

МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ КОЕФИЦИЕНТА НА УСТОЙЧИВОСТ НА ХИДРАВЛИЧНИТЕ ЕДНОКОФОВИ БАГЕРИ ПО ВРЕМЕ НА РАБОТА

Иван Минин

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: minin@dir.bg

РЕЗЮМЕ. Създадена е методика за определяне на коефициента на устойчивост на хидравличните еднокофови багери. Разгледани са най-опасните положения на багера по време на работа - при копаене и при въртене на горния строеж с пълна кофа. Изведени са зависимостите за определяне на коефициента на устойчивост. За създаване на методиката са използвани конструкциите на хидравличните еднокофови багери тип „O&K RH 200 C” и ЭО-6124.

METHODOLOGY FOR DETERMINATION THE COEFFICIENT OF RESISTANCE OF HYDRAULIC SHOVEL DREDGERS WHILE IN USE

Ivan Minin

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: minin@dir.bg

ABSTRACT. It was established a technique for determining the coefficient of resistance of hydraulic shovel dredgers. The most dangerous situations of the excavator at work are reviewed - while digging and rotating of upper construction with a full bucket. Dependencies are derived to determine the coefficient of resistance. To create a methodology there are used the designs of hydraulic shovel dredgers type "O & K RH 200 C" and EO-6124.

Под статична устойчивост на багера се разбира способността му да стои стабилно върху ходовия механизъм при работа или в движение. Статичното изчисляване на багерите се извършва при конструирането им и при експлоатацията в следните случаи:

- когато вместо стандартна кофа се използва кофа с по-голям обем;
- при замяна на работния орган с друг нехарактерен за модела;
- когато машината работи в тежки условия.

Като критерий за устойчивостта на багера служи т.н. коефициент на устойчивост k_y , който представлява отношение на сумата на моментите на задържащите сили $\sum M_Z$ и сумата на моментите на обръщащите $\sum M_O$.

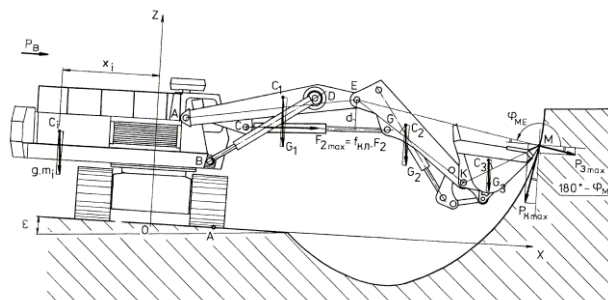
$$k_y = \frac{\sum M_Z}{\sum M_O} \geq 1,05 \div 1,2 \quad (1)$$

Работният цикъл на еднокофовите багери се състои от следните операции: копаене, преместване на напълнената кофа до мястото на разтоварване, което става чрез завъртане на машината с пълна кофа, след което следва разтоварване и връщане на кофата до забоя. След като багерът изкопае и натовари скалната маса, която се намира в обсега на действие на работния му орган, той се премества по-близо до забоя. От гледна точка на устойчивостта, най-опасни са случаите, когато багерът копае и завърта горния си строеж с пълна кофа.

Статична устойчивост по време на копаене

Най опасна от гледна точка на устойчивостта на багера е ситуацията описана по следния начин (Фиг.1):

- багерът е разположен върху наклонена площадка с максимален работен наклон, напречно на гъсеничната ходова платформа – в това направление опорната база е минимална и е равна на α ;
- работният орган е разположен напречно на гъсеничната ходова платформа (по посока на низходящия наклон на площадката), а спрямо забоя положението му е такова, че силата на копаене P_K и реакцията на забоя P_3 , както и теглата на елементите на работния орган, разположени пред линията на обръщане, създават максимален обръщащ момент спрямо тази линия;
- максимално допустимото ветрово натоварване действа по посока на низходящия наклон.



Фиг. 1. Сили действащи на багера при копаене

С багера може да бъде свързана пространствена Декартова координатна система, ориентирана по следния начин:

- ос OY е насочена по посока на напредване на багера към забоя и съвпада с надлъжната ос на гъсеничната ходова платформа;

- ос OX е насочена напречно на гъсеничната ходова платформа (по направление на тази ос е низходящият наклон на работната площадка);

- ос OZ съвпада с оста на въртене на горният строеж (платформата).

Пълният задържател момент M_Z се създава от косинусовите компоненти на теглата на всички елементи на багера, разположени зад линията на обръщане от страна на противотезестта.

Пълния обръщател момент M_O се създава от перпендикулярните и успоредните на работната площадка компоненти на силата на копаене и реакцията на забоя, косинусовите компоненти на теглата на всички елементи на багера, разположени пред линията на обръщане от страна на работния орган (включително теглото на материала в кофата), синусовите компоненти на теглата на всички елементи на багера и ветровото натоварване.

Линията на обръщане за описаната ситуация минава през външните реборди на ролките на разположените от страна на забоя вериги на ходовия механизъм (т. О на фиг.1).

Багерът може да бъде разделен на три относително самостоятелни конструктивно обособени части: работен орган (включващ стрела, ръка и кофа), гъсенична ходова платформа и горен строеж. Необходимо е да бъдат известни масите на всички елементи, които ги изграждат, както и координатите на масовите им центрове във вече дефинираната координатна система $OXYZ$.

Обръщател и задържател моменти, създавани от гъсеничната ходова платформа

В процес на копаене гъсеничната ходова платформа остава неподвижна. Спрямо линията на обръщане, успоредна на ос OY и отстояща от нея на разстояние a , обръщател и задържател моменти могат да се пресметнат по формулите:

$$M_{O1} = g \sum_{i=1}^{n_1} m_i (x_i - a) \cdot \cos \varepsilon + \sum_{i=1}^{n_1+n_2} m_i \cdot z_i \cdot \sin \varepsilon, Nm. \quad (2)$$

$$M_{Z1} = g \sum_{i=1}^{n_1} m_i (a - x_i) \cos \varepsilon, Nm, \quad (3)$$

където: n_1 е броят на елементите на ходовата платформа, за чиито абсциси е изпълнено условието $x_i > a$;

n_2 - броят на елементите на ходовата платформа, за чиито абсциси е изпълнено условието $x_i < a$;

x_i, z_i са абсцисите и апликатите на масовите центрове на елементите с маса m_i .

Обръщател и задържател моменти, създавани от горния строеж на багера

При описаната ситуация горният строеж на багера е разположен напречно на ходовата платформа така, че надлъжната му ос съвпада с координатната OX . Преобръщателният и задържател момент са съответно:

$$M_{O2} = g \left[\sum_{i=1}^{n_1} m_i (x_i - a) \cdot \cos \varepsilon + \sum_{i=1}^{n_1+n_2} m_i \cdot z_i \cdot \sin \varepsilon \right] \cdot Nm. \quad (4)$$

$$M_{Z2} = g \sum_{i=1}^{n_1} m_i (a - x_i) \cos \varepsilon, Nm. \quad (5)$$

Обръщател и задържател моменти, създавани от силата на копаене и теглото на работния орган на багера

Очевидно най-голям относителен дял в стойността на пълния обръщател момент има тази част, която се създава от работния орган. Това е така, защото към него са приложени силата на копаене и реакцията на забоя, както и теглата на изграждащите го елементи – ръка, стрела и кофа (с материал). В процеса на копаене приложните точки на тези сили изменят координатите си в пространството, което води до промяна на големината на моментите им спрямо линията на обръщане. Благодарение на своите три степени на свобода работният орган може да заема неограничен брой положения в работната си област и между тях трябва да се определи онова положение, при което обръщателният момент, създаван от силата на копаене, реакцията на забоя и теглата на елементите на работния орган, е максимален.

Максималната стойност на този момент се определя от следните величини:

- стойностите на координатите x_M и z_M на режещия ръб на кофата – приложна точка на силата на копаене и реакцията на забоя, и координатите на приложните точки на теглата на ръката, стрелата и кофата. Всички зависят от положението на буталните пръти (ходовете S_1, S_2 и S_3) съответно на хидравличните цилиндри $Ц_1, Ц_2$ и $Ц_3$;

- големината на активната сила F_2 , развивана от цилиндъра $Ц_2$, чрез който се осъществява процеса на копаене.

Цилиндърът $Ц_1$ изменя наклона на стрелата, с което се извършва подаване на ръката с кофата към забоя след изкопаване на поредния блок стружки.

Цилиндърът $Ц_2$ осигурява копаене по дъговидна траектория с център т.Е и радиус ЕМ, при което от забоя се снемат стружки с постоянна широчина b (равна на широчината на кофата) и променлива дебелина δ , зависеща от поредността на стружката. Чрез този цилиндър се извършва процесът на копаене. Силата F_2 , развивана от него, създава в точката на контакт на режещия ръб на кофата със забоя (точка М) сила на

копаене P_K , насочена по тангентата на траекторията на копаене по посока на движение на работния орган.

Цилиндърът Π_3 задава ъгъл на рязане, който остава постоянен в процеса на копаене (в рамките на времето за снемане на една стружка). Положението на неговия бутален прът определя разстоянието EM , което при постоянен ъгъл на рязане се запазва неизменно.

В процеса на копаене е възможно кофата да опре в непреодолимо препятствие в забоя. Тогава цилиндърът Π_2 развива максимална бутална сила F_{2MAX} , по-голяма от номиналната F_2 и лимитирана от настройката на вградените в хидравличната система предпазно-преливни клапани. Тази сила се определя от израза:

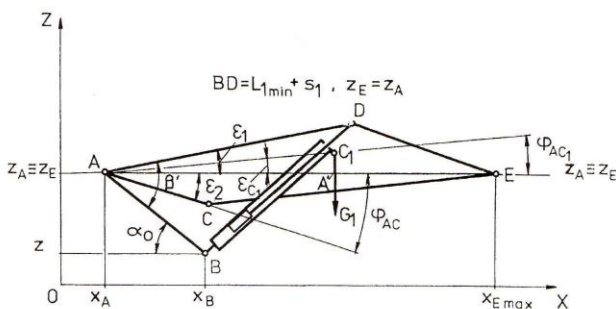
$$F_{2MAX} = k_K \cdot F_2 \cdot N, \quad (6)$$

където коефициентът k_K отчита налягането, на което тези клапани са настроени.

Силата F_{2MAX} създава съответно максимална сила на копаене P_{KMAX} и максимална реакция на забоя P_{3MAX} .

Чрез комбинация от премествания S_1, S_2 и S_3 на хидравличните цилиндри Π_1, Π_2 и Π_3 могат да бъдат осъществени неограничен брой положения на режещия ръб на кофата в работното поле, за всяко от които стойностите на P_{KMAX} и P_{3MAX} са различни. Изследването на разпределението на силите и големината на обръщачия момент за всяко едно от тях е свързано с голям обем изчислителна работа. С цел свеждането им до минимум е необходимо да се дефинира и обоснове онова положение на работния орган, при което обръщачият момент от приложените върху него сили е най-голям.

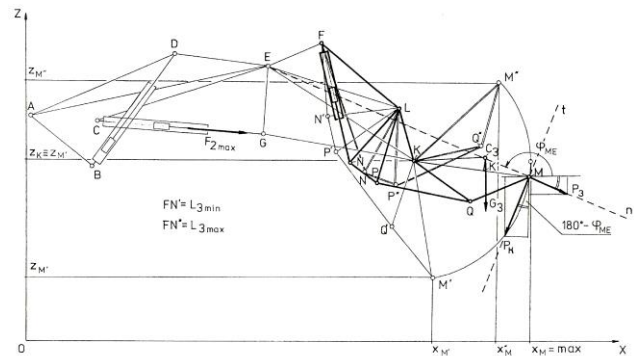
Това положение ще бъде постигнато когато стрелата е така разположена, че ръката и кофата са максимално изнесени към забоя, а от тук и най-голям обръщач момент от силата на копаене и гравитационните сили (Фиг.2).



Фиг. 2. Положение на стрелата на багера при което се създава максимален обръщач момент

Положението на ръката на багера се определя спрямо описаното положение на стрелата, като се приема за фиксирано при по нататъшно преместване (положението на точки С и Е е еднозначно определено и техните

координати за известни). При фиксирана ръка и стрела се определя положението на кофата, при което обръщачият момент от силите на копаене, реакцията на забоя и теглата на стрелата, ръката и кофата с материал е максимален (Фиг.3).



Фиг. 3. Положение на работния орган на багера по време на копаене при което се създава максимален обръщач момент

При това положение максималната сила на копаене може да бъде определена. След решаване уравнението на равновесие на системата и след приемане на някои закръгления се получава:

$$P_{KMAX} \approx -G_3 = G_K + G_M \quad (7)$$

Това означава, че постоянната по големина цилиндрова сила F_{2MAX} , развивана от цилиндъра Π_2 , се разпределя за силата на копаене P_{KMAX} в т.М и за уравнивяване на теглата на ръката G_2 и кофата G_3 и теглото на материала в кофата G_M , което е променливо: най-малко ($G_M = 0$) в началото и най-голямо ($G_M = \frac{g \cdot q \cdot \rho \cdot k_H}{k_P}$) в края на загребването. В последната формула q е обемът на кофата на багера, ρ - плътността на материала, k_H - коефициентът на напълване, k_P - коефициентът на разбухване на материала.

Тогава обръщачият момент, създаван от работния орган спрямо т.А може да бъде определен по формулата:

$$M_{PO} = P_{KMAX} \left[\begin{aligned} & \left(-\cos \varphi_{ME} + \psi \sin \varphi_{ME} \right) (x_M - a) - \\ & \left(\sin \varphi_{ME} + \psi \cos \varphi_{ME} \right) z_M \end{aligned} \right] + \\ + G_1 \left[\cos \varepsilon (x_{C_1} - a) - \sin \varepsilon \cdot z_{C_1} \right] + \\ + G_2 \left[\cos \varepsilon (x_{C_2} - a) - \sin \varepsilon \cdot z_{C_2} \right] + \\ + G_3 \left[\cos \varepsilon (x_{C_3} - a) - \sin \varepsilon \cdot z_{C_3} \right], Nm \quad (8)$$

Пълни обръщач и задържачи моменти

Пълният обръщач момент може да бъде определен съгласно израза:

$$\sum M_O = M_{O1} + M_{O2} + M_{PO} + M_B, Nm, \quad (9)$$

където M_B е обръщач момент от ветровото натоварване, което се пресмята по формулата:

$$M_B = P_D \cdot F_H \cdot z_H, Nm, \quad (10)$$

където P_D, Pa е динамично налягане на вятъра, F е площта на багера по посока на вятъра, а z_H е апликацията на геометричния център на F .

Пълният задържач момент се определя от израза:

$$\sum M_Z = M_{Z1} + M_{Z2}, Nm. \quad (11)$$

Коефициентът на сигурност (устойчивост) на багера при работа се определя съгласно израз (1).

Статична устойчивост при въртене на горния строеж

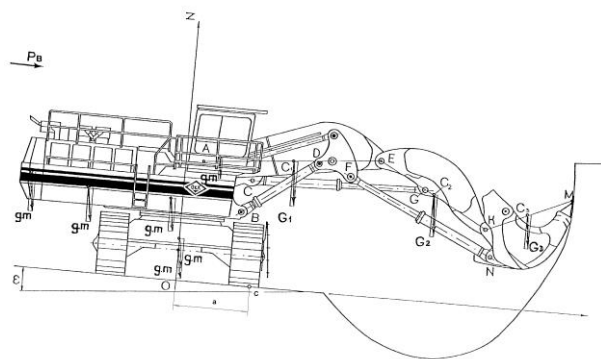
След изкопаване на стружката и излизане на пълната кофа от забоя, горният строеж на багера се завърта към точката на разтоварване. В най-общия случай периодът на въртене се състои от време за ускоряване, време за равномерно движение и време за спиране.

През времето на равномерно движение горният строеж (заедно с работния орган) се върти с максимална ъглова скорост и върху него в равнината XOZ освен гравитационните сили действат и центробежни сили, създаващи допълнителен обръщач и задържач момент.

Най-опасна за устойчивостта на багера ситуация през време на въртенето на горния строеж възниква когато багерът е разположен напречно върху наклонена работна площадка, горният строеж се върти с максимална скорост, положението на работния орган в равнината XOZ е такова, че обръщачият момент от компонентите на теглата на елементите на работния орган и от действащите върху тях центробежни сили е максимален (Фиг. 4). Освен това ветровото натоварване действа по посока на низходящия наклон на площадката. При тези условия линията на обръщане, минава през външните реборди на ролките на разположената от страна на забоя верига на ходовия механизъм (т. А на фиг.4).

Обръщач и задържачи моменти създавани от гъсеничната платформа

В процеса на въртене на горния строеж, гъсеничната ходова платформа остава неподвижна. Спрямо линията на обръщане, успоредна на ос OY и отстояща от нея на разстояние a , обръщачият момент M_{O1} се пресмята по формула (2), а задържачият момент по зависимост (3).



Фиг. 4. Положение на багера с максимален обръщач момент при въртене на горния строеж

Обръщач и задържачи моменти създавани от горния строеж на багера

При описаната ситуация горният строеж е достигнал положение, напречно на ходовата платформа, така че надлъжната му ос съвпада с координатната ос OX . Спрямо линията на обръщане, успоредна на ос OY и отстояща от нея на разстояние a , обръщачият и задържачият моменти се определят съответно от изразите:

$$M_{O2} = g \sum_{i=1}^{n_1} m_i [(x_i - a) \cdot \cos \varepsilon + z_i \cdot \sin \varepsilon] + \omega_{MAX}^2 \sum_{i=1}^{n_1} m_i \cdot x_i \cdot z_i, Nm. \quad (12)$$

$$M_{Z2} = g \sum_{i=1}^{n_1} m_i (a - x_i) \cos \varepsilon + \omega_{MAX}^2 \sum_{i=1}^{n_1} m_i \cdot x_i \cdot z_i, Nm \quad (13)$$

където: $\omega_{MAX}, rad / s$ е максималната ъглова скорост на въртене на горния строеж.

Обръщач и задържачи моменти, създавани от работния орган на багера

В процеса на въртене на горния строеж върху стрелата са приложени нейното тегло G_1 и центробежната сила Φ_1 , чиято големина и приложна точка зависят от положението на стрелата в равнината XOZ . Тези сили създават обръщач момент, който може да бъде определен от израза:

$$M_{OC} = G_1 (x_{C1} \cos \varepsilon + z_{C1} \sin \varepsilon) + \Phi_1 \cdot z_{S1}, Nm, \quad (14)$$

където големината на центробежната сила е:

$$\Phi_1 = g \cdot l_{CTP} \cdot \omega_{MAX}^2 \cdot x_{S1}, N \quad (15)$$

В процеса на въртене на горния строеж върху ръката са приложени нейното тегло G_2 и центробежната сила Φ_2 , чиято големина и приложна точка зависят от положението на стрелата в равнината XOZ . Тези сили създават обръщач момент, който може да бъде определен от израза:

$$M_{OP} = G_2 (x_{C2} \cos \varepsilon + z_{C2} \sin \varepsilon) + \Phi_2 \cdot z_{C2}, Nm \quad (16)$$

където големината на центробежната сила е:

$$\Phi_2 = g \cdot l_P \cdot \omega_{MAX}^2 \cdot x_{S2}, N. \quad (17)$$

Аналогично при въртене на горния строеж, върху кофата с материал са приложени нейното тегло G_3 и центробежната сила Φ_3 , чиято големина и приложна точка зависят от положението на стрелата в равнината XOZ . Тези сили създават обръщащ момент, който може да бъде определен от израза:

$$M_{K+M} = G_3 (x_{C3} \cos \varepsilon + z_{C3} \sin \varepsilon) + \Phi_3 \cdot z_{S3}, Nm \quad (18)$$

където големината на центробежната сила е:

$$\Phi_3 = \frac{G_3}{g} \omega_{MAX}^2 \cdot x_{S3}, N. \quad (19)$$

Пълен обръщащ и задържащи моменти създавани от работния орган на багера и коефициент на сигурност

Пълният обръщащ момент се определя от израза:

$$\sum M_O = M_{O1} + M_{O2} + M_{OC} + M_{OP} + M_{K+M} + M_B, Nm \quad (20)$$

където M_B е обръщащ момент от ветровото натоварване, което се пресмята по формула (10).

Пълният задържащ момент се определя от израза:

$$\sum M_Z = M_{Z1} + M_{Z2}, Nm. \quad (21)$$

Коефициентът на сигурност на багера при въртене на горния строеж се определя съгласно израз (1).

Изводи

В методиката са разгледани две от най-опасните положения на багера по време на работа. Положението на работния орган на багера зависи от положението на буталните пръти на трите двойки хидравлични цилиндри задвижващи стрелата, ръката и кофата. Следователно положенията на работния орган на багера при работа може да бъде различно от разгледаните. Използвайки методиката, може да бъде създадена компютърна програма, която да изчислява коефициентът на устойчивост при различни положения на работния орган и да определя най-критичната ситуация за багера по време на работа.

Литература

Беркман, И. Л. и др. 1971. Одноковшовые экскаваторы и самоходные краны с гидравлическим приводом, М., Машиностроение.
Technisches Handbuch Erdbewegung. Ausgabe 1985, Liebherr-International AG, 1985.