



# Принципы построения ограничителя грузоподъемности

на стреловом автомобильном кране

Дмитрий ПРОХОРОВ,

начальник лаборатории неразрушающего контроля ЗАО СИФ «СеМак»

Илья МЕРКУЛОВ,

заместитель начальника отдела экспертизы

промышленной безопасности

ЗАО СИФ «СеМак»

Александр АЛХИМЕНКОВ,

главный инженер ЗАО СИФ «СеМак»

В статье приводятся расчеты характеристики отключения ограничителя грузоподъемности на основе расчетной схемы стрелового автомобильного крана, его конструктивных параметров и грузовой характеристики.

**Ключевые слова:** грузоподъемность, грузовая характеристика, характеристика отключения, стреловой автомобильный кран.

На рисунке 1 представлена расчетная схема стрелового автомобильного крана.

Условные обозначения на схеме:

$\alpha$  – угол наклона стрелы, отсчитываемый от крайнего верхнего положения;

$\beta$  – угол наклона стрелового полиспаста, отсчитываемый от вертикальной оси;

$\theta$  – угол между вертикальной осью и отрезком прямой, соединяющим оси вращения стрелы и стрелового барабана;

$l_c$  – расстояние от оси вращения стрелы до центра масс (неизменяемой части);

$l_{II}$  – расстояние от оси вращения стрелы до центра масс (изменяемой части);

$l_B$  – расстояние от оси стрелового барабана до оси вращения стрелы;

$l$  – длина стрелы;

$l_{сп}$  – длина стрелового полиспаста;

$m_H$  – масса (неизменяемой части) крана;

$m_I$  – масса (изменяемой части) крана;

$b$  – расстояние от ребра опрокидывания до оси вращения башни;

$c$  – расстояние от оси вращения башни до оси вращения стрелы;

$l_H$  – плечо силы веса (неизменяемой части) крана относительно ребра опрокидывания;

$l_I$  – плечо силы веса (изменяемой части) относительно ребра опрокидывания;

$R$  – вылет;

$ДУС$  – датчик усилия.

Условие устойчивости крана относительно ребра опрокидывания имеет вид

$$M_{уст} \geq K_3 \cdot M_{опр}, \quad (B.1)$$

где  $M_{уст}$  – момент устойчивости;  $M_{опр}$  – момент опрокидывания;  $K_3$  – коэффициент запаса устойчивости (в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» для кранов, работающих со штучным грузом,  $K_3 = 1,4$ )

$$M_{уст} = m_H \times g \times l_H - m_I \times g \times [l_{II} \times \sin \alpha - (b + c)], \quad (B.2)$$

где  $m_H, m_I$  – соответственно массы (неизменяемой) и (изменяемой) частей крана;  $g$  – ускорение свободного падения.

$$M_{опр} = Q \times g \times [l \times \sin \alpha - (b + c)], \quad (B.3)$$

где  $Q$  – масса груза.

Произведем подстановку (B.2) и (B.3) в (B.1) и разрешим неравенство относительно  $Q$ :

$$Q \leq \frac{m_H \times l_H - m_I [l_{II} \times \sin \alpha - (b + c)]}{K_3 \times [l \times \sin \alpha - (b + c)]} \quad (B.4)$$

или

$$Q_{max} \leq \frac{m_H \times l_H - m_I [l_{II} \times \sin \alpha - (b + c)]}{K_3 \times [l \times \sin \alpha - (b + c)]}, \quad (B.5)$$

где  $Q_{max}$  – максимальная масса груза, который может поднять кран на данном вылете  $R$ .

Связь между углом наклона стрелы и вылетом определяется выражением

$$R = (l \times \sin \alpha) + c, \quad (B.6)$$

где  $l$  и  $c$  – постоянные для данного типа крана параметры.

В выражении (B.6) большему углу  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 90^\circ$ ) соответствует большее значение вылета  $R$ .

$$\text{Из (B.17) находим } \sin \alpha = \frac{R - c}{l}. \quad (B.7)$$

Подставим (B.7) в (B.5):

$$Q_{max} = \frac{m_H \times l_H - m_I \left[ \frac{l_{II}}{l} \times (R - c) - (b + c) \right]}{K_3 \times (R - b - 2c)}, \quad (B.8)$$

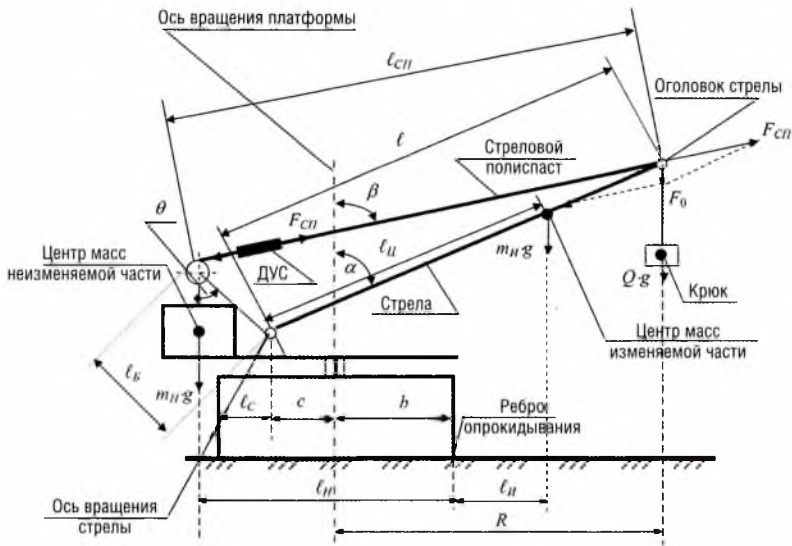
В правой части выражения (B.8) все параметры ( $K_3, m_H, m_I, l, l_{II}, b, c$ ), кроме вылета  $R$ , для конкретной модели крана фиксированы, так как являются конструктивными параметрами. Следовательно:  $Q_{max} = f_1(R)$ . (B.9)

Выражение (B.9) является грузовой характеристикой крана. Таким образом, грузовой характеристикой крана называется зависимость максимальной массы груза  $Q_{max}$ , который может поднять кран на данном вылете  $R$ , от величины этого вылета.

Грузовая характеристика крана приводится в паспорте стрелового автомобильного крана в виде таблицы или графика (рис. 2). В ограничителе отсутствуют датчики, непосредственно измеряющие массу груза из-за низкой точности подобного отбора информации. Датчик



Рис. 1. Расчетная схема стрелового автомобильного крана



усилия обычно устанавливается на силовых элементах крепления стрелы, в частности на стреловом полиспасте с помощью растяжек, при этом одновременно учитывается масса стрелы. Место установки растяжек и расстояние между ними указывается в конструктивной документации.

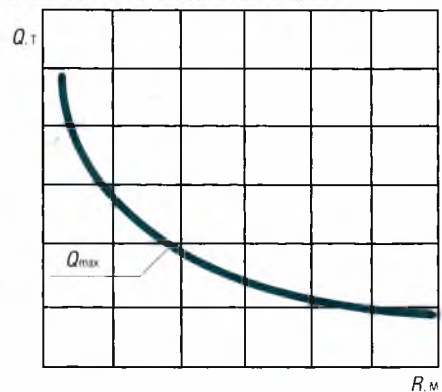
Вылет  $R$  не может быть изменен непосредственно, он контролируется измерением угла  $\alpha$ . Таким образом, при построении ограничителя грузовой характеристика крана преобразуется в характеристику отключения ограничителя. Грузовая характеристика крана строится в координатах, соответствующих параметрам крана, измеряемым ограничителем.

Сила натяжения стрелового полиспаста  $F_{сп}$  преобразуется в силу, приложенную к датчику  $F$ :  $F = k_{п} \times F_{сп}$ , (В.10)

где  $k_{п}$  - коэффициент преобразования.

Сила натяжения стрелового полиспаста пропорциональна весу груза  $Q \times g$  и весу (изменяемой части)  $m_{н} \times g$  (см. рис.1).

Рис. 2. Грузовая характеристика стрелового автомобильного крана



Суммарная сила тяжести груза (измеряемой части), приведенная к оголовку стрелы:

$$F_0 = Q \times g + m_{н} \times g \frac{\ell}{\ell_{ц}}; \quad (В.11)$$

$$F_{сп} = F_0 \frac{\sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)}; \quad (В.12)$$

$$\sin \beta = \frac{\ell_{б} \times \sin \theta + \ell \times \sin \alpha}{\sqrt{\ell^2 + \ell_{б}^2 - 2 \times \ell \times \ell_{б} \times \cos(\alpha + \theta)}}; \quad (В.13)$$

$$\cos \beta = \frac{\ell_{б} \times \cos \theta + \ell \times \cos \alpha}{\sqrt{\ell^2 + \ell_{б}^2 - 2 \times \ell \times \ell_{б} \times \cos(\alpha + \theta)}}; \quad (В.14)$$

Произведем подстановку (В.11), (В.13) и (В.14) в (В.12) и (В.10):

$$F = k_{п} \times Q \times g + \frac{m_{н} \times g}{\ell_{ц}} \times \sqrt{\frac{\ell^2 + \ell_{б}^2 - 2 \times \ell \times \ell_{б} \times \cos(\alpha + \theta)}{2 \times \ell \times \cos \alpha}} \quad (В.15)$$

или

$$F_{\max} = k_{п} \times Q_{\max} \times g + \frac{m_{н} \times g}{\ell_{ц}} \times \sqrt{\frac{\ell^2 + \ell_{б}^2 - 2 \times \ell \times \ell_{б} \times \cos(\alpha + \theta)}{2 \times \ell \times \cos \alpha}}, \quad (В.16)$$

где  $F_{\max}$  - приложенное к ДУС усилие, соответствующее максимальной для данного вылета массе груза.

Произведем подстановку (В.8) в (В.16):

$$F_{\max} = k_{п} \times \frac{m_{н} \times \ell_{н} - m_{н} \times (\ell_{ц} \times \sin \alpha - b - c)}{K_{\gamma} \times (\ell \times \sin \alpha - b - c)} \times g +$$

$$+ \frac{m_{н} \times g}{\ell_{ц}} \times \frac{\sqrt{\ell^2 + \ell_{б}^2 - 2 \times \ell \times \ell_{б} \times \cos(\alpha + \theta)}}{2 \times \ell \times \cos \alpha} \quad (В.17)$$

В правой части выражения (В.17) все параметры, кроме угла  $\alpha$ , для конкретной модели крана фиксированы, так как являются конструктивными параметрами. Следовательно:  $F_{\max} = f_2(\alpha)$ . (В.18)

Выражение (В.18) является характеристикой отключения ограничителя грузоподъемности. Характеристика отключения ограничителя грузоподъемности может выглядеть по-разному. Если воздействие на датчик усилия возрастает таким образом, что выходной сигнал  $U_{ДУС}$  увеличивается в большей степени, чем выходной сигнал датчика угла  $U_{ДУГ}$ , то характеристика отключения является возрастающей функцией. Если воздействие на датчик усилия приводит к тому, что  $U_{ДУС}$  и  $U_{ДУГ}$  возрастают в одинаковой степени, то характеристика отключения ограничителя представляет собой горизонтальную линию. В этом случае датчик не нужен, и он в составе ограничителя отсутствует. Если же воздействие на датчик усилия таково, что сигнал  $U_{ДУС}$  возрастает в меньшей степени, чем  $U_{ДУГ}$ , то характеристика отключения ограничителя является убывающей функцией.

Вид характеристики отключения определяется модификацией ограничителя грузоподъемности. Таким образом, ограничитель грузоподъемности воспроизводит грузовой характеристике крана  $Q_{\max} = f_1(R)$  в виде характеристики отключения  $F_{\max} = f_2(\alpha)$ . Для кранов с телескопической стрелой будет значение характеристик отключения  $F_{\max} = f_2(\alpha)$  и значение грузовых характеристик  $Q_{\max} = f_1(R)$  для различных длин стрелы  $l$ .

### Литература

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. - М.: /ПИО ОБТ, 2000.
2. Щербаков В.С., Тихонов Ю.Б. Изучение характеристик ограничителя грузоподъемности. Методические указания к лабораторной работе. - Омск: СибАДИ, 2001.
3. Сушинский В.А., Маш Д.М., Шишков Н.А. Приборы безопасности грузоподъемных кранов. Учебно-методическое пособие. - СПб., 2001. - Ч I.
4. Сушинский В.А., Маш Д.М., Шишков Н.А. Приборы безопасности грузоподъемных кранов. Учебно-методическое пособие. - СПб., 2001. - Ч II.