

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.

$$M_{уд} = G_{хч} \cdot l_{хч} + G_{б} \cdot l_{б} + G_{к} \cdot l_{к} + G_{кон} \cdot l_{кон} + G_{н} \cdot l_{н} + G_{ен} \cdot l_{ен} \quad [\text{KN.m}]$$

$$M_{обр} = G \cdot l_G + G_o \cdot l_{кол} + F_{ин} \cdot l_Q + G_c \cdot l_c + (P_{em} + F_u) h_Q + P_{ек} \cdot h_k \quad [\text{KN.m}]$$

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

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

Q [KN] – максимална товароподемност на крана;

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

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

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

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

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

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

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

n [min⁻¹] – честота на въртене на крана.

$$P_{em} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN} \\ (k_a = 1,2 \quad k_3 = 1)$$

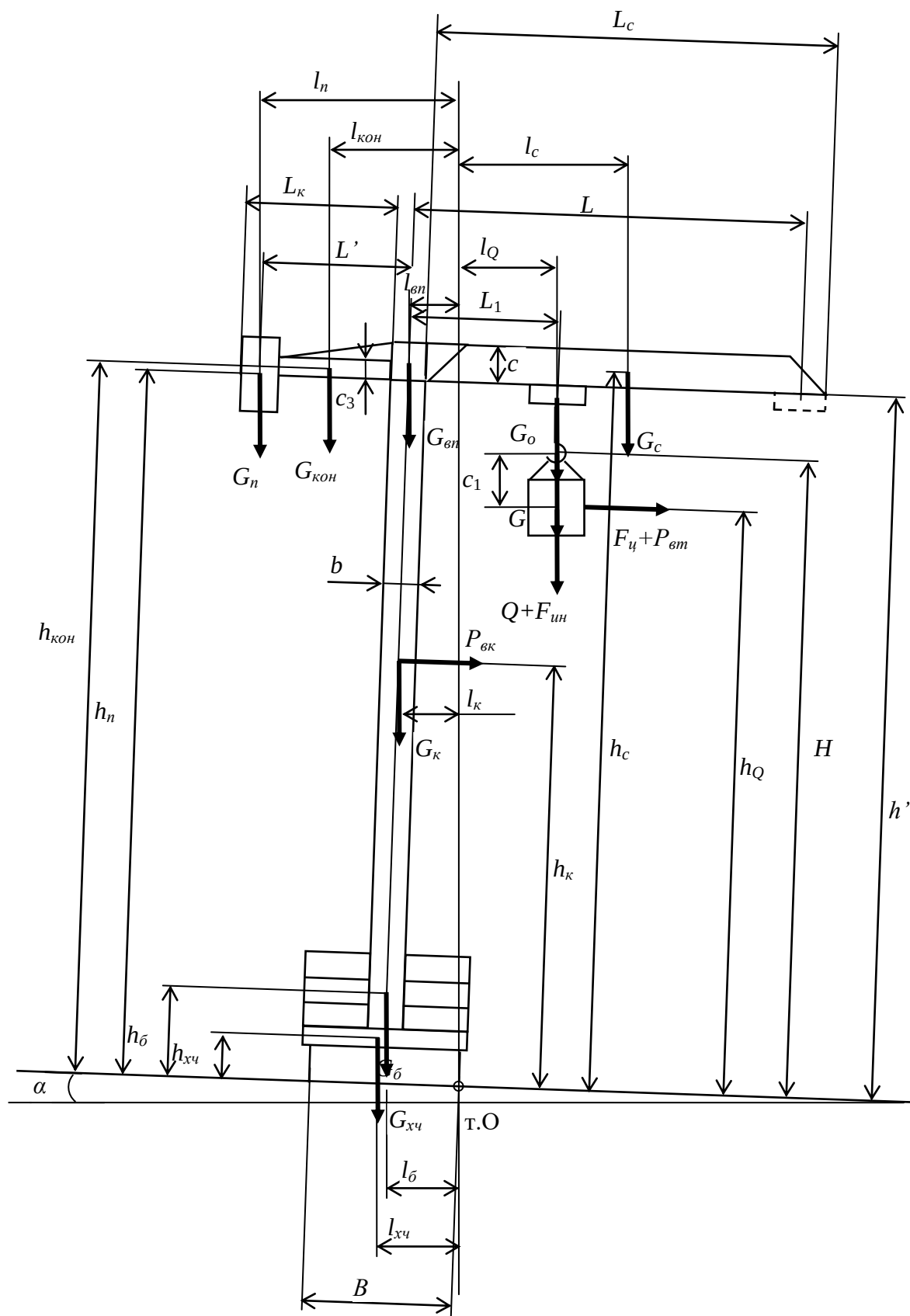
$$P_{ек} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN} \\ (k_a = 1,4 \quad k_3 = 0,4)$$

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

$p = 0,25 \text{ KN/m}^2$ – 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 [m²].

$L_c = L + 0,3$ - дължина на стрелата

$h' = H + 0,6$

$h_{кон} = h' + \frac{c_3}{2}$

$h_n = h'$

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

$h_Q = H - c_1$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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;

α – наклон на терена

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

$k_{cy} = \frac{M'_{y\delta}}{M'_{обр}}$, където:

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

$M'_{обр}$ – обръщателен момент при определяне на собствената устойчивост на крана;

$M'_{y\delta} = G_{хч} \cdot l'_{хч} + G_{\delta} \cdot l'_{\delta} + G_k \cdot l'_k +$
 $+ G_{ен} \cdot l'_{ен} + G \cdot l'_G + G_o \cdot l'_{кол} + G_c \cdot l'_c$
 [KN.m]

$M'_{обр} = G_{кон} \cdot l'_{кон} + G_n \cdot l'_n + P'_{ек} \cdot h_k$
 [KN.m]

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

$l'_{хч} = l_{хч}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$P'_{ек} = S_m \cdot k_a \cdot k_z \cdot p'$, 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) :

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

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

Влияние на наклона на терена α

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.

α [°]	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 обseg 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 обseg L) се увеличава и масата на противовтежестта G_n , а се намалява обsegа 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 α 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