

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЧЕСТОТАТА НА ВЪРТЕНЕ И ДЪЛЖИНАТА НА СТРЕЛАТА ВЪРХУ ВРЕМЕТО ЗА ПУСКАНЕ НА МЕХАНИЗМА ЗА ВЪРТЕНЕ НА КУЛА КРАН

**Христо Шейретов**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, sheiretov@abv.bg

**РЕЗЮМЕ.** Определено е времето за пускане на механизма за въртене на кула кран с товароподемност 5t. Направени са изчисления при три честоти на въртене, пет обсега на крана за три различни двигатели.

INFLUENCE OF THE ROTATION SPEED AND THE BOOM LENGTH ON THE START TIME OF THE ROTATION MECHANISM OF A TOWER CRANE

Hristo Sheiretov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, sheiretov@abv.bg

ABSTRACT. The acceleration time of the rotation mechanism of a tower crane with capacity 5t is determined. Calculations at three rotation speeds and five boom lengths are made. Three different motors are used for the calculations.

### Определяне на времето за пускане

Времето за пускане се определя по формулата (Коларов 1986, Шейретов 2009):

$$t_n = \frac{\omega_{\partial\partial} J_r}{M_n^{cp} - M_{cm}}, \text{ s}, \text{ където:}$$

$\omega_{\partial\partial}$  – ъглова скорост на двигателя, rad/s

$J_r$  – масов инерционен момент редуциран към вала на двигателя при въртенето, kg.m<sup>2</sup>

$M_n^{cp}$  – среден пусков момент на двигателя, N.m

$M_{cm}$  – статичен съпротивителен момент на вала на двигателя, N.m

$$\omega_{\partial\partial} = \frac{\pi \cdot n_{\partial\partial}}{30}, \text{ s}^{-1}$$

$$J_r = 1,2 \cdot J_{\partial\partial} + \frac{J + J_{кон} + J_n + J_{ен} + J_{cm}}{x \cdot i^2 \cdot \eta} \text{ [kg.m}^2\text{]}$$

$$M_n^{cp} = \frac{M_n^{\min} + M_n^{\max}}{2}, \text{ N.m}$$

$$M_{cm} = \frac{1000 \cdot M}{x \cdot i \cdot \eta}, \text{ N.m}$$

$n_{\partial\partial}$  – честота на въртене на двигателя, min<sup>-1</sup>

$J_{\partial\partial}$  – инерционен момент на двигателя, kg.m<sup>2</sup>

$J$  – инерционен момент на количката с ролковия блок и товара, kg.m<sup>2</sup>

$J_{кон}$  – инерционен момент на конзолата, kg.m<sup>2</sup>

$J_n$  – инерционен момент на противотежестта, kg.m<sup>2</sup>

$J_{ен}$  – инерционен момент на въртящата се платформа, kg.m<sup>2</sup>

$J_{cm}$  – инерционен момент на стрелата, kg.m<sup>2</sup>

$x$  – брой на двигателите

$l$  – предавателно отношение на механизма

$\eta$  – КПД на механизма

$M_n^{\min}$  – минимален пусков момент на двигателя, N.m

$M_n^{\max}$  – максимален пусков момент на двигателя, N.m

$M$  – среден съпротивителен момент при въртенето, N.m

$$J = m \cdot L^2, \text{ kg.m}^2$$

$$J_{кон} = \frac{1}{3} \cdot m_{кон} \cdot \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 + \frac{b}{2} \cdot \left( \frac{b}{2} + L_k \right) + \left( \frac{b}{2} + L_k \right)^2 \right]$$

$$J_n = m_n \cdot L^2, \text{ kg.m}^2$$

$$J_{ен} = 0,5 \cdot m_{ен} \cdot \left( \frac{b}{2} \right)^2, \text{ kg.m}^2$$

$$J_{cm} = \frac{1}{3} \cdot m_c \cdot \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 + \frac{b}{2} \cdot \left( \frac{b}{2} + L_c \right) + \left( \frac{b}{2} + L_c \right)^2 \right] \text{ [kg.m}^2\text{]}$$

$$i = \frac{n_{\partial\partial}}{n}$$

$$\eta = \eta_p \cdot \eta_{ен}$$

$$M_n^{\min} = 1,1 \cdot M_n, \text{ N.m}$$

$$M = \sqrt{\frac{M_1^2 - M_2^2}{2}}, \text{ KN.m}$$

$m$  – маса на количката с ролковия блок и товара, kg  
(масата на товара е равна на товароподемността на крана при максимален обсег  $Q_1$ )

$L$  – максимален обсег на крана, m (фиг.1)

$m_{\text{кон}}$  – маса на конзолата, kg

$b$  – широчина на кулата, m

$L_k$  – дължина на конзолата, m

$m_n$  – маса на противотежестта, kg

$L'$  – обхват на противотежестта, m

$m_{\text{еп}}$  – маса на въртящата се платформа, kg

$m_c$  – маса на стрелата, kg

$L_c$  – дължина на стрелата

$n$  – честота на въртене на крана,  $\text{min}^{-1}$

$\eta_p = 0,88$  – кпд на тристъпален планетарен редуктор

$\eta_{\text{вн}} = 0,93$  – кпд на външната предавка

$M_n$  – номинален въртящ момент на двигателя, N.m

$M_1$  – съпротивителен момент през първия полупериод на въртене, N.m

$M_2$  – съпротивителен момент през втория полупериод на въртене, N.m

$$M_n = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} \cdot 1000, \text{ N.m}$$

$$M_1 = M_{\text{тп}} + \frac{M_{\text{вм}} + M_{\text{вс}} - M_{\text{вкон}}}{2}, \text{ KN.m}$$

$$M_2 = M_{\text{тп}} + \frac{M_{\text{вкон}} - M_{\text{вс}}}{2}, \text{ KN.m}$$

$P_{\text{дв}}$  – мощност на двигателя, KW

$M_{\text{тп}}$  – съпротивителен момент от силите на триене при въртенето на опорно-въртящото се устройство, N.m

$M_{\text{вм}}$  – съпротивителен момент от ветровото натоварване на товара, N.m

$M_{\text{вс}}$  – съпротивителен момент от ветровото натоварване на стрелата, N.m

$M_{\text{вкон}}$  – съпротивителен момент от ветровото натоварване на конзолата, N.m

$$M_{\text{тп}} = 0,5 \cdot \mu \cdot (4,5 \cdot M_v + V \cdot D + 2,5 \cdot R \cdot D) \text{ [KN.m]}$$

$$M_{\text{вм}} = P_{\text{вм}} \cdot L_1, \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{вс}} = P_{\text{вс}}^c \cdot \left( \frac{L_c}{2} + \frac{b}{2} \right), \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{вкон}} = P_{\text{вкон}} \cdot \left( \frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} \right), \text{ KN.m}$$

$\mu$  – коефициент на триене във въртящото се опорно устройство  $\mu = 0,005$

$M_v$  – неуравновесен момент на силите спрямо оста на въртене, KN.m

$V$  – вертикално натоварване на опорно-въртящото се устройство, KN

$D$  – диаметър на опорно-въртящото се устройство, m

$R$  – радиална сила върху опорно-въртящото се устройство, KN

$P_{\text{вм}}$  – сила от вятъра върху товара, KN

$P_{\text{вс}}^c$  – сила от вятъра върху стрелата, KN

$P_{\text{вкон}}$  – сила от вятъра върху конзолата, KN

$$M_v = (Q + G + G_o + F_{\text{ин}}) \cdot L_1 + G_c \cdot \left( \frac{L_c}{2} + \frac{b}{2} \right) -$$

$$- (P_{\text{вм}} + F_u) \cdot (h' - h_Q) - G_{\text{кон}} \cdot \left( \frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} \right) - G_n \cdot L'$$

[KN.m]

$$V = G_n + G_{\text{кон}} + G_{\text{вн}} + G_o + G + G_c + Q, \text{ KN}$$

$$P_{\text{вм}} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN} \quad (k_a=1,4 \quad k_3=0,4)$$

$$P_{\text{вс}}^c = S_c^c \cdot p \cdot k_a \cdot k_3, \text{ KN} \quad (k_a=1,2 \quad k_3=1)$$

$$P_{\text{вкон}} = S_{\text{кон}} \cdot p \cdot k_a \cdot k_3, \text{ KN} \quad (k_a=1,4 \quad k_3=0,3)$$

$Q$  – товароподемност на крана, t

$G$  – сила на тежестта на ролковия блок, KN

$G_o$  – сила на тежестта на количката, KN

$F_{\text{ин}}$  – инерционна сила при вдигане на товара, KN

$G_c$  – сила на тежестта на стрелата, KN

$F_u$  – центробежна сила при въртенето, KN

$h'$  – височина на стрелата на крана, m

$h_Q$  – височина на товара, m

$G_{\text{кон}}$  – сила на тежестта на конзолата, KN

$G_n$  – сила на тежестта на противотежестта, KN

$G_{\text{вн}}$  – сила на тежестта на въртящата се платформа, KN

$S_m$  – обветрена площ на товара,  $\text{m}^2$

$S_c^c$  – странична обветрена площ на стрелата,  $\text{m}^2$

$p=0,25 \text{ KN/m}^2$  – налягане на вятъра

$k_a$  – коефициент на аеродинамичност

$k_3$  – коефициент на запълване

$S_{\text{кон}}$  – обветрена площ на конзолата,  $\text{m}^2$

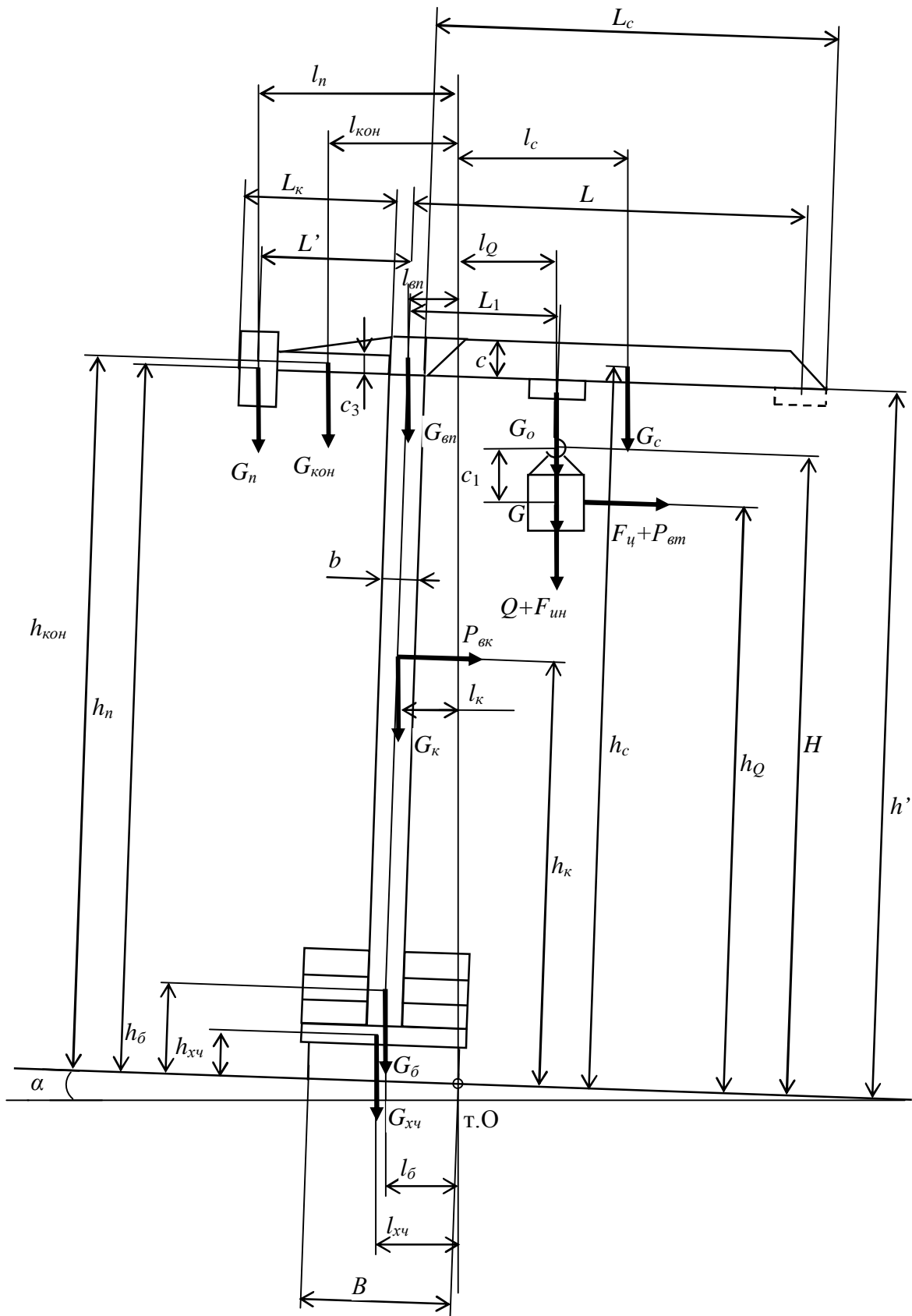
$$S_c^c = c \cdot L_c, \text{ m}^2$$

$$S_{\text{кон}} = L_k \cdot c_3, \text{ m}^2$$

Времето за пускане трябва да е по-малко от 10s (Гохберт 1988)

$$t_n \leq 10s$$

Ако не е изпълнено условието трябва да се избере двигател с по-голяма мощност.



Фиг.1 Сили и основни размери на кула кран

## Влияние на честотата на въртене върху времето за пускане

Изчисленията са направени за съществуващ кран (SAEZ) с товароподемност  $Q = 5t$  при следните данни:  $L=55m$ ,  $L_1=15,8m$ ,  $v=16m/min$ ,  $m_n=13750kg$ ,  $Q_1=1050kg$ ,  $m=1390kg$ ,  $x=2$ ,  $m_{кон}=3240kg$ ,  $m_{ен}=3200kg$ ,  $m_c=5870kg$ ,  $c=1,8m$ ,  $c_3=1,2m$ ,  $b=1,2m$ ,  $L_k=12m$ ,  $L'=11m$ ,  $c_1=3m$ ,  $S_m=7,1m^2$ . Определено е времето за пускане при три честоти на въртене  $n=0,3$ ,  $n=0,6$  и  $n=0,8min^{-1}$  за двигатели с мощност  $P_{дв}=4, 2,8$  и  $1,7KW$ . Двигателите имат следните данни:  $P_{дв}=4KW$  ( $n_{дв}=950min^{-1}$ ,  $M_n^{max}=140N.m$ ,  $J_{дв}=0,07kg.m^2$ )  $P_{дв}=2,8KW$  ( $n_{дв}=920min^{-1}$ ,  $M_n^{max}=87N.m$ ,  $J_{дв}=0,049kg.m^2$ )  $P_{дв}=1,7KW$  ( $n_{дв}=920min^{-1}$ ,  $M_n^{max}=57N.m$ ,  $J_{дв}=0,029kg.m^2$ ). Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1.

Таблица 1.  $t_n$  [s]

$n$ [ $min^{-1}$ ]	$P_{дв}=4$ KW	$P_{дв}=2,8$ KW	$P_{дв}=1,7$ KW
0,3	0,9	1,63	3,2
0,6	4,43	9,9	37,2
0,8	9,2	26,8	-170

С удебелен шрифт е отбелязано времето за пускане на двигателя, който трябва да бъде избран.

## Влияние на дължината на стрелата (максималния обсег $L$ ) върху времето за пускане

Изчисленията са направени за същия кран (SAEZ) с товароподемност  $Q = 5t$  при следните данни:  $n=0,8min^{-1}$ ,  $v=16m/min$ ,  $x=2$ ,  $m_{кон}=3240kg$ ,  $m_{ен}=3200kg$ ,  $c=1,8m$ ,  $c_3=1,2m$ ,  $b=1,2m$ ,  $L_k=12m$ ,  $L'=11m$ ,  $c_1=3m$ ,  $S_m=7,1m^2$ . Определено е времето за пускане при пет стандартни дължини на стрелата (обхват  $L$ ) за същите двигатели с мощност  $P_{дв}=4, 2,8$  и  $1,7KW$ . Трябва да се отбележи, че параметрите  $L_1$ ,  $m_n$ ,  $Q_1$ ,  $m$  и  $m_c$  също се изменят. Резултатите от изчисленията са дадени в табл.2.

Препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините“, МЕМФ

Таблица 2.  $t_n$  [s]

$L$ [m]	$P_{дв}=4$ KW	$P_{дв}=2,8$ KW	$P_{дв}=1,7$ KW
55	9,2	26,8	-179
50	8,2	21,3	-106
45	7,3	18,8	451
40	5,5	12,9	62,4
35	4,2	8,8	24,8

$L_1$ [m]	$m_n$ [kg]	$Q_1$ [kg]	$m$ [kg]	$m_c$ [kg]
15,8	13750	1050	1390	4602
18	13200	1450	1790	5104
21	12350	1950	2290	5416
20,2	10900	2250	2590	5678
20,2	10900	2650	2990	5884

С удебелен шрифт е отбелязано времето за пускане на двигателя, който трябва да бъде избран.

## Изводи

При увеличаване на честотата на въртене на крана  $n$  и постоянна мощност на двигателя ( $P_{дв}=\text{const}$ ) времето за пускане  $t_n$  се увеличава (табл.1). При по-голяма честота на въртене следва да се избира двигател с по-голяма мощност.

При увеличаване на дължината на стрелата (обхвата на крана  $L$ ) и постоянна мощност на двигателя  $P_{дв}$ , времето за пускане  $t_n$  се увеличава (табл.2). При по-голяма дължина на стрелата следва да се избира двигател с по-голяма мощност.

## Литература

- Гохберг, М.М. и др.. Справочник по кранам том 2. Ленинград, Машиностроение, 1988  
 Дивизиев, В.И.. Основи на товароподемните машини. Техника, София, 1986  
 Заленский, В.С., Мовчан, Ф.Ф.. Подъемно-транспортные и строительные машины. Госстройиздат, Москва, 1957  
 Коларов, И.Г., Проданов, М.Н.. Проектиране на товароподемни машини. Техника, София, 1986  
 Шейретов, Х.К.. Ръководство за проектиране на кула кранове. МГУ, София, 2008  
 SAEZ TL55 – проспект