

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗГРУЗКИ КОВША ПОГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ

Резников И.Г., докт. техн. наук, проф.,
Тверской государственной технической университет,
Давыдова Н.С., инженер,
Донбасский горно-металлургический институт

Исследован процесс ударной выгрузки сухой и влажной горной породы из ковша погрузочной машины на основе модели ковша с переменной массой.

It is adduced the process of shock unloading of dry and humid mining rock from ladle of loader which is based on model with variable mass.

Одним из слабо развитых вопросов динамики ковшовых погрузочных машин является вопрос об учете переменной массы ковша при разгрузке сыпучих материалов. Считается [1], что выброс материала как единого твердого тела из ковша происходит мгновенно. Однако это допущение не совсем справедливо. При опорожнении ковша погрузочной машины основное внешнее сопротивление перемещению породы оказывает сила ее трения о поверхность ковша, а в случае влажной породы - силы прилипания, которые по своему проявлению родственны силам трения. Коэффициент трения породы о металл изменяется в пределах от 0,29 (уголь) до 0,57 (железная руда) и при увеличении влажности достигает значения 0,5 — 0,84. Следовательно, силы трения и липкости изменяются в значительных пределах и влияют на скорость высыпания породы.

Для исследования процесса разгрузки ковша с учетом скорости высыпания находящейся в нем горной породы было составлено математическое описание выгрузки на основе модели с переменной массой [2]. Расчетная схема отличается от известных тем, что в ней учитывается изменение массы груза в ковше за время его разгрузки (рис. 1).

При составлении математической модели процесса выгрузки были приняты следующие основные допущения:

1) так как угловое перемещение стрелы за время удара незначительно (порядка 0,035 рад), то в момент отрыва от ковша груз движется только с тангенциальным ускорением

$$a_r = \ddot{\varphi}_c \cdot h_r;$$

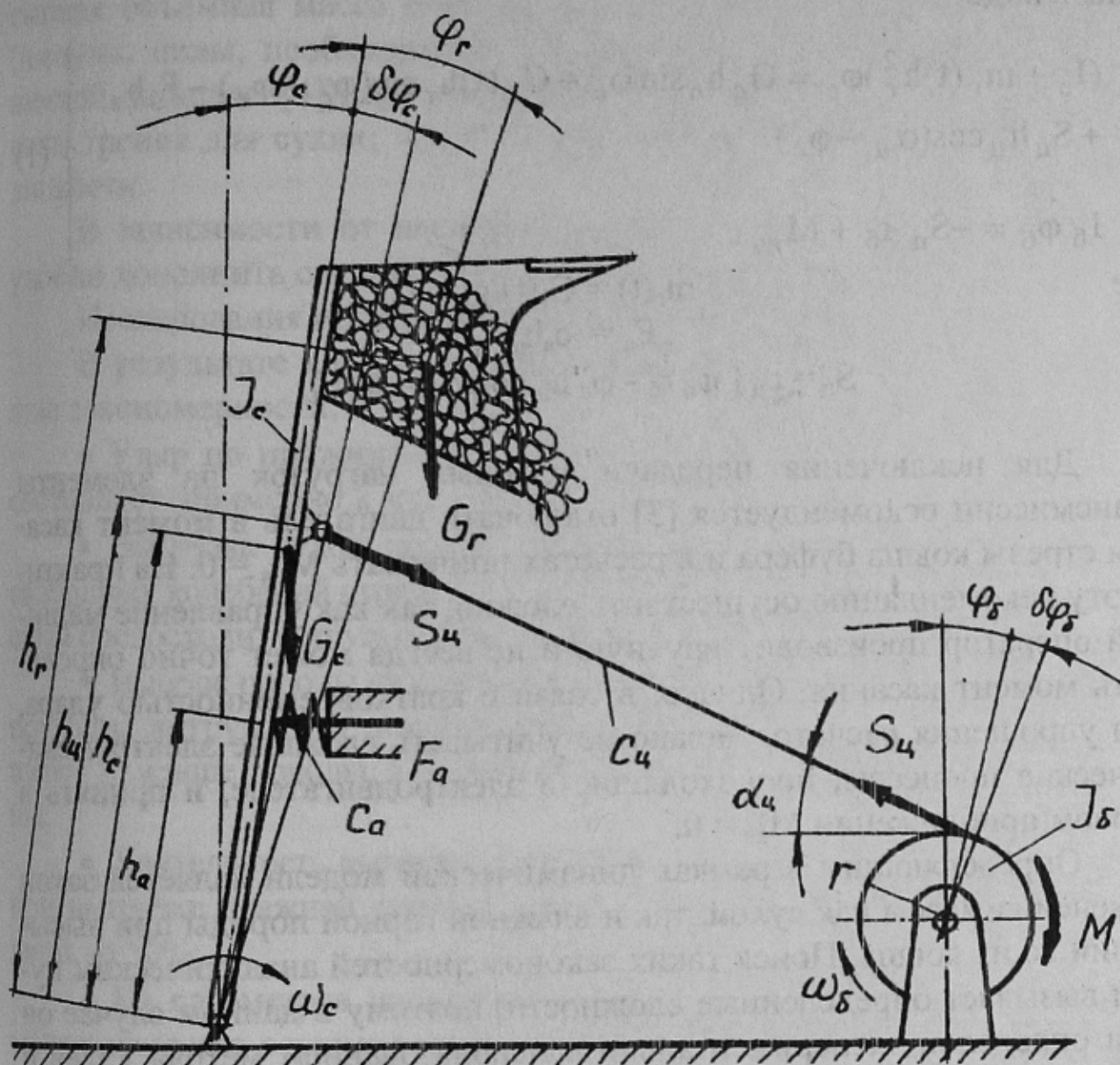


Рисунок 1 – Расчетная динамическая схема

2) из-за малой разницы скоростей оторвавшихся частиц и основной массы породы в момент начала отрыва реактивной силой допустимо пренебречь;

3) изменение количества породы в ковше в процессе выгрузки учтено введением переменной величины $G_r(t)$;

4) для упрощения расчетов в первом приближении принимается, что центр тяжести оставшегося в ковше груза не изменяет своего положения за время разгрузки, то есть $h_r = \text{const}$.

Согласно разработанной расчетной схеме уравнения движения стрелы с грузом в момент его разгрузки могут быть записаны в виде

$$\left. \begin{aligned} (I_c + m_r(t)h_r^2)\ddot{\varphi}_c &= G_c h_c \sin \varphi_c + G_r(t)h_r \sin(\varphi_c + \varphi_r) - F_a h_a + \\ &+ S_{\alpha} h_{\alpha} \cos(\alpha_{\alpha} - \varphi_c) \\ I_b \ddot{\varphi}_b &= -S_{\alpha} \cdot r_b + M_{дв} \end{aligned} \right\} (1)$$

где

$$m_r(t) = G_r(t)/g;$$

$$F_a = c_a h_a;$$

$$S_{\alpha} = c_{\alpha} [\varphi_b r_b - \varphi_c h_{\alpha} \cos(\alpha_{\alpha} - \varphi_c)].$$

Для исключения передачи ударных нагрузок на элементы трансмиссии рекомендуется [3] отключать двигатель в момент касания стрелы ковша буфера и в расчетах принимать $M_{дв} = 0$. На практике эту рекомендацию осуществить сложно, так как управление машиной оператор производит вручную и не всегда может точно определить момент касания. Однако, в связи с кратковременностью удара, для упрощения расчетов можно не учитывать сложные электромеханические процессы, происходящие в электродвигателе, и принять в первом приближении $M_{дв} = 0$.

Определяющим в рамках динамической модели является закон изменения массы как сухой, так и влажной горной породы при выпадении ее из ковша. Поиск таких закономерностей аналитическим путем вызывает определенные сложности, поэтому в данном случае он был определен экспериментально с использованием метода Рэлея и теории размерностей на специально созданной установке [2].

Выражения, описывающие изменение массы породы в ковше за время его разгрузки имеют вид:

для сухой породы

$$m_r(t) = m_{r0} - \int_0^t m dt = m_{r0} - \int_0^t C_1 \sqrt[3]{\frac{f_0^5}{a_r \rho^2}} dt, \quad (2)$$

для влажной

$$m_r(t) = m_{r0} - \int_0^t m dt = m_{r0} - \int_0^t C_2 \sqrt[3]{\frac{P_0^5}{a_r \rho^2}} dt, \quad (3)$$

где $m_{г0}$ - масса породы, набранной в ковш при его загрузке; a_r - ускорение центра тяжести груза при ударе стрелы о буфер; ρ - насыпная объемная масса породы; ρ_0 - липкость для влажных пород (импульс силы, необходимый для отрыва налипшей породы с единичной площади [4]); f_0 - удельный (на единицу площади) импульс силы трения для сухих; C_1, C_2 - соответственно константы трения и липкости.

В зависимости от исследуемой задачи уравнением (2) или (3) удобно дополнить систему (1) и решать ее численно.

Исследования проводились для машины ППН-4М.

В результате анализа динамической модели выявлены следующие закономерности:

- Удар по пружине носит сложный характер, его длительность составляет примерно 2 мс;
- Выгрузка сухой породы происходит в течение одного периода свободных колебаний стрелы, т.к. формируемый в момент удара импульс силы превосходит импульс силы трения породы о ковш (рис. 2);
- Выброс породы из ковша происходит в два этапа: на прямом ходу пружины выгружается незначительная часть (порядка 5%) всей находящейся в ковше породы, а полная выгрузка - при обратном ходе пружины;
- Длительность выгрузки сухой породы составляет 0,2 с, тогда как при выгрузке влажной породы ковш опорожняется за это время всего лишь на 50%;
- Из параметров конструкции рабочего органа, которые реально можно изменить с целью повышения эффективности, можно выбрать высоту установки буфера h_a , предударную скорость, объем ковша и чистоту обработки внутренней поверхности ковша;
- Формируемый пружинным буфером ударный импульс обеспечивает выгрузку влажной породы на 60 - 70%, и этот процесс длится 500 - 600 мс, что сравнимо со временем затухания свободных колебаний стрелы, и требует дополнительных соударений (рис. 3);
- Использование вместо пружины в конструкции буфера погружной машины упругих элементов, обладающих «мягкой» упруго-демпфирующей характеристикой, а также значительным демпфированием, например, стержневых канатных виброизоляторов с преобразованием движения (СКВ-П), обеспечивает полную выгрузку влажной породы за 300 мс (рис. 4), т.е. позволяет улучшить показатели выгрузки влажной породы, налипшей на дно и стенки ковша.

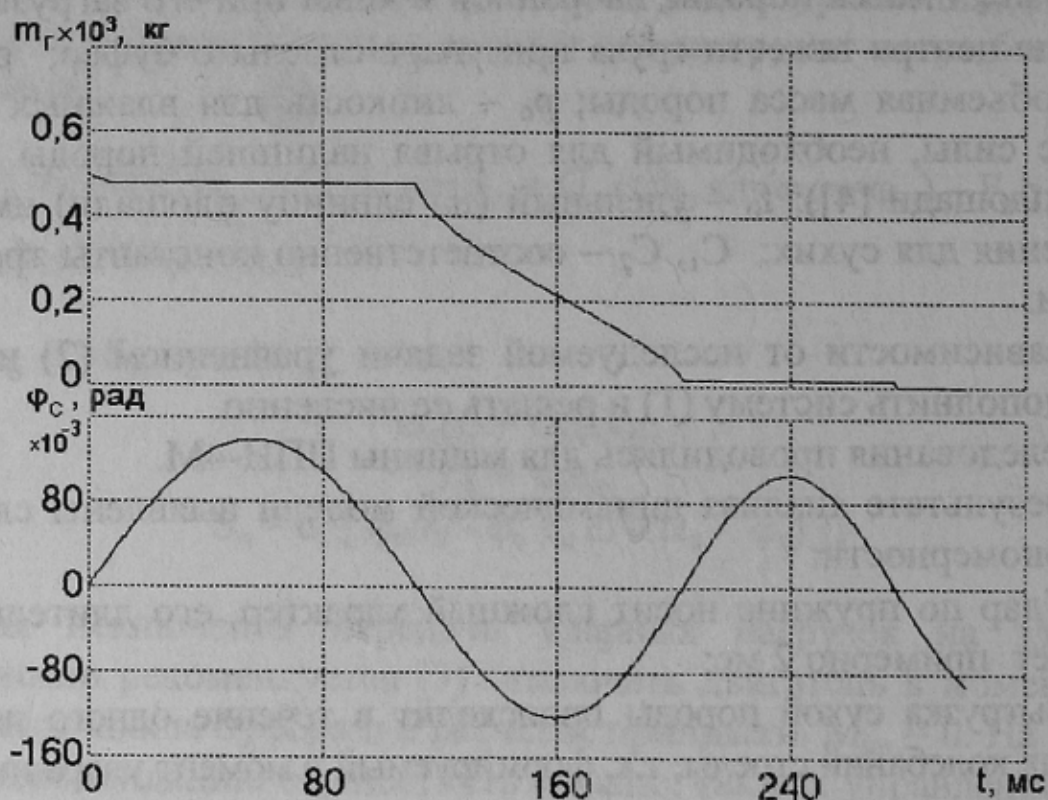


Рисунок 2 – Графік изменения массы груза в ковше и углового перемещения стрелы при выгрузке сухой породы при ударе по пружинному буферу

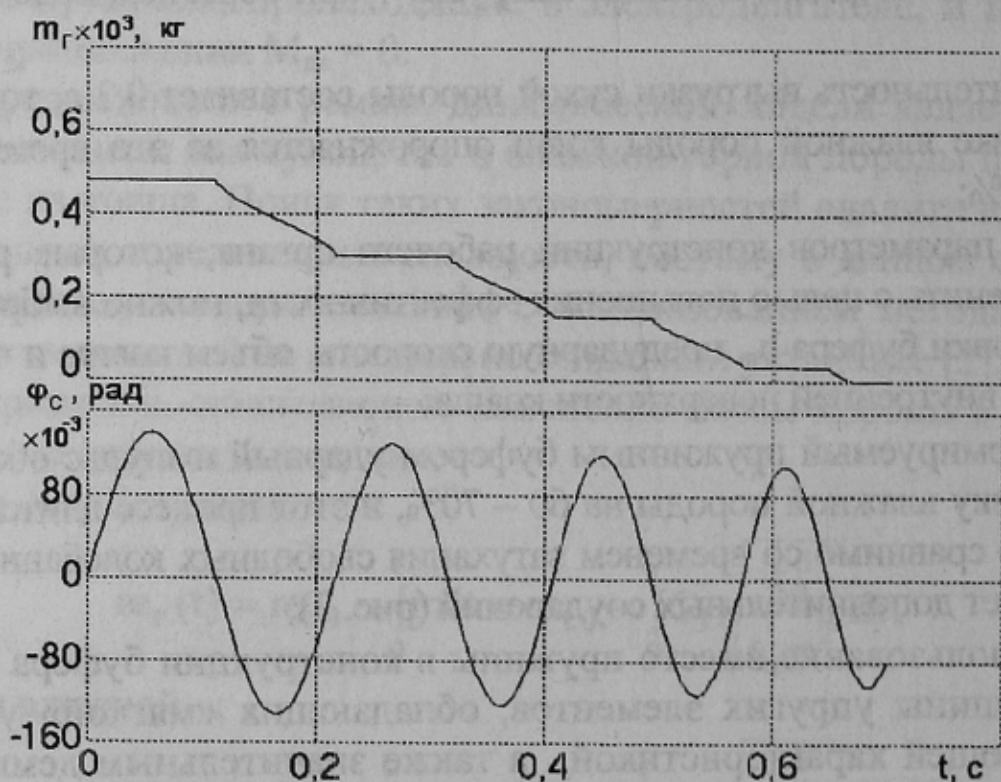


Рисунок 3 – Графік изменения массы груза в ковше и углового перемещения стрелы при выгрузке влажной породы при ударе по пружинному буферу

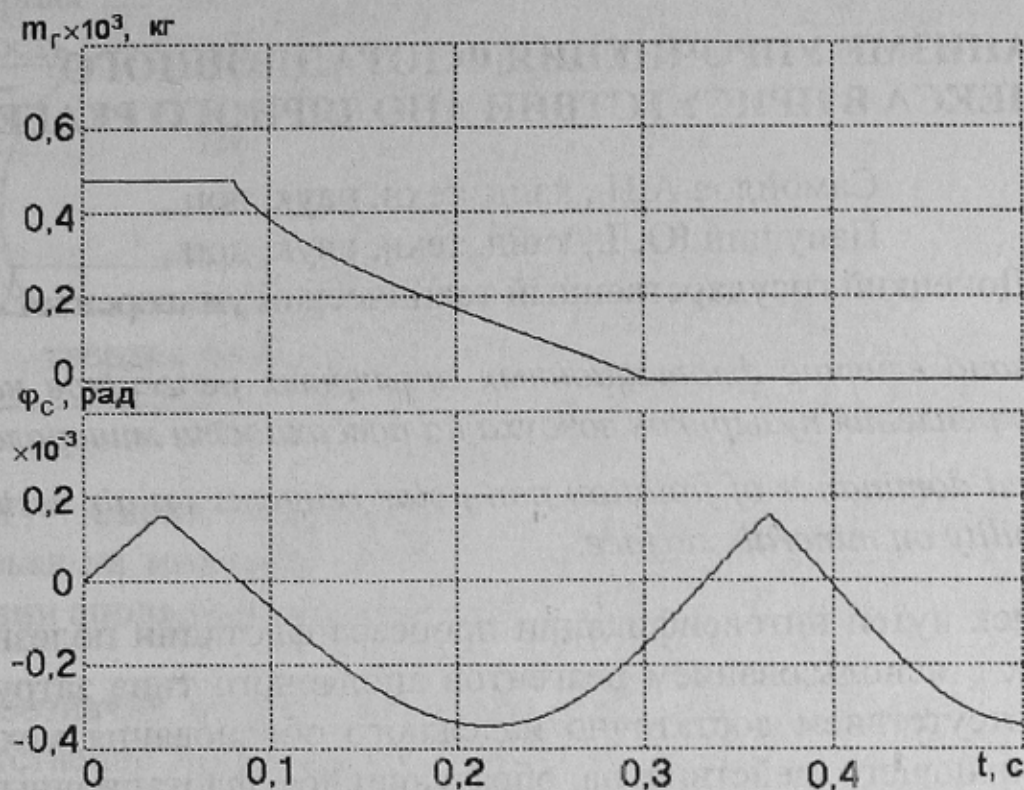


Рисунок 4 – График изменения массы груза в ковше и углового перемещения стрелы при выгрузке влажной породы при ударе по буферу с упруго-демпфирующей характеристикой «мягкого» типа

1. Список источников.
2. Щербаков В.А., Иванов О.П. Динамика механизма подъема ковша на катящейся рукояти погрузочных машин при инерционной выгрузке материала // Механизация и автоматизация в угольной промышленности: Сборник. - Новочеркасск, 1968. - Т. 185. - С. 24-30.
3. Мочалин Е.В., Першикова Н.С. Математическое моделирование процесса разгрузки липкой породы ковшовой погрузочной машиной. Деп. рукопись / ГНТБ Украины, 1997, № 4598 - Ук.97 — 8 с.
4. Расчет и конструирование горных транспортных машин и комплексов/ Под общ. ред. И.Г. Штокмана. – М.: Недра, 1975. – 464 с.
5. Першикова Н.С. Комплексное исследование липкости пород. Деп. рукопись / ГНТБ Украины, 1996, № 2280 - Ук.96 — 12 с.