа и m_1 соответственно 5000 кг и 2000 кг; 2 и 4 - для 110-тонного при $m_1 = 5000$ кг и 2000 к

$$m_1 = 2000\text{кг}; 3000\text{кг}; 5000\text{кг}.$$

$$H = 2\text{м}; 3\text{м}; 4\text{м}; 5\text{м}; 6\text{м}.$$

$$\alpha = 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ.$$

Кроме того, отметим, что масса 80-тонного скипа составляет 60000 кг, суммарная жесткость пружин рессорного подвешивания $C_{\text{ГП}} = 2352000 \text{ Н/м}$, суммарная жесткость головных канатов

$$C_{\text{К}} = 295000 \text{ Н/м}.$$

Для 110-тонного сосуда эти величины будут равны, соответственно,

$$T_2 = 80000\text{кг}; C_{\text{ГП}} = 3920000 \text{ Н/м};$$

$$C_{\text{К}} = 590000 \text{ Н/м}.$$

Анализ формулы (17) показывает, что зависимость силы удара

от высоты падения груза H пропорциональна квадратному корню из H , что соответствует физическому течению процесса.

Графическая зависимость $F_{уд.} = f(H)$ приведена на рис. 2. для различных загружаемых масс и различных грузоподъемностей скипов. Увеличение массы падающего груза вызывает пропорциональное увеличение зависимости уровня ударных сил.

Из графика (рис. 2) видно, что, в целом, сила удара для 80-тонного сосуда выше, чем для 110-тонного скипа.

Это объясняется тем, что сосуд большей грузоподъемности имеет и большую жесткость механизмов рессорного подвешивания, а также большую собственную массу. Увеличение угла установки скипа к горизонту ведет к снижению силы удара, причем эта тенденция возрастает с увеличением грузоподъемности скипа.

Так, увеличение угла установки 80-тонного скипа с 30° до 45° вызывает снижение силы удара на 21%, увеличение угла установки 110-тонного сосуда – на 26%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панасянц А.Г. Практический метод расчета кузова шахтных скипов. Известия вузов. Горный журнал, 1960, № 12, с.135-140.
2. Панасянц А.Г. Некоторые вопросы расчета кузова шахтного скипа на ударную нагрузку. Известия вузов. Горный журнал, 1959, № 5, с.124-128.
3. Волков Д.П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов. М.: Машиностроение, 1965, 426 с.
4. Кульбида П.Б., Ройзен В.В., Сербин В.И. и др. Большегрузные скиповые подъемники для отработки глубоких карьеров. Горный журнал, 1981, № 7, с.48-50.
5. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М., Стройиздат, 1965, 448 с. **ИИЭБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Попов Ю.В. – доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, Уральский государственный горный университет, e-mail: popov.y@mail.ru.

