

А.С. Кадыров¹, Ж.Ж. Жунусбекова¹, А.А. Ганюков¹,
Э.Ж. Кызылбаева¹, Б.Д. Сулеев¹

¹Карагандинский государственный технический университет,
г. Караганда, Казахстан

САЗДЫ ЕРІТІНДІДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ФРЕЗЕРЛІ ЖҰМЫС МҮШЕСІН БЕРІКТІККЕ ЕСЕПТЕУ

Түйіндеме. Қазақстан Республикасында орындалатын көлемді құрылыс жұмыстарының басым бөлігі тереңдетілген және жер асты құрылыстарын салуға байланысты. Соңғы жылдардағы тәжірибе көрсеткендей, құрылыс мерзімін және осындай құрылыстарды салу құнын қысқарту мақсатында «топырақтағы қабырға» тәсілі кеңінен қолданылады. Бұл мақала саз ерітіндісінің қысымымен жұмыс істейтін жер қазатын машиналардың цилиндрлік фрезаларының беріктігін есептеу мәселелеріне арналған. Инерциялық жүктемелерді және сазды ерітіндінің қысымын ескере отырып, фрезада пайда болатын кернеудің тәуелділігі алынды. Фрезаларды дайындау сатысында беріктікке есептеу әдістемесі өзірленді. Алынған нәтижелер машиналарды жобалау кезінде қолданылады.

Түйінді сөздер: жер қазатын машиналар, цилиндрлік фрезалар, топырақтағы қабырға, жерасты құрылыстары.

• • •

Аннотация. В громадном объеме строительных работ, которые выполняются в Республике Казахстан, значительная часть связана с устройством заглубленных и подземных сооружений. Опыт последних лет показал, что в целях сокращения сроков строительства и стоимости устройства таких сооружений большое применение находит способ «стена в грунте». Данная статья посвящена вопросам прочностного расчета цилиндрических фрез землеройных машин, работающих под давлением глинистого раствора. Получены зависимости напряжений возникающих во фрезе с учетом инерционных нагрузок и давления глинистого раствора. Разработана методика прочностного расчета на стадии изготовления фрез. Полученные результаты используют при проектировании машин.

Ключевые слова: землеройные машины, цилиндрические фрезы, стена в грунте, подземные сооружения.

• • •

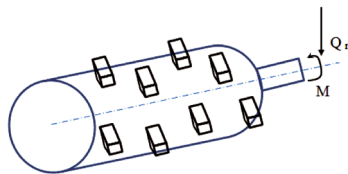
Abstract. Out of the great numbers of construction works that have been performed in the Republic of Kazakhstan, a significant part is associated with the development of buried and underground structures. The experience of recent years has shown that in order to reduce the construction time and cost of such structures, the “wall in the ground” method is widely used. This article is devoted to the issues of strength

calculation of cylindrical cutters of earthmoving machines working under pressure of clay solution. The dependences of the stresses arising in the mill taking into account the inertial loads and the pressure of the clay solution are obtained. The method of strength calculation at the mill manufacturing stage is developed. The results obtained are used in the design of the machines.

Keywords: earthmoving machines, cylindrical cutters, wall in the ground, underground structures.

Кіріспе. «Топырақтағы қабырға» әдісімен құрылыс кезінде жіңішке терең траншеяларды әзірлеу үшін цилиндрлік фрезалы машиналар кеңінен қолданылады. Топырақты қазу кезінде жер қазатын машинаның фрезерлі жұмыс мүшесі сазды ерітіндіден және кесуге кедергі күшінен жүктеуді сынайды. Машиналарды пайдалану үрдісінде фрезаның деформациясы мен бұзылуы анықталды, бұл цилиндрлік фрезаның ішкі бетін сазды ерітіндімен толтыруға және цилиндрдің ішінде орналасқан және оны айналдыруға әкелетін қымбат тұратын қозғалтқыштың істен шығуына әкелді. Осыған байланысты фрезерлік жұмыс мүшесінің конструкциясын дайындау кезеңінде оның беріктік есебін жүргізу қажеттілігі туындады.

Зерттеу әдістері. Саз ерітіндісінің қысымымен топырақты қазу кезінде жер қазатын машинаның фрезерлік жұмыс мүшесінің жүктемесінің көлемі мен сипаты көрсетіледі. Фрезерлік жұмыс мүшесі бүйір бетінде кескіштері бар болат қалың қабырғалы цилиндр болып табылады (1-сурет).



1 сурет - Цилиндрлік фреза

Сазды ерітіндінің ортасында фрезерлік типті жұмыс органы қозғалғанда, жүктеу мынадай параметрлермен сипатталады: Q -беріліс күші; M – фрезедағы айналу моменті; $P_{\text{выт}}$ – итеруші күш; mg – жұмыс мүшесінің салмағы; $P_{\text{эп}}$ – эрлифттің реактивті күші; $M_{\text{тр}}$ – үйкелістен туындаған тиксотропты ерітіндідегі фрезаның айналуына кедергі; $P_{\text{гд}}$ – гидродинамикалық көтергіш күш. Ерітіндідегі фрезаның қозғалысы кезіндегі қозғалыс кедергісі келесі өрнектермен сипатталады:

$$M_{conp} = M_{mp} + P'_{z\partial} R, \quad (1)$$

$$Q_{conp} = P_{выт} - mg - P_{эп} + P + P'_{z\partial}, \quad (2)$$

где R – фрезаның сыртқы радиусы; $P'_{гд}$ – кескіштердің айналуына кедергі күші.

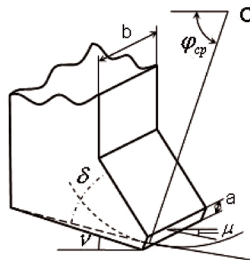
Жүргізілген тәуелділік жалпы болып табылады, яғни балшық ерітіндісі қозғалысының төрт ықтимал режимдерінің кез-келгені үшін әділ. Алғаш рет профессор Кадыров А.С. сазды ерітіндісі ортасындағы фрезерлік машиналардың жұмыс мүшелерінің қозғалысына кедергі күшін анықтау бойынша бірқатар теориялық және эксперименталдық зерттеулер жүргізді [1]. Әртүрлі ағым режимдеріне арналған сазды ерітіндінің ортасында айналмалы әсер ететін жұмыс мүшесінің кедергісінің күші алынды.

$M_{сопр}$ және $Q_{сопр}$ ерітіндісінің псевдоламинарлық қозғалысы кезінде келесі түрге ие:

$$M_{conp} = 2\pi R^2 L \mu \omega + n C_D F_{нл} \rho \frac{\omega^2 R^3}{2}; \quad (3)$$

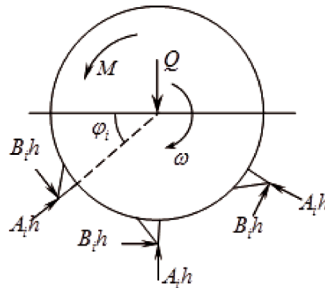
$$Q_{conp} = P_{выт} - mg - 4F_{сеч} \rho_c (V_n - V_z)^2 + \rho V F_{мид} + C_D F_{мид} \frac{V_z^2}{2}, \quad (4)$$

мұндағы L – цилиндрлік фрезаның ұзындығы; μ – ерітіндінің тұтқырлығының динамикалық коэффициенті; ω - бұрыштық жылдамдық; n – кескіштер саны; C_D - гидродинамикалық коэффициент; ρ – ерітіндінің тығыздығы; $F_{сеч}$ – қойыртпақ жүргізгіш қимасының ауданы; ρ_c – қойыртпақ тығыздығы; V_z – сызықтық жылдамдық; $F_{мид}$ – Мидель қимасы. Топырақты фрезерлеу үрдісінде фрезаға кедергі күштерімен туындаған күштер беріледі (2-сурет). Кесу күшін анықтау үшін орташаланған кескіш моделі ұсынылды [2], оның негізінде беріліс күші Q мен топырақты фрезерлеу үшін айналмалы момент M алынды.



2 сурет - Кескіш сызбасы

Фрезаның орташаланған моделі гипотетикалық кескішке келтіріледі (2-сурет). Ол кескішке белсенді беріліс күштері және кесу $P_{окр}$ күштері әсер етеді. Топырақты кесудің кедергі күші P_p , тозу алаңында пайда болатын кедергі күші $P_{изн}$ кері әсер етеді. Геометриялық орташаланған кескіш кесу бұрышымен δ , кескіштің енімен $b_{ед}$, артқы бұрышымен ν , тозу алаңының енімен a , тозу алаңының көлбеу бұрышының траекториясына жанасу бұрышымен δ_1 сипатталады. Орташаланған кескіштің жұмысы ішкі үйкеліс бұрышы, сыртқы үйкелісі μ , қиманың меншікті кедергілері $m_{св}$ және $m_{бок.ср}$ бар топырақта жүреді. Орташаланған кескіштен фрезаны жүктеуге көшу кескіштер санын z_p ескере отырып жүзеге асырылады. Беріліс күші Q және топырақты фрезерлеу үшін айналу моменті M келесі өрнектермен анықталады (3-сурет):



3 сурет - Фреза моделіне әсер ететін күштер схемасы

$$Q = Ah, \quad M = BhR, \quad (5)$$

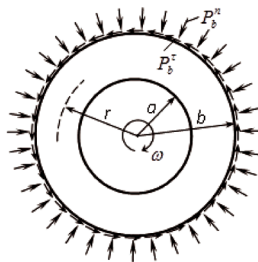
$$A = 0,5i\phi b m_{св} (1 + \eta' a) + i m_{бок.ср},$$

$$B = 0,5i\phi b m_{св} \left((1 + \eta' a) \cos \phi_{ср} + \{ctg(\delta + \mu) + \eta' actg(\delta_1 + \mu) \sin \phi_{ср}\} \right) + i m_{бок.ср} (\cos \phi_{ср} + ctg(\delta + \mu) \sin \phi_{ср}), \quad (6)$$

мұндағы A және B - топырақтың физикалық-механикалық қасиеттеріне, құрал конструкциясына байланысты фрезаның беріліс және айналу кедергісінің меншікті күштері; i - фрезедағы кескіштердің саны; $m_{св}$ - Ветров Ю.А. бойынша топырақты кесудің меншікті кедергісі; η' - кескіштің тозу алаңына тозуын ескеретін коэффициенттің қатынасына тең шама; a - тозу алаңының биіктігі; $m_{бок.ср}$ - ойықтың бүйірлік кеңейтулеріндегі топырақ үйіндісінің меншікті күші; δ - кесу бұрышы; μ - ішкі үйкеліс бұрышы; ϕ - 45° бұрышында $m_{св}$ анықтайтын коэффициент; $\phi_{ср}$ - фрезаның орташа бұрылу бұрышы.

Осылайша, жер қазу машинасының фрезерлік жұмыс мүшесі сазды ерітіндідең, итеруші күшінен және кесуге кедергі күшінен жүктеуді сынайды. Осы уақытқа дейін машиналарды жобалау кезінде саз ерітіндісінде жұмыс істейтін жер қазатын машиналардың жұмыс мүшелерін беріктікке есептеуге назар аударылмаған. Осыған байланысты топырақты фрезерлеу және сазды ерітіндіні жүктеу кедергісінің күштеріне байланысты жер қазатын машиналардың жұмыс мүшелерін конструктивтік және беріктік параметрлеріне тәуелділігін анықтау қажеттілігі туындайды. Фрезерлік жұмыс мүшесінің беріктік есебінің математикалық моделі жоғарыда көрсетілген жүктемелердің әсері салдарынан туындайтын қалың қабырғалы цилиндрдің көлденең қимасындағы қабырға қалыңдығы бойынша кернеулердің тензорының барлық компонентін, сондай-ақ фрезаның айналуынан туындайтын инерцияның центрден тепкіш күштерін есепке алуды анықтауға негізделеді. Есептеу кезінде кейбір жорамалдар қабылданды.

Атап айтқанда, қалыпты P_b^n және жанасу P_b^r жүктемелерінің цилиндрінің бүкіл ұзындығы бойынша біркелкі бөлінген әрекетіндегі қалың қабырғалы цилиндрдің жүктелу моделі қабылданды. Қабырға қалыңдығы бойынша кернеу тек радиусқа байланысты болады. Мұндай жағдайда цилиндр жазық деформация жағдайында болады, бұл цилиндрлік фрезаның бүйір қабырғаларымен қатты байланысқан тұтас түптің болмауынан мұны жасауға мүмкіндік береді. Фрезаның есептік сұлбасы 4- суретте көрсетілген.



4 сурет - Фрезаның есептік моделі

4-суретте көрсетілген инерциялық жүктемелер мен жүктеулерді есепке ала отырып, жазық кернеулі жағдайында цилиндрдің жазық қимасының кернеулі күйін анықтауға арналған аналитикалық өрнектер координаталардың полярлық жүйесінде келесі өрнектермен анықталады [3]:

$$\sigma_r = -P_b^n \frac{b^2}{b^2-a^2} \left[1 - \frac{a^2}{r^2} \right] + \frac{3+v}{8} \rho \omega^2 \left[b^2 + a^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} - r^2 \right],$$

$$\sigma_\theta = -P_b^n \frac{b^2}{b^2-a^2} \left[1 + \frac{a^2}{r^2} \right] + \frac{3+v}{8} \rho \omega^2 \left[b^2 + a^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} - \frac{1+3v}{3+v} r^2 \right], \quad (7)$$

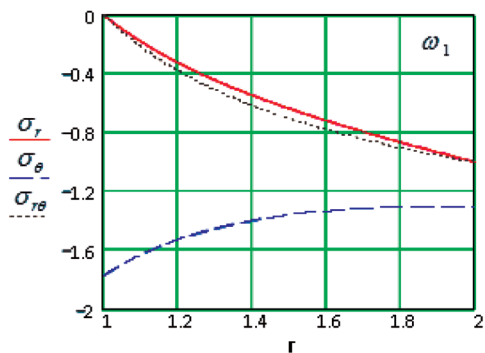
$$\sigma_{r\theta} = \frac{P_b^r}{\left(\frac{b\sqrt{2}-1}{b\sqrt{2}+1} \right)} \left[\frac{a^2\sqrt{2}}{r\sqrt{2}+1} - r\sqrt{2}-1 \right],$$

мұндағы ρ – материалдың тығыздығы; ω - фрезаның бұрыштық жылдамдығы; v - Пуассон коэффициенті. Қалыпты жүктеменің шамасына P_b^n (4) формуласы бойынша анықталатын тиксотропты ерітіндімен көрсетілетін қысым, (6) формуласы бойынша анықталатын фрезерлеу кедергісінің меншікті күші Ah кіреді. Фреза тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналатындықтан, инерциялық жүктемелер радиалды үлестірілген. Жанама жүктеменің шамасы (1), (2) және (3) формулалар бойынша анықталатын ағымның әр түрлі режимдерінде сазды ерітіндінің кедергі күшінен түсетін жүктемені, (6) формулалар бойынша анықталатын фрезерлеу кедергісінің меншікті күшін Bh қамтиды. Барлық көрсетілген жүктемелер цилиндрдің бүйірлік ауданына келтірілген болып табылады.

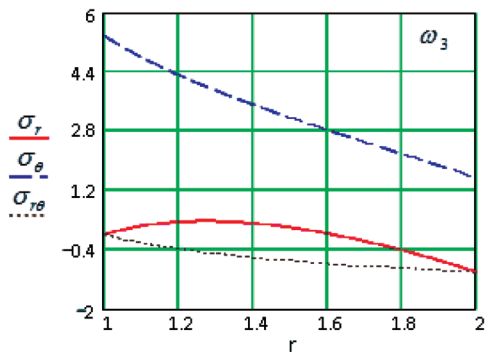
Зерттеулер көрсеткендей, аз бұрыштық жылдамдық кезінде жүктелген фрезаның кернеулігі теріс (қысқыш) болып табылады және өзінің абсолюттік шамасы бойынша ең үлкен шеңберлік кернеу σ_θ болып табылады, олар фрезаның ішкі диаметрі $r=a$ болғанда максималды мәнге жетеді (сурет 5).

Есептеулерде $b=2a$. Бұрыштық жылдамдық айтарлықтай ұлғайған кезде, топырақтың фрезерленуі орын алады, қысатын кернеулер σ_r және σ_θ оң мәндерге өтеді, яғни созылатын болады және инерциялық жүктемелермен бірге айналатын фрезаны бұзуға ұмтылады (сурет 6).

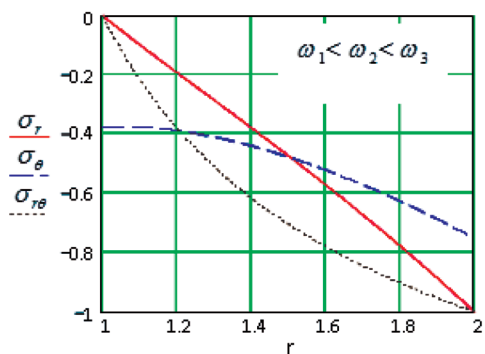
Бұл фрезаның ішкі диаметрінде жарықтың пайда болуының себебі болып табылады, онда материал пластикалық күйге ауысады және пайдалану кезінде оны біртіндеп бұзылуына әкеледі. Алайда, жүргізілген зерттеулер бұрыштық жылдамдық пен фрезаға жиынтық жүктеменің шамаларының белгілі бір оңтайлы мөндері кезінде қабырға қалыңдығы бойынша пайда болатын барлық кернеулер бір диапазонда жататынын және шамасы бойынша шағын (рұқсат етілген) болып табылатынын көрсетті (7-сурет).



5 сурет - ω шағын мәндерде фрезаның қабырғасының қалыңдығы бойынша кернеуі



6 сурет - ω үлкен мәндерде фрезаның қабырғасының қалыңдығы бойынша кернеуі



7 сурет - ω оңтайлы мәндерде фрезаның қабырғасының қалыңдығы бойынша кернеуі

Есептеу бағдарламасында беріктікті тексеру басты кернеулер негізінде материал жұмысының серпімді аймағында белгілі беріктік теориясы бойынша жүргізіледі. Бұл фрезерлік жұмыс мүшесінің жұмысының оңтайлы режимін және конструктивтік ерекшеліктерді таңдап алуға мүмкіндік берді, фрезерлік жұмыс органын үнемді және берік етеді, осылайша жер қазатын машина қозғалтқыштарының энергия шығындарын төмендетеді. Цилиндрлік фрезаларды беріктікке есептеудің инженерлік әдістемесі жұмыс нәтижесі қабырғаның берілетін қалыңдығы және жер қазатын машинаның оңтайлы жұмыс режимі болып табылатын қолданбалы бағдарламалар пакеті түрінде іске асырылды.

Қарытынды. лынған нәтижелер УТФ-2 жобалау кезінде қолданылды. УТФ-2 қондырғысы (8 сурет) ЭО-5122 экскаватор базасында қысымды грейферге аспалы жабдық түрінде орындалған. Ол I-IV санаттағы топырақта тереңдігі 5 м дейін кең таралған негіздегі траншеялар мен кеңейтілген негіздегі ұңғымаларды қазуға арналған. УТФ-2 қондырғысы арынды грейфер штангасының төменгі шеті бар саусақты фланец арқылы қосылған екі фрезерлі жұмыс мүшесінен тұрады. Топырақ бұзушы фрезалар жұмыс мүшесінің корпусында орналасқан планетарлық және конустық берілістер арқылы гидромоторлардан бөлек жетегі болады. Фрезалары бар жетектердің корпустары осьте бекітілген және өзара тартумен байланысқан. Тартым төмен қозғалғанда фреза гидроцилиндрінің күші әсерінен фрезалар қозғалады. Фрезерлік жұмыс мүшесінің гидрожүйесін қоректендіру базалық машинадан жүзеге асырылады. Фреза кескіштерін қарсы алу кезінде жетектің шамадан тыс жүктелуін болдырмау үшін гидрожүйеге жұмыс сұйықтығы ағынын бөлгіш және сақтандырғыш клапандар қосымша енгізіледі. Фрезалардың айналу жиілігі және олардың қозғалу жылдамдығы машинист кабинасында орнатылған дроссельдермен реттеледі. Аспапты кенжарға беру базалық машинаны беру механизмімен орындалады.

Әдебиеттер

1 Кадыров А.С., Мулдағалиев З.А., Нурмаганбетов А.С., Курмашева Б.К., Жунусбекова Ж.Ж. Теоретические основы проектирования и расчета бурильных и фрезерных землеройных машин. Изд. Болашак-Баспа, Караганда, 2010 – 22 с. [Kadyrov A.S., Muldagaliyev Z.A., Nurmaganbetov A.S., Kurmasheva B.K., Zhunusbekova Zh.Zh. Teoreticheskie osnovy` proektirovaniya

i raschyota buril'ny`kh I frezerny`kh zemlerojny`kh mashin, izd. Bolashak-Baspa, Karaganda, 2010.-22s.]

2 Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. - М.: Машиностроение, 1990. - 360 с. [Fyodorov D.I. Rabochie organy` zemlerojny`kh mashin.- М: Mashinostroeniye, 1990.-360s.]

3 Zhunusbekova Zh. Zh., Kadyrov A. S. Study of digging machine flat element loading in clay solution // Scientific Bulletin of National Mining University Scientific and technical journal No 2 (152), Dnipropetrovsk, State Higher Educational Institution "National Mining University", 2016. – S. 30-34.

Кадыров А.С. - доктор технических наук, профессор

Жунусбекова Ж.Ж. - доктор PhD, e-mail: zhzhzh_84@mail.ru

Ганюков А.А. - доктор PhD, e-mail: sgn2002@mail.ru

Кызылбаева Э.Ж. - доктор PhD, e-mail: elvirakiz@mail

Сулеев Б.Д. - доктор PhD, e-mail: culeev_bahtiyar@mail.ru