

УДК 531.3:621

А.В. Кулыгин, асп. каф. ЭиЭМ, СПбГГИ(ТУ),  
А.Е. Козярук, д.т.н., проф. СПбГГИ(ТУ)

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

В карьерных экскаваторах-лопатах перемещение ковша в пространстве осуществляется механизмами подъема и напора. Внешние нагрузки на эти механизмы при копании грунта складываются из сопротивления грунта копанью, сопротивления ковша подъему и взаимного влияния механизмов друг на друга. При перемещении ковша на механизмы действует сила тяжести рукояти с ковшом и силы, обусловленные, взаимным влиянием механизмов.

В общем случае можно считать, что сопротивление грунта копанью равно:

$$R_K = \sqrt{(R_p + R_{\Pi})^2 + R_H^2},$$

где  $R_p$  – сопротивление грунта резанию,  $H$ ,  $R_H$  – напорная составляющая сопротивления,  $H$ ,  $R_{\Pi}$  – подъемная составляющая сопротивления,  $H$ .

Тогда полные сопротивления движению для подъемного и напорного механизмов, направленные, соответственно, вдоль оси подъемных канатов  $S_{\Pi}$ ,  $H$  и вдоль оси рукояти  $S_H$ ,  $H$  (рис. 1), можно выразить:

$$S_{\Pi} = \frac{R_p r_R + G_{K+Г} r_K + G_p r_p}{r_{\Pi}}, \quad S_H = S_{\Pi} \cos \alpha + R_H - (G_p + G_{K+Г}) \cos \beta.$$

Ковш имеет две степени свободы, поэтому он может описывать в пространстве любую траекторию в пределах, ограниченных геометрическими размерами элементов экскаватора и разрабатываемого забоя. При этом существует некоторая оптимальная траектория, при которой производительность экскаватора будет наибольшей, а энергозатраты – наименьшими. Степень приближения траектории движения ковша к оптимальной зависит от системы привода подъемного и напорного механизмов, от характера разрабатываемого забоя, а главным образом от квалификации машиниста.

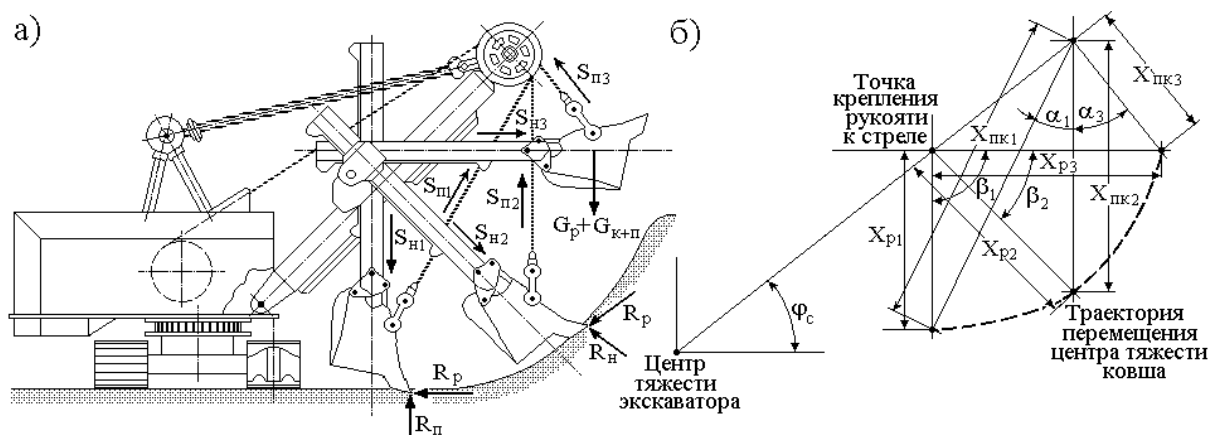


Рис. 1. Схема положений и усилий рабочего оборудования экскаватора (а)

и траектория перемещения центра тяжести ковша под действием этих усилий (б).

Особенность предложенной математической модели состоит в том, что при сложной траектории движения ковша постоянно изменяется мгновенная взаимная ориентация усилий, создаваемых механизмами подъема и напора. Задача решена в неортогональной системе координат, ориентированной в пространстве по мгновенным направлениям подъемного каната и оси рукоятки экскаватора. Центром координат при этом принят центр тяжести ковша экскаватора. Для вычисления составляющих усилий и перемещений использованы мгновенные значения углов  $\beta$  и  $\alpha$ , образуемых соответственно подъемным канатом и вертикальной осью и рукоятью экскаватора и горизонтальной осью.

Мгновенные значения длин вытравленной части подъемного каната  $X_{пк}$  и выдвинутой части рукоятки  $X_p$  вычисляются следующим образом:

$$X_{пк} = X_{пк0} + \int_0^T V_{п} dt, \quad X_p = X_{p0} + \int_0^T V_{н} dt,$$

где  $X_{пк0}$  и  $X_{p0}$  – начальные значения длин вытравленной части подъемного каната и выдвинутой части рукоятки, м,  $V_{п}$  и  $V_{н}$  – линейные скорости подъема и напора, м/с. Тогда мгновенные значения углов  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\cos \alpha = \frac{L_c \sin \varphi_c - X_p \sin \beta}{X_{пк}}, \quad \cos \beta = \frac{L_c \cos \varphi_c - X_{пк} \sin \alpha}{X_p},$$

где  $L_c$  – длина стрелы экскаватора, м.,  $\varphi_c$  – угол наклона стрелы к горизонту, рад.

С учетом сделанных допущений рассмотренную систему можно представить в виде структурной схемы (рис. 2).

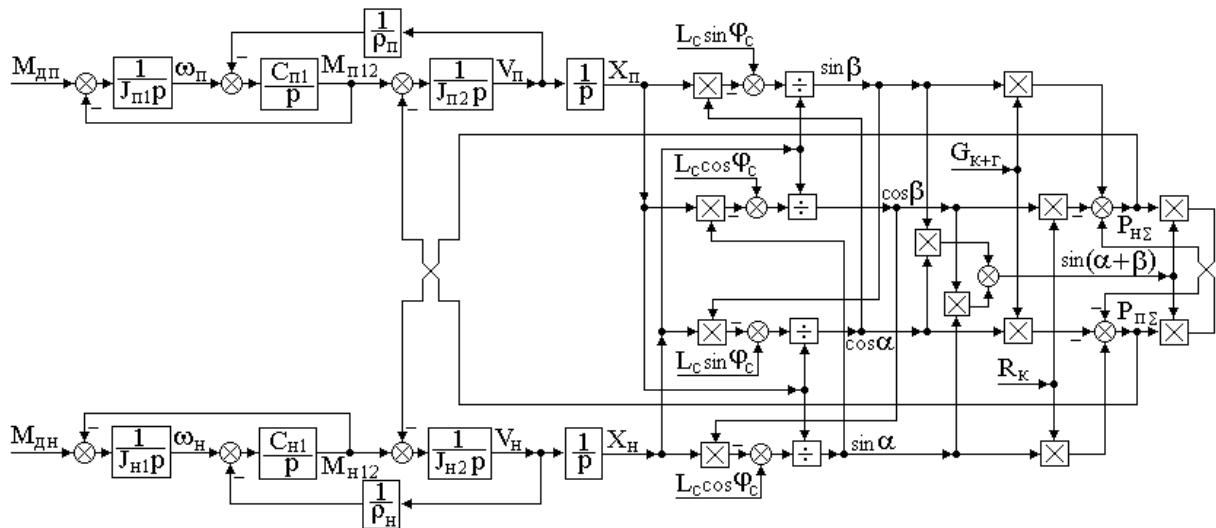


Рис. 2. Структурная схема механической части экскаватора.

Полученная математическая модель позволяет рассчитывать мгновенные значения координат центра тяжести ковша экскаватора, то есть его траекторию. Эта информация необходима для решения оптимизационной задачи управления экскаватором.