

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА РАЗЛИЧНИ ФАКТОРИ ВЪРХУ УСТОЙЧИВОСТТА НА КУЛА КРАН

**Христо Шейретов**

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

**РЕЗЮМЕ.** Определени са коефициентите на устойчивост на различни кранове с товароподемност 2,5, 5, 8 и 10t. Изследвано е влиянието на наклона на терена, дължината на стрелата и височината на кулата.

### STUDY OF THE INFLUENCE OF SEVERAL FACTORS ON THE STABILITY OF A TOWER CRANE

Hristo Sheiretov

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

**ABSTRACT.** The coefficients of stability of different cranes with capacities of 2,5, 5, 8 and 10t are determined. The influence of the slope, the length of the boom and the height of the tower is studied.

### Определяне на коефициентите на товарна и собствена устойчивост

Коефициентът на товарна устойчивост  $k_{ту}$  се определя при окачен товар, равен на максималната товароподемност на крана и при наклон на терена равен на максималния допустим наклон за крана (Дивизев, 1986; Зеленский, 1958; Шейретов 2008) (фиг.1). Определя се по формулата (Зеленский, 1958):

$$k_{ту} = \frac{M_{уд} - M_{обр}}{M_{тов}}, \text{ където:}$$

$M_{уд}$  – удържащ момент при определяне на товарната устойчивост;

$M_{обр}$  – обръщателен момент при определяне на товарната устойчивост;

$M_{тов}$  – товарен момент.

$$M_{уд} = G_{хч} \cdot l_{хч} + G_{б} \cdot l_{б} + G_{к} \cdot l_{к} + G_{кон} \cdot l_{кон} + G_{н} \cdot l_{н} + G_{вн} \cdot l_{вн}$$

[KN.m]

$$M_{обр} = G \cdot l_G + G_o \cdot l_{кол} + F_{ин} \cdot l_Q + G_c \cdot l_c + (P_{вт} + F_{ц}) \cdot h_Q + P_{вк} \cdot h_k$$

[KN.m]

$$M_{тов} = Q \cdot l_Q, \text{ KN.m}$$

$G_{хч}, G_{б}, G, G_{ск}, G_{ко}, G_n, G_{вп}, G_o, G$  [KN]- сили на тежестта на ходовата част, баласта, кулата, стрелата, конзолата, противотежестта, въртящата се платформа, ролковия блок и крановата количка;

$Q$  [KN] – максимална товароподемност на крана;

$P_{вт}$  и  $P_{вк}$  [KN] – сили от вятъра върху товара и кулата;

$F_{ин}$  и  $F_{ц}$  [KN] – инерционна и центробежна сила върху товара;

$l_{хч}, l_{б}, l_{к}, l_{кон}, l_{н}, l_{вп}, l_G, l_{кол}, l_Q, l_c, h_Q, h_k$  и  $l_Q$  – рамена на съответните сили спрямо точка  $O$ .

$$F_{ц} = \frac{Q \cdot n^2 \cdot L_1}{900 - n \cdot (h' - h_Q)}, \text{ KN}$$

$$F_{ин} = \frac{Q + G}{g} \cdot \frac{v}{t_c}, \text{ KN, където:}$$

$t_c = 1 \text{ s}$  – време за спиране на подемния механизъм;

$v$  [m/s] – скорост на подемния механизъм;

$n$  [min<sup>-1</sup>] – честота на въртене на крана.

$$P_{вт} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN}$$

( $k_a = 1,2 \quad k_3 = 1$ )

$$P_{вк} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN}$$

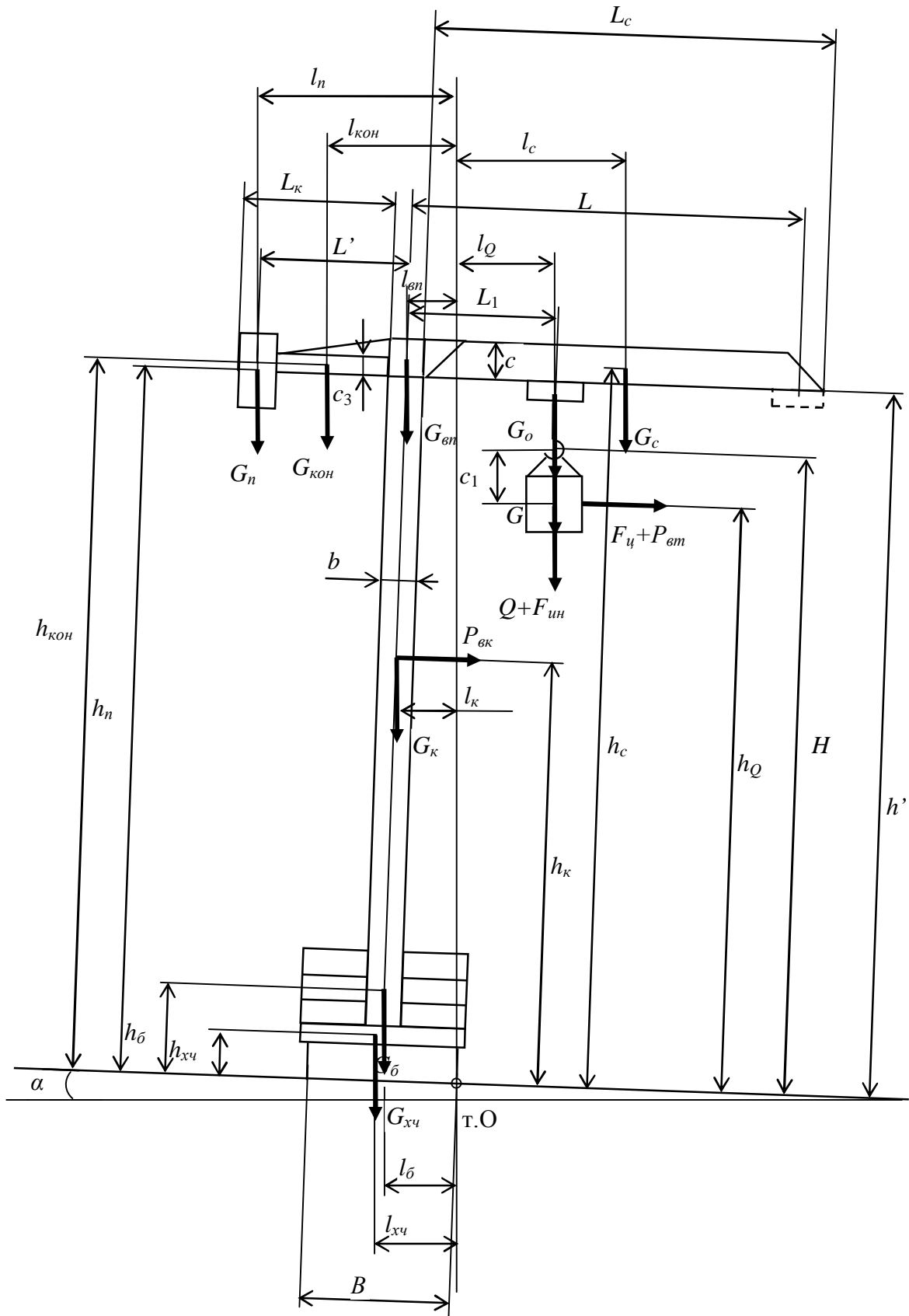
( $k_a = 1,4 \quad k_3 = 0,4$ )

$$S_k = h_1 \cdot b, \text{ m}^2$$

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

$k_a$  – коефициент на аеродинамичност;

$k_3$  – коефициент на запълване на сечението;



Фиг.1 Схема за определяне на товарната устойчивост на кула кран

$S_k$  – обветрена площ на кулата;  
 $S_m$  – обветрена площ на товара [m<sup>2</sup>].

$L_c = L + 0,3$  - дължина на стрелата

$h' = H + 0,6$

$$h_{кон} = h' + \frac{c_3}{2}$$

$$h_n = h'$$

$$h_k = \frac{h'}{2}$$

$$h_Q = H - c_1$$

$$l_{xч} = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h_{xч} \cdot \sin \alpha$$

$$l_{\bar{o}} = B \cdot \cos \alpha - h_{\bar{o}} \cdot \sin \alpha$$

$$h_c = h' + \frac{c}{2}$$

$$l_k = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h_k \cdot \sin \alpha$$

$$l_{кон} = \left( \frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h_{кон} \cdot \sin \alpha$$

$$l_Q = \left( L_1 - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_Q \cdot \sin \alpha$$

$$l_G = \left( L_1 - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + H \cdot \sin \alpha$$

$$l_{кол} = \left( L_1 - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h' \cdot \sin \alpha$$

$$l_c = \left( \frac{L_c}{2} + \frac{b}{2} - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_c \cdot \sin \alpha$$

$$l_{ен} = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$$

$$l_n = \left( L' + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h_n \cdot \sin \alpha$$

$L$  – максимален обсег на крана;

$H$  – височина на вдигане на товара;

$c$  – височина на стрелата;

$b$  – широчина на кулата;

$B$  – база на крана (разстояние между релсите по които се движи крана);

$c_3$  – височина на конзолата;

$L_1$  – обсег на крана при максимална товароподемност;

$L'$  – обсег на противовтежестта;

$L_k$  – дължина на конзолата;

$\alpha$  – наклон на терена

Коефициентът на собствена устойчивост  $k_{cy}$  се определя при липса на товар и максимално допустим обратен наклон (фиг.2).

$$k_{cy} = \frac{M'_{y\bar{o}}}{M'_{o\bar{o}p}}, \text{ където:}$$

$M'_{y\bar{o}}$  – удържащ момент при определяне на собствената устойчивост;

$M'_{o\bar{o}p}$  – обръщателен момент при определяне на собствената устойчивост на крана;

$$M'_{y\bar{o}} = G_{xч} \cdot l'_{xч} + G_{\bar{o}} \cdot l'_{\bar{o}} + G_k \cdot l'_k + G_{ен} \cdot l'_{ен} + G \cdot l'_G + G_o \cdot l'_{кол} + G_c \cdot l'_c$$

[KN.m]

$$M'_{o\bar{o}p} = G_{кон} \cdot l'_{кон} + G_n \cdot l'_n + P'_{ек} \cdot h_k$$

[KN.m]

$l'_{кон}, l'_n, l'_{xч}, l'_{\bar{o}}, l'_k, l'_{ен}, l'_G, l'_{кол},$  и  $l'_c$  – рамена на силите при определяне на собствената устойчивост на крана.

$$l'_{xч} = l_{xч}$$

$$l'_{\bar{o}} = B \cdot \cos \alpha - h_{\bar{o}} \cdot \sin \alpha$$

$$l'_k = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h_k \cdot \sin \alpha$$

$$l'_{кон} = \left( \frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_{кон} \cdot \sin \alpha$$

$$l'_n = \left( L' - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_n \cdot \sin \alpha$$

$$l'_G = \left( L_1 + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$$

$$l'_{кол} = \left( L_1 + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$$

$$l'_{ен} = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$$

$$l'_c = \left( B + \frac{L}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h_c \cdot \sin \alpha$$

$P'_{ек}$  – сила от вятъра върху кулата при определяне на собствената устойчивост

$$P'_{ек} = S_m \cdot k_a \cdot k_s \cdot p', \text{ KN}$$

$p' = 0,7 + (h_k - 20) \cdot 0,01$  - налягане от вятъра върху кулата при определяне на собствената устойчивост.

За да се запази устойчивостта на крана се препоръчва (Дивизев, 1986; Зеленский, 1958; Шейретов 2008) :

$$k_{my} \geq 1,15 \quad k_{cy} \geq 1,15$$

Ако  $k_{my} < 1,15$  се увеличава масата на противовтежестта  $G_n$ . Ако  $k_{cy} < 1,15$  се увеличава масата на баласта  $G_b$ .

## Влияние на наклона на терена $\alpha$

Изчисленията са направени за съществуващ кран (SAEZ) с товароподемност  $Q = 5t$  при следните данни:  $L=55m$ ,  $H=30m$ ,  $G_n=13750kg$ ,  $L_1=15,8m$ ,  $B=3,8m$ ,  $G_6=60,8t$ ,  $G_c=5880kg$ ,  $G_k=9487kg$ . Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1.

Таблица 1.

$\alpha$ [°]	2	3	4	5
$k_{my}$	1,84	1,54	1,27	0,99
$k_{cy}$	1,42	1,31	1,23	1,14

## Влияние на дължината на стрелата (максималния обсег $L$ )

Таблица 2.

$L$ [m]	55	50	45	40	35
$k_{my}$	1,8	2,02	2,31	2,58	2,87
$k_{cy}$	1,86	1,73	1,62	1,5	1,36

$G_n=13750kg$ ,  $L_1=15,8m$ ,  $B=3,8m$ ,  $G_6=60,8t$ ,  $G_c=5880kg$ ,  $G_k=9487kg$ ,  $\alpha=2^\circ$

## Влияние на височината на кулата (максималната височина на вдигане на товара $H$ )

Таблица 3.

$H$ [m]	24	30	35,8	41,8
$G_k$ [kg]	7564	9487	11346	13269
$k_{my}$	1,61	1,46	1,32	1,18
$k_{cy}$	1,37	1,29	1,20	1,12

$H$ [m]	47,8
$G_k$ [kg]	15128
$k_{my}$	1,02
$k_{cy}$	1,03

## Реални коефициенти на устойчивост

В действителност при увеличаване на дължината на стрелата (увеличаване на максималния обсег  $L$ ) се увеличава и масата на противовтежестта  $G_n$ , а се намалява обсега  $L_1$ . При увеличаване на височината на кулата (увеличаване на височината на вдигане  $H$ ) се увеличава масата на баласта  $G_6$  и базата на крана  $B$ . Затова са направени изчисления за същия кран (SAEZ), като се вземат в предвид горните условия. Резултатите са дадени в табл.4.

Таблица 4

$H$ [m]	$L$ [m]	55	50	45
24	$G_6$ [t]	45,6	45,6	45,6
	$G_n$ [kg]	13750	13200	12350
	$B$ [m]	3,8	3,8	3,8
	$L_1$ [m]	15,8	18	21
	$k_m$	1,56	1,5	1,35
	$k_c$	1,75	1,08	1,65
30	$G_6$ [t]	60,8	60,8	60,8
	$G_n$ [kg]	13750	13200	12350
	$B$ [m]	3,8	3,8	3,8
	$L_1$ [m]	15,8	18	21
	$k_m$	1,8	1,71	1,53
	$k_c$	1,86	1,8	1,77
35,8	$G_6$ [t]	60,8	60,8	60,8
	$G_n$ [kg]	13750	13200	12350
	$B$ [m]	4,5	4,5	3,8
	$L_1$ [m]	15,8	18	21
	$k_m$	2,18	2,04	1,53
	$k_c$	1,78	1,72	1,77
41,8	$G_6$ [t]	76	76	76
	$G_n$ [kg]	13750	13200	12350
	$B$ [m]	4,5	4,5	4,5
	$L_1$ [m]	15,8	18	21
	$k_m$	2,48	2,04	2,04
	$k_c$	1,85	1,72	1,78
47,6	$G_6$ [t]	121,6	121,6	121,6
	$G_n$ [kg]	13750	13200	12350
	$B$ [m]	4,5	4,5	4,5
	$L_1$ [m]	15,8	18	21
	$k_m$	3,65	3,34	2,92
	$k_c$	2,21	2,17	2,18

## Коефициенти на устойчивост за кранове с различна товароподемност

Направени са изчисления на коефициентите на устойчивост за трикрана с обхват  $L=35m$  и товароподемност  $Q=2,5, 5$  и  $8t$  (FM Gru; Potain; SAEZ). Височините на вдигане са с близки стойности, съответно: 42, 40,8 и 50,6 m. Резултатите са дадени в табл.5.

Таблица 5.

$Q$ [t]	2,5	5	8
$L$ [m]	35	35	35
$H$ [m]	42	40,8	50,6
$k_{my}$	2,03	2,24	1,44
$k_{cy}$	1,45	1,94	1,15

В табл. 6 са дадени резултатите от изчисленията на три крана с товароподемност  $Q=5,8$  и  $10 t$  и обхват  $L=55m$  (Liebherr; Potain; SAEZ).

Таблица 6.

$Q$ [t]	5	8	10
$L$ [m]	55	55	55
$H$ [m]	50,6	55,8	54,2
$k_{my}$	3,62	3,26	1,77
$k_{cy}$	2,04	1,86	1,49

## Изводи

1. При увеличаване на дължината на стрелата (обхвата на крана  $L$ ) и неизменящи се маса на противотежестта  $G_n$  и обсег с максимална товароподемност  $L_1$ , коефициентите на устойчивост  $k_{my}$  и  $k_{cy}$  намаляват (табл.1). При  $L=40,45$  и  $50m$   $k_{my}>k_{cy}$ , а при  $L=55m$ ,  $k_{my}<k_{cy}$ .
2. При увеличаване на височината на кулата (височината на вдигане на товара  $H$ ) и неизменящи се маса на баласта  $G_b$  и база  $B$ , коефициентите на устойчивост  $k_{my}$  и  $k_{cy}$  намаляват (табл.2). При  $H=24,30,35,8$  и  $41,8m$   $k_{my}>k_{cy}$ , а при  $H=47,6m$   $k_{my}<k_{cy}$ .
3. При увеличаване на наклона на терена  $\alpha$  коефициентите на устойчивост намаляват, като при  $\alpha=5^\circ$  те стават по-малки от допустимите (табл.3).
4. При увеличаване на дължината на стрелата (обхвата  $L$ ), но съответно увеличаване на масата на противотежестта  $G_n$  и намаляване на обсега  $L_1$ , коефициентите на устойчивост  $k_{my}$  и  $k_{cy}$  се увеличават (табл.4). Това може да се обясни с по-големия коефициент на сигурност при кранове с по-голям обхват.
5. При увеличаване на височината на кулата и съответно увеличаване на масата на баласта  $G_b$  и базата на крана  $B$ , коефициентите на устойчивост  $k_{my}$  и  $k_{cy}$  се увеличават (табл.4). Това също се обяснява с по-големия коефициент на сигурност при кранове с по-голяма височина. При  $H=24$  и  $30m$   $k_{my}>k_{cy}$ , а при  $H=35,8, 41,8$  и  $47,6m$  –  $k_{my}<k_{cy}$ .
6. При кранове с различна товароподемност  $Q$ , но с еднакъв обхват  $L$  и еднаква височина на вдигане  $H$  няма определена зависимост за коефициентите на устойчивост (табл.5 и табл.6).

## Литература

- Дивизиев, В.Й..Основи на товароподемните машини. Техника, София, 1986
- Заленский, В.С., Мовчан, Ф.Ф. Подъемно-транспортные и строительные машины. Госстройиздат, Москва, 1957
- Шейретов, Х.К.. Ръководство за проектиране на кула кранове. МГУ, София, 2008
- FM Gru 1035 CTY – проспект
- Liebherr masblatt turmdrehkran 180.1 HC – проспект
- Potain MDT 178 – проспект
- SAEZ TL55 – проспект

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