

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ОСНОВНЫХ ПРИВОДОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Приведены и обоснованы аналитические зависимости, связывающие геометрические параметры, необходимые для расчета усилий и мощностей основных приводов карьерного экскаватора, с его конструктивными размерами и параметрами забоя. Использование этих зависимостей значительно облегчает и ускоряет эксплуатационные расчеты, так как исключает наличие элементов графического решения.

In the paper the analytical dependences are motivated which connect geometrical parameters necessary for account of efforts and capacities of the basic drives of the power shovel, with their constructive sizes and parameters of the face. The use of these dependences considerably facilitates and accelerates operational accounts, as excludes the presence of elements of the graphic solution.

Геометрическими параметрами, необходимыми для расчета усилий и мощностей основных приводов карьерного экскаватора, а также определения массы противовеса, являются: углы наклона подъемного каната и рукояти; расстояния от точек приложения действующих на рабочее оборудование сил до оси напорного вала; расстояния от центров масс механизмов и конструкций до оси вращения поворотной платформы.

В настоящее время эти величины определяют графически, используя схемы рабочего оборудования лопаты в забое, выполненные с соблюдением масштаба. В данной работе предложена методика аналитического расчета геометрических параметров, позволяющая полностью исключить элементы графического решения в эксплуатационных расчетах карьерных механических лопат.

Для вывода формул, определяющих геометрические параметры, примем два допущения: 1) в момент начала копания рукоять вертикальна, зубья ковша находятся на уровне стоянки экскаватора; 2) траектория копания представляет собой дугу окружности, т.е. величина заглубления ковша не оказывает заметного влияния на вылет рукояти.

Для любого положения ковша относительно забоя при черпании породы длина передней (выдвинутой из седлового подшипника) части рукояти будет определяться из выражения

$$L_{\text{п.пер}} = H_{\text{в}} + L_{\text{к}} + t,$$

где  $H_{\text{в}}$  – высота напорного вала, м;  $L_{\text{к}}$  – длина ковша, м;  $t$  – величина заглубления ковша (толщина стружки).

Соответственно задняя, не вдвинутая в седловую подшипник часть рукояти,

$$L_{\text{п.зад}} = L_{\text{р}} - H_{\text{в}} + L_{\text{к}} - t.$$

Величина заглубления ковша  $t$  на вылет рукояти влияет незначительно, поэтому в рамках принятого допущения о том, что траектория резания есть дуга окружности, величиной  $t$  пренебрегаем.

Анализируя конструкции карьерных экскаваторов производства ОАО «ОМЗ», можно принять, что седловой подшипник находится на расстоянии  $0,4L_{\text{с}}$  от пяты стрелы ( $L_{\text{с}}$  – длина стрелы). Тогда высота напорного вала может быть определена из выражения:

$$H_B = h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c,$$

где  $h_{nc}$  – высота пяты стрелы, м;  $\alpha_c$  – угол наклона стрелы, рад.

Используя это выражение, а также выразив по известной эмпирической формуле [2-4] длину ковша через его вместимость  $E$ , получим:

$$L_{p.пер} = h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c - 0,924\sqrt[3]{E},$$

$$L_{p.зад} = L_p - h_{nc} - 0,4L_c \sin \alpha_c + 0,924\sqrt[3]{E}.$$

Рассмотрим произвольное положение рукоятки при черпании с учетом высоты забоя  $H$ . Угол наклона рукоятки к горизонтали при копании определяется из образовавшегося треугольника по выражению

$$\gamma_{рк} = \arcsin\left(1 - \frac{H}{h_{nc} + 0,4 \sin \alpha_c}\right).$$

Пренебрегая толщиной стружки и используя ранее полученные выражения, определим расстояния от точек приложения соответственно касательной составляющей силы сопротивления породы копанию, усилия подъема, силы тяжести ковша с породой, силы тяжести рукоятки до оси напорного вала в период копания:

$$r_{1к} = L_{p.пер} + L_k = H_B = h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c;$$

$$r_{2к} = L_{p.пер} = h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c - 0,924\sqrt[3]{E};$$

$$r_{3к} = L_{p.пер} + 0,5L_k = h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c - 0,462\sqrt[3]{E};$$

$$r_{4к} = L_{p.пер} - 0,5L_p = h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c - 0,924\sqrt[3]{E} - 0,5L_c.$$

Определим угол наклона подъемного каната при копании  $\beta_k$ . Для этого рассмотрим треугольник ОКМ (см. рисунок).

На рисунке точка О соответствует оси напорного вала, точка К – головному блоку, точка М – точка крепления подъемного каната к коромыслу ковша;

$$OM = L_{p.пер} = H_B - L_k.$$

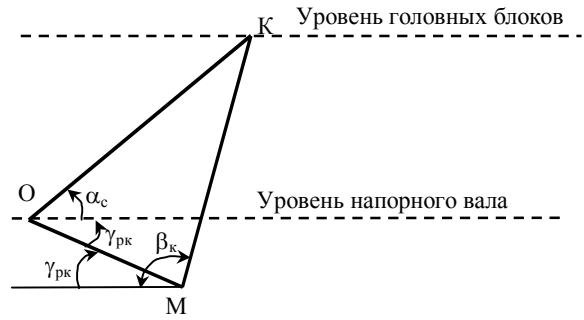


Схема определения угла наклона подъемных канатов к горизонтали

Углы треугольника ОКМ могут быть определены через угол наклона стрелы, угол наклона рукоятки и угол наклона подъемных канатов

$$\angle KMO = \beta_k - \gamma_{рк},$$

$$\angle OKM = \pi - \alpha_c - \beta_k.$$

Введем обозначения:  $OK = b = 0,6L_c + R_б$ ;  $OM = c = H_B - L_k$ ;  $\alpha = \gamma_{рк} + \alpha_c$ ;  $\beta = \beta_k - \gamma_{рк}$ ;  $\gamma = \pi - \alpha_c - \beta_k$ , где  $R_б$  – радиус головного блока. Выразив угол наклона подъемных канатов к горизонтали через обратную тригонометрическую функцию, получим

$$\beta_k = \pi - \alpha_c - \arctg \times \frac{(r_{4к} + 0,5L_c) \sin(\gamma_{рк} + \alpha_c)}{0,6L_c + R_б - (r_{4к} + 0,5L_c) \cos(\gamma_{рк} + \alpha_c)}.$$

При разгрузке в железнодорожные вагоны высоту разгрузки можно определить из выражения

$$H_p = H_{гол} + H_{ваг} + H_{заяз},$$

где  $H_p$  – высота разгрузки, м;  $H_{гол}$  – высота головки рельса над уровнем стоянки экскаватора, м;  $H_{ваг}$  – высота вагона, м;  $H_{заяз} = 0,5$  м – необходимый по правилам безопасности зазор между кузовом транспортного средства и ковшом экскаватора в момент разгрузки.

Расстояние от оси напорного вала до оси транспортного средства

$$L_{тр} = R_p - r_{nc} - 0,4L_c \cos \alpha_c,$$

где  $r_{nc}$  – радиус пяты стрелы, м.

Угол наклона рукояти к горизонту при разгрузке  $\gamma_{pp}$ . Используя ранее полученные выражения, получим:

$$\gamma_{pp} = \operatorname{arctg} \frac{h_{nc} + 0,4L_c \sin \alpha_c - H_p - 0,9\sqrt[3]{E}}{R_p - r_{nc} - 0,4L_c \cos \alpha_c}.$$

С учетом известной эмпирической зависимости, связывающей длину ковша с его вместимостью, длину передней части рукояти можно определить из выражения

$$L'_{p.пер} = \frac{R_p - r_{nc} - 0,4L_c \cos \alpha_c - 0,462\sqrt[3]{E}}{\cos \gamma_{pp}}.$$

С учетом этого выражения определим расстояния от точек приложения соответственно усилия подъема, силы тяжести ковша с породой (или порожнего ковша), силы тяжести рукояти до оси напорного вала при поворотах на разгрузку и в забой:

$$r_{2p} = L'_{p.пер} = \frac{R_p - r_{nc} - 0,4L_c \cos \alpha_c - 0,462\sqrt[3]{E}}{\cos \gamma_{pp}};$$

$$r_{3p} = L_{p.пер} + 0,5L_k = \frac{R_p - r_{nc} - 0,4L_c \cos \alpha_c}{\cos \gamma_{pp}};$$

$$r_{4p} = L'_{p.пер} - 0,5L_p =$$

$$= \frac{R_p - r_{nc} - 0,4L_c \cos \alpha_c - 0,462\sqrt[3]{E} - 0,5L_p}{\cos \gamma_{pp}}.$$

Для определения угла наклона подъемных канатов к горизонтали при поворотах на разгрузку и в забой  $\beta_p$  используем рисунок, заменив  $\beta_k$  на  $\beta_p$  и  $\gamma_{pk}$  на  $\gamma_{pp}$ .

Выразим стороны и углы треугольника через длину стрелы, вместимость ковша, радиус разгрузки, угол наклона рукояти, радиус пяты стрелы и радиус головного блока и с учетом ранее представленных выражений, получим:

$$\beta_p = \pi - \alpha_c - \operatorname{arctg} \frac{r_{2p} \sin(\alpha_c + \gamma_{pp})}{0,6L_c + R_0 - r_{2p} \cos(\alpha_c + \gamma_{pp})}.$$

Определим расстояния от центров масс механизма напора, стрелы, ковша и рукояти до оси вращения поворотной платформы:

$$r_n \approx r_{nc};$$

$$r_c = r_{nc} + 0,5L_c \cos \alpha_c;$$

$$r_k = R_p;$$

$$r_p = R_p - (0,462\sqrt[3]{E} - 0,5L_p) \cos \gamma_{pp}.$$

Плечо силы тяжести ковша с породой относительно точки  $a$  – ближайшей к ковшу точки опорно-поворотного круга:

$$r_{к+г}^a = r_{nc} + 0,4L_c \cos \alpha_c + 0,8L_p + 0,462\sqrt[3]{E} - 0,5D,$$

где  $D$  – диаметр опорного круга, м.

Плечо силы тяжести стрелы относительно точки  $a$ :

$$r_c^a = r_{nc} + 0,5L_c \cos \alpha_c - 0,5D.$$

Плечо силы тяжести рукояти относительно точки  $a$ :

$$r_p^a = r_{nc} + 0,4L_c \cos \alpha_c + 0,3L_p - 0,5D.$$

Плечо силы тяжести стрелы относительно точки  $b$  – наиболее удаленной от ковша точки опорно-поворотного круга:

$$r_c^b = r_{nc} + 0,5L_c \cos \alpha_c + 0,5D.$$

Следует заметить, что при расчете подъемных и напорных усилий [1] знак перед слагаемыми, содержащими  $\sin \gamma_{pk}$ ,  $\sin \gamma_{pp}$ , будет получаться автоматически в процессе вычисления величин  $\gamma_{pk}$ ,  $\gamma_{pp}$  при условии, что перед скобкой будет стоять знак минус. Например, при копании или разгрузке на высоте, меньшей высоты напорного вала, вычисленные значения  $\gamma_{pk}$  и  $\gamma_{pp}$  будут положительными, а слагаемые в формулах для расчета усилий – отрицательными. Действительно, в этих случаях тангенциальные составляющие тяжести ковша, породы в ковше и рукояти будут направлены в сторону забоя (или места разгрузки), уменьшая тем самым активное усилие напора. При копании или разгрузке на высоте, большей высоты на-

порного вала, величины  $\gamma_{pk}$  и  $\gamma_{pp}$  будут отрицательны, а содержащие их слагаемые – положительны, что также имеет физический смысл.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кувшинкин С.Ю.* Определение рациональных конструктивных параметров рабочего оборудования карьерного экскаватора в системе экскаваторно-

транспортного комплекса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / СПГИ. СПб, 1999.

2. *Подэрни Р.Ю.* Горные машины и комплексы для открытых работ. М.: Недра, 1985.

3. *Талько А.И.* Анализ зависимости мощности рабочих механизмов экскаватора от его конструктивных параметров и физико-механических свойств разрабатываемых грунтов / ЛГИ. Л., 1989.

4. *Экскавационно-транспортные машины циклического действия: Справочник механика открытых работ/ Под ред. М.И.Щадова, Р.Ю.Подэрни.* М.: Недра, 1989.