

А.С. Кадыров, А.А. Ганюков,  
Б.Д. Сулеев, Б.К. Курмашева,  
Э.Ж. Кызылбаева

Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан  
(E-mail: [sgn2002@mail.ru](mailto:sgn2002@mail.ru), [culeev\\_bahtiyar@mail.ru](mailto:culeev_bahtiyar@mail.ru),  
[happiness\\_b@mail.ru](mailto:happiness_b@mail.ru), [elvirakiz@mail.ru](mailto:elvirakiz@mail.ru))

## «Топырақтағы қабырға» әдісімен құрылыс кезінде қолданылатын экскаваторлар конструкциясының беріктігіне есептеу

**Аңдатпа.** Құрылыс технологияларының қарқынды дамуы жағдайында, құрылыс жұмыстарында пайдаланылатын машиналар мен механизмдердің жұмыс режимдерін мұқият ескеру қажет. «Топырақтағы қабырға» әдісімен құрылыс жұмыстарын жүргізу кезінде жұмыс істейтін негізгі машиналардың бірі, экскаватор болып табылады. Экскаватордың жұмыс істеуі барысында, оның механизмдеріне айтарлықтай әсер ететін әртүрлі жүктемелер пайда болады. Мақала экскаватор құрылымының беріктігін автоматтандырылған есептеу үшін алгоритмді әзірлеу мәселесіне арналған. Есептеу үшін экскаватордың жұмыс режимі ұсынылған, сазды тикостропты ерітіндінің ортасында күректің қозғалысына қарсылық күштері ағым режимдеріне байланысты анықталған, мысалы: бингамдік, шведтік, псевдоламинарлы.

Гидравликалық экскаваторды кинематикалық және динамикалық есептеу әдістері қарастырылған, экскаватордың жобалық схемасы ұсынылған. Экскаватор механизмін қуатты есептеу тепе-теңдік теңдеулер жүйесін шешу арқылы жүзеге асырылады. Күштер мен моменттің есебі ұсынылған.

**Түйін сөздер:** экскаватор, тикостропты ерітінді, ағым режимі, топса, кедергі күш, айналу моменті, тепе-теңдік.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2020-133-4-61-69>

**Кіріспе.** «Топырақтағы қабырға» салу тәсілі топыраққа тереңдетілген түрлі мақсаттағы құрылыстарды салу үшін қолданылады. Тереңдетілген құрылыстың қабырғалары тік қабырғалары топыраққа гидростатикалық қысым жасайтын және ордың бекіту рөлін атқаратын сазды ерітіндінің көмегімен құлаудан ұсталатын тар және терең орларда тұрғызылады. Топырақта қазылғаннан кейін оларды жиналмалы немесе монолитті темір бетонмен толтырады. Осылайша, топырақта жер асты құрылыстарының көтергіш қабырғалары қалыптасады. «Топырақтағы қабырға» әдісі бірқатар артықшылықтарға ие және жер асты құрылыстарын салуда көбірек қолдануды табады.

Экскаваторлардың және басқа да механизмдердің жұмыс жабдықтарының беріктігін есептеу, жобалау процесінің қажетті құрамдас бөлігі болып табылады. Бұл есептің міндеті қандай да бір жетекші түйіннің берілген жағдайы кезінде жұмыс жабдығы механизмінің барлық түйіндерінің координаттарын есептеу және механизм түйіндеріндегі күш пен кернеуді анықтау болып табылады. Бірақ механизм жағдайы сызықты емес алгебралық теңдеулермен сипатталады және есептеу жұмыс жабдығының әртүрлі жағдайлары үшін бірнеше рет қайталануы тиіс.

**Зерттеу әдістері.** Бұл есептеулерде белгілі бір қиындықтар туғызады. Классикалық тәсілде кинематикалық және күштік есептеу графикалық және графоаналитикалық әдістермен орындалады, олар қанағаттанарлық дәлдік береді, бірақ бұл әдістер еңбек сыйымды және кейде күрделі механизмдер үшін қолданылмайды. Бұл жерде механизмнің есептік жағдайын таңдау, сыртқы жүктемелер мен күш-жігердің ең қолайсыз есептік үйлесімін таңдау, механизм элементтеріндегі кернеуді анықтау және қималарды таңдау кіретін автоматтандырылған есептеу

қажеттілігі пайда болады. Осы мақсаттар үшін келесі тәсіл қолданылды. Әрбір түйін жеке жергілікті координат жүйесінде сипатталады, содан кейін координаттардың жалпы жүйесінде үйлесімдік теңдеулері автоматты түрде қалыптасады, олардың шешімі барлық қызықтыратын сұрақтарға жауаптардан тұрады [1, 43-бет]. Бұл әдіс әмбебап болып табылады және кез келген топсалы механизмді есептеу үшін жарамды, оны электронды дербес есептеу машинасында (әрі қарай ЭДЕМ) есептеу бағдарламасы түрінде іске асыра отырып автоматтандыруға болады. Төменде экскаватор конструкциясын есептеу алгоритмінің сипаттамасы және ЭДЕМ -де өткізу беріледі.

**Материалды баяндау және зерттеу нәтижелері.** ЛОГ-9,12 экскаваторлардың жұмыс мүшелері (ЖМ) үлкен тығыздығы бар (2 т/м<sup>3</sup> дейін) сазды ерітіндіде жұмыс істейді, соның салдарынан конструкция, кесу күшінен түсетін жүктемеден басқа, сазды ерітіндіден қосымша жүктемелерді сынайды. Осы уақытқа дейін «топырақтағы қабырға» тәсілімен құрылысқа арналған экскаваторларды жобалау кезінде сазды ерітіндіден түсетін жүктемелерді есепке ала отырып, ЖМ-ін беріктікке есептеу жүргізілмеген. Осыған байланысты тиксторопты ерітіндінің жүктелуін және көшіру күшін ескере отырып, ЛОГ-9-12 экскаваторлардың ЖМ-нің беріктік параметрлерін анықтайтын тәуелділікті белгілеу қажеттілігі туындайды.

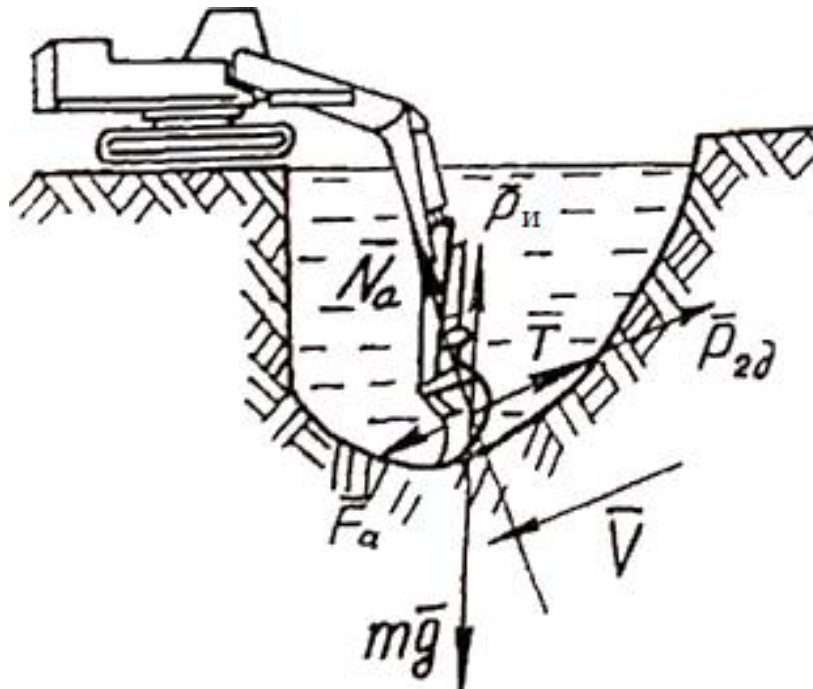
Тиксторопты сазды ерітіндісінде кері күректің қозғалысын қарастырайық. Экскаватордың ЖМ траекториясының еркін нүктесінде балшықты ерітіндідегі күректің біркелкі қозғалысы ауырлық күші  $\vec{m}g$ , итеретін күш  $\vec{P}_u$ , жұмыс мүшесінің белгілі бір жылдамдықпен қозғалуына негізделген кедергінің гидродинамикалық күші  $\vec{P}_{\text{сд}}$  және ерітіндідегі үйкеліс күші  $\vec{T}$  әсер етеді (1-сурет).

$$\vec{R}_{\text{кед}} = \vec{T} + \vec{P}_{\text{сд}} + \vec{P}_u + \vec{m}g \quad (1)$$

Кері күректің саз ерітіндісінде қозғалуы кезінде кедергінің күші, уақыттың әр сәтінде қозғалыс жылдамдығымен анықталады, күректің орналасу координатына және ерітіндінің тұтқырлығы және жылжудың шекті кернеуі сияқты физикалық параметрлеріне байланысты.  $R_{\text{кед}}$  сазды ерітіндісінде күрек қозғалысының кедергісінің күшін екі құрамдас бөлікке бөлуге болады:  $F_{\text{кед}}$  – кедергі күші, қозғалыс траекториясына қатысты;  $N_{\text{кед}}$  – кедергі күші, қозғалыстың қалыпты траекториялары:

$$\begin{aligned} F_{\text{кед}} &= T' + P'_{\text{сд}} + (P_u - mg)\cos a, \\ N_{\text{кед}} &= T'' + P''_{\text{сд}} + (P_u - mg)\sin a, \end{aligned} \quad (2)$$

мұндағы  $T'$  и  $P'_{\text{сд}}$  – үйкеліс күшінің тангенциальді құрамдастары және қарсы кедергі,  $N$ ;  
 $T''$  и  $P''_{\text{сд}}$  – кедергінің қалыпты құрамдастары,  $N$ .



Сурет 1 – Сазды ерітіндіде қозғалыс кезінде кері күрекке әсер ететін күштер.

Алғаш рет сазды ерітіндінің ортасында жұмыс істейтін машиналардың ЖМ-нің қозғалысына кедергі жасайтын күштерін анықтау бойынша бірқатар теориялық және эксперименталдық зерттеулерді А.С. Қадыров жүргізді [2]. Ерітінді қозғалысының әртүрлі режимдері үшін келесі тәуелділіктер белгіленді:

Швед ағыны тәртібі:

$$R_{кед} = F \frac{E_1 \cdot E_2 (\eta_1 \varepsilon_1)}{\left[ E_1 (1 - e^{t_0}) + E_2 \right] \cdot \eta_1 + t E_1 E_2} F_{бет} \quad (3)$$

Бингам ағыны тәртібі:

$$\begin{aligned} F_{кед} &= P_{zdx} + 2\tau_0 F_{кыылыс_x} + (mg - P_u) \cos \alpha, \\ N_{кед} &= P_{zdz} + 2\tau_0 F_{кыылыс_z} + (mg - P_u) \sin \alpha; \end{aligned} \quad (4)$$

Псевдоламинарлы ағыны тәртібі:

$$\begin{aligned} F_{кед} &= P_{zdx} + 2F_{кыылыс_x} \frac{\mu}{r} V_x + (mg - P_{выт}) \cos \alpha, \\ N_{кед} &= P_{zdz} + 2F_{кыылыс_z} \frac{\mu}{r} V_z + (mg - P_{выт}) \sin \alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

мұндағы  $P_{20} = C_o F_{\text{кылыс}} \rho \frac{V^2}{2}$ ,  $C_o$  – гидродинамикалық коэффициент;

$F_{\text{кылыс}}$  – миделдік қиылыс, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{бет}}$  – серпімділік деформация сыналатын беттің ауданы, м<sup>2</sup>;

$\eta$  – релаксациялық тұтқырлық;

$\epsilon_1$  – салыстырмалы деформация;

$E_1$  – бастапқы шартты-лездік жылжыту модулі, МПа;

$E_2$  – икемділік модулі, МПа;

$\sigma_o$  – қалдық деформациялар дамымайтын серпімділік шегі, МПа;

$t$  – уақыт, с;

$t_0$  – релаксация уақыты, с.

Жұмыс процесінде шөмішті сабының жағдайына байланысты итеретін күштің өзгеруі:

$$P_u = \gamma(fL + W_1) - \frac{\gamma fh}{\sin \alpha_0}. \quad (6)$$

мұндағы  $h$  шамасы уақыттың бастапқы сәтіндегі ерітінді деңгейін анықтайды;

$L$  – тұтқаның жалпы ұзындығы, м;

$W_1$  – шөміш көлемі, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – ерітіндінің үлес салмағы, кг/м<sup>3</sup>;

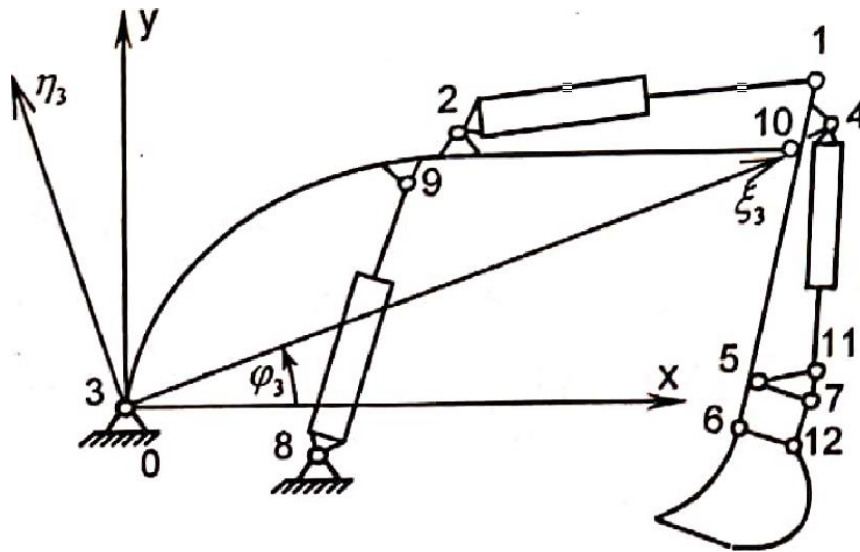
$f$  – саптың қимасының ауданы, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – күректің жағдайын анықтайтын бұрыш.

Осылайша, (3) өрнектер бойынша сазды ерітіндінің ортасында өзгермейтін әсер ететін ЖМ тұрақты жылдамдығымен қозғалыс кезінде кедергі күшін анықтауға болады. Гидравликалық экскаватордың кинематикалық және статикалық есебінің жалпы әдісін қарастырайық. 2-суретте  $m$  қатты денелерден және  $n$  топсалардан тұратын экскаватор механизмінің есептік сұлбасы көрсетілген. Механизмнің еріктік дәрежесінің саны келесідей анықталады:

$$N = 3m - 2n \quad (7)$$

Бұл жағдайда біз гидрожетек пен механизмнің өзара әрекеттесуін елемейміз. Механизмді сипаттау үшін қозғалмайтын негізбен байланысты  $O_x$  координаттарының жалпы жүйесі және денесінің әрбір  $m$ -мен байланысты  $O_i \xi_i \eta_i$  координаттарының жергілікті жүйелері ерікті түрде 1-ден  $m$ -ға дейін нөмірленеді, жылжымайтын негізде 0 нөмірі беріледі.  $i$ -дененің координаталарының жергілікті жүйесінің басы, денеге тиесілі топсалар таңдалады және де бұл топсаларға  $i$  нөмір беріледі.



Сурет 2 - Экскаватор механизмінің есептік сұлбасы.

Жазықтықтағы әрбір дененің жағдайы үш параметрмен анықталады –  $x_i, y_i$ ,  $Ox$  жүйесіндегі жергілікті координаттар жүйесінің басы және  $O_i, \xi_i$  және  $Ox$  осьтері арасындағы бұрыш  $\varphi_i$ . Егер  $p$  нөмірімен кейбір топсалар  $i$  және  $k$  денені жалғаса берсе, онда топсамен салынған екі байланыс шарты түрінде ұсынылуы мүмкін:

$$\begin{aligned} x_i + \xi_{ip} \cos \varphi_i - \eta_{ip} \sin \varphi_i &= x_k + \xi_{kp} \cos \varphi_k - \eta_{kp} \sin \varphi_k; \\ y_i + \xi_{ip} \sin \varphi_i - \eta_{ip} \cos \varphi_i &= y_k + \xi_{kp} \sin \varphi_k - \eta_{kp} \cos \varphi_k. \end{aligned} \quad (8)$$

Мұнда  $\xi_{ip}, \eta_{ip}$  - координаталардың  $i$ -ші және  $k$ -ші жергілікті жүйелеріндегі  $p$ -ші топсаның координаттары. 8 теңдеулер механизмнің барлық топсалары үшін жазылады және белгісіз  $x_i, y_i, \varphi_i (i = 1, \dots, m)$ . Жүйенің шешімі (8) механизмнің барлық түйіндерінің жағдайын анықтайды. Жүйенің шешімі үшін (8) келесі тәсіл қолданылды: бастапқы теңдеу арқылы көрінетін кейбір функция енгізіледі және бастапқы жүйенің шешіміне сәйкес нүктесінде экстремум бар. (8) теңдеулер жүйесін шешу міндеті сол кезде тұрып қалған экстремумды табу міндетімен алмастырылады. Экстремумды табу үшін екінші жеке туындыларды пайдаланатын Ньютон әдісі қолданылды, олар өте қарапайым және айнымалыларға ешқандай шектеу қойылмаған. Механизмнің жағдайын анықтағаннан кейін күш есебіне өтеді.

Экскаватор механизмі статикалық анықталатын конструкцияны көрсетеді және оның күштік есебі тепе-теңдік теңдеуі жүйесін шешуге әкеледі.

$$\sum \delta_{ik} X_k = -F_{ix}; \sum \delta_{ik} Y_k = -F_{iy}; \sum \delta_{ik} (A_{ik} Y_k - B_{ik} X_k) = -M_i; \quad (9)$$

мұндағы  $A_{ik} = \xi_{ik} \cos \varphi_i - \eta_{ik} \sin \varphi_i$ ,  $B_{ik} = \xi_{ik} \sin \varphi_i - \eta_{ik} \cos \varphi_i$ . арасындағы қашықтық проекциялары бірінші екі теңдеу - бұл координаталардың жалпы жүйесінің осінде  $i$ -денеге қоса берілген күштер сомаларының теңдеулері; үшінші-бастапқы топсаға қатысты осы күштердің моменттер сомаларының теңдеуі,  $X_k, Y_k$   $i$  - денеге тиесілі  $k$ -денеге реакцияның құрамдас бөліктері  $x, y; F_{ix}, F_{iy}, M_i$  -  $i$ -денеге қоса берілген сыртқы күштер проекцияларының қосындылары,  $x, y$  осьтері және бастапқы топсаға қатысты моменттер қосындысы. Теңдеулер жүйесін (9) матрицалық түрде ұсынуға болады

$$AX = -F, \quad (10)$$

мұндағы  $X = \{x_1, Y_1, X_2, Y_2, \dots, X_n, Y_n\}^T$  – топсадағы белгісіз реакциялардың векторы;

$F = \{F_{lx}, F_{ly}, \dots, F_{mx}, F_{my}, U_b, \dots, M_m\}^T$  – көшіруге кедергі күшін, әрбір түйіннің ауырлық күшін және кедергі күшін қамтитын сыртқы күштер векторы (3) - (6);

$A$  - механизмнің геометриялық сипаттамаларын және механизмге кіретін денелер байланыстарының шарттарын қамтитын  $m \times n$  матрицасы.

Жүйені шешу (10) түйіндердің топсаларында белгісіз реакциялар анықталады. Сызықты алгебралық теңдеулер жүйесі Гаусс әдісімен шешіледі. (10) теңдеуден топсадағы күштерді есептеуден кейін жұмыс жабдығы элементтерінің берілген қималарындағы кернеуді анықтауға көшуге болады. Экскаватор РО күрделі қарсылық жағдайында жұмыс істейді және алты ішкі күш-жігерді қабылдайды: бойлық күш, көлденең күштер, иілу сәттері, айналу сәті. Бағдарлама берілген қимадағы барлық ішкі күштерді есептеуді қарастырады, кернеу есептелетін қима жағдайы дене  $k$  нөмірімен, қима орталығының  $\xi_{st}, \eta_{st}$  координаттарымен  $k$  дене координаталарының жергілікті жүйесінде және  $\xi_k$  осі арасындағы  $\phi_{st}$  бұрыш пен қима жазықтығына нормальмен анықталады. Есептеулер формулалар бойынша жүргізіледі:

Қимадағы қалыпты күш

$$N = \sum \delta_{kj} [X_j \cos(\varphi_k + \varphi_{st}) + Y_j \sin(\varphi_k + \varphi_{st})]; \quad (11)$$

Қима жазықтығындағы иілу моменті

$$M_1 = \sum \delta_{kj} \{ [X_j (\xi_{st} - \xi_{kj}) + Y_j (\eta_{st} - \eta_{kj})] \sin \varphi_k + [X_j (\eta_{st} - \eta_{kj}) - Y_j (\xi_{st} - \xi_{kj})] \cos \varphi_k \}; \quad (12)$$

Жазықтақтан қатысты иілу моменті

$$M_2 = BP^0 |\cos(\varphi_k + \varphi_{st} - \varphi)| / 2; \quad (13)$$

Айналу моменті

$$M_{12} = BP^0 |\sin(\varphi_k + \varphi_{st} - \varphi)| / 2. \quad (14)$$

мұндағы  $P^0$  – қарастырылып отырылған орны үшін есептік күші,  $H$  -  $P^0$  есептік күші, экскаватордың шөмішінің енінің жартысына тең  $B/2$  қашықтықта, механизмнің параллель жазықтығына түсуі мүмкін.

Экскаваторлардың жебесі мен тұтқасы негізінен тік бұрышты қорапты қимадағы арқалық типті конструкциялары болып табылады. Мұндай конструкцияның беріктігі форманың өзгеруінің үлестік энергиясы гипотезасы бойынша анықталатын эквивалентті кернеу бойынша бағаланады:

$$\sigma_{экр} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (15)$$

мұндағы  $\sigma$  және  $\tau$  - қалыпты және жанама кернеулер, келесідей анықталады:



$$\sigma = \pm \frac{N}{F} \pm \frac{M_1 y}{J_x} + \frac{M_2 x}{J_y} \quad (16)$$

$$\tau = \pm \frac{M_{12}}{W_{кр}} \quad (17)$$

мұндағы  $F$  – қима ауданы, м<sup>2</sup>;

$W_{кр}$  – айналдыруға қарсылық моменті, кгм<sup>2</sup>

$J_x, J_y$  – қима инерция моменті, кгм<sup>2</sup>.

Қорытынды. Жоғарыда сипатталған барлық рәсімдер сазды ерітіндіде жұмыс істейтін экскаватордың беріктігін есептеудің қолданбалы бағдарламалары пакетінің көмегімен жүзеге асырылады. Гидравликалық экскаваторды кинематикалық және динамикалық есептеу әдістері бойынша экскаватордың жобалық схемасы ұсынылған.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Кадыров А.С. Теория и расчет рабочих органов фрезерных и бурильных машин, применяемых при строительстве способом "стена в грунте": автореф. ... док. техн. наук. Москва, 1989.
2. Кадыров А.С., Нурмаганбетов А.С. Нагружение землеройных машин при работе в среде глинистого тиксотропного раствора. - Караганда: САНАТ. - 2007. – 151 с.

А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.Д. Сулеев, Б.К. Курмашева,  
Э.Ж. Кызылбаева<sup>1</sup>

*Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан*

#### Расчет на прочность конструкций экскаваторов работающих при строительстве способом «стена в грунте»

**Аннотация.** В условиях стремительно развивающихся технологий строительства необходимо более тщательно учитывать режимы работы машин и механизмов. Одной из основных машин, работающих при строительстве способом «стена в грунте», является экскаватор. В процессе работы экскаватора возникают различные нагрузки, оказывающие существенное влияние на его механизмы. Статья посвящена вопросу разработки алгоритма для автоматизированного расчета на прочность конструкции экскаватора. Для проведения расчета представлен режим работы экскаватора, определены силы сопротивления движению лопаты в среде глинистого тиксотропного раствора в зависимости от режимов течения, таких как: бингамовский, шведовский, псевдоламинарный.

Рассмотрены методы кинематического и динамического расчета гидравлического экскаватора, представлена расчетная схема экскаватора. Силовой расчет механизма экскаватора реализован путем решения системы уравнений равновесия. Представлен расчет сил и момента.

**Ключевые слова:** экскаватор, тиксотропный раствор, режим течения, шарнир, сила сопротивления, крутящий момент, равновесие.

**A.S. Kadyrov, A.A. Ganyukov, B.D. Suleev, B.K. Kurmasheva,  
E.ZH. Kyzylbaeva**

*Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan*

**Calculation of the structural strength of excavators working in the construction of the "wall in the ground" method**

**Abstract.** In a rapidly developing building technologies, the need to more carefully consider the modes of machines and mechanisms, one of the main machines working in the construction method "wall in the ground" is the excavator. During the operation of the excavator, various loads occur that have a significant impact on its mechanisms. The article is devoted to the development of an algorithm for automated calculation of the strength of the excavator structure. For the calculation presented mode of operation of the excavator identified forces of resistance to movement of the shovel in the medium of clay ticrostrepe mortar depending on the flow regimes, such as Bingham, shvedovskii, pseudolaminar.

There are presented methods of kinematic. The authors consider dynamic calculation of a hydraulic excavator and the design scheme of the excavator. The power calculation of the excavator mechanism is implemented by solving a system of equilibrium equations. There is presented calculation of forces and moment.

**Key words:** Excavator, thixotropic solution, flow mode, hinge, drag force, torque, balance.

**References**

1. Kadyrov A.S. Teoriya i raschet rabochih organov frezeryh i buril'nyh mashin, primenyaemyh pri stroitel'stve sposobom "stena v grunte" [Theory and calculation of working bodies of milling and drilling machines used in the construction of the "wall in the ground" method]: avtoref. ... dok. tekhn. nauk. Moskva, 1989.
2. Kadyrov A.S., Nurmaganbetov A.S. Nagruzhenie zemlerojnyh mashin pri rabote v srede glinistogo tiksotropnogo rastvora [Loading of earthmoving machines when working in a clay thixotropic solution] (Karaganda, Sanat, 2007, 151 p) [in Russian].

**Авторлар туралы мәлімет:**

**Кадыров А.С.** – корреспонденция үшін автор, техника ғылымдарының докторы, Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистикалық жүйелер кафедрасының профессоры, Қарағанды, Қазақстан.

**Ганюков А.А.** – PhD, Қарағанды техникалық университеті механика кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан.

**Сулеев Б.Д.** – PhD, Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистикалық жүйелер кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан.

**Курмашева Б.К.** – техника ғылымдарының кандидаты, Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистикалық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қарағанды, Қазақстан.

**Кызылбаева Э.Ж.** – PhD, Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистикалық жүйелер кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан.

**Kadyrov A.S.** –corresponding author, Doctor of Technical Sciences, professor in Transport equipment and logistics systems department, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

**Ganyukov A.A.** – Ph.D., Senior Lecturer of The Department of Mechanics, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.



***Suleev B.D.*** – Ph.D., Senior Lecturer in Transport Equipment and Logistics Systems Department, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

***Kurmasheva B.K.*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Transport Equipment and Logistics Systems, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

***Kyzylbayeva E.Zh.*** – Ph.D., Senior Lecturer in Transport Equipment and Logistics Systems department, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.