



ХҒТАР 55.30.03
Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2026-154-203-215>

Жер қазу машиналарының жұмыс органдарының морфологиялық талдауы және қозғалыс динамикасын математикалық модельдеу

Ж.Ж. Жунусбекова 

«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ

E mail: zh.zhunusbekova@ktu.edu.kz

Аңдатпа. Бұл мақалада жол және құрылыс саласында кеңінен қолданылатын жер қазу машиналарының жаңа түрлерін және жұмыс органдарын жетілдірудің ғылыми-әдістемелік негіздері қарастырылған. Қазақстандағы құрылыс көлемінің қарқынды өсуі жер қазу үрдістерін механикаландыру және олардың тиімділігін арттыру қажеттілігін туындатады. Жер қазу машиналарының өзектілігі жол, көлік, су шаруашылығы, гидротехникалық, өнеркәсіптік, азаматтық және ауыл шаруашылығы объектілерін салуға байланысты әртүрлі салаларда кеңінен қолдануға негізделген. Осы мақсатта жер қазу машиналарының жұмыс органдарын морфологиялық талдау және олардың қозғалысын математикалық модельдеу әдістері ұсынылды. Зерттеу барысында топырақты бұзу тәсілдері, жұмыс ортасы, тасымалдау әдістері, жұмыс циклы және базалық машинаға ілу түрлері бойынша жіктелім жүргізіліп, жұмыс органдарының гипотетикалық құрылымдарының көптүрлілігі анықталды. Морфологиялық ағаш негізінде 484 мүмкін жұмыс органы нұсқасы алынды. Әр түрлі орта жағдайында жұмыс органдары қозғалысының төрт математикалық блогы әзірленіп, кесу мен тасымалдауға қарсы кедергі күштері ескерілді. Жасалған модельдер жер қазу үрдісінің энергия шығындарын азайтуға, беріліс күші мен айналу жиілігін оңтайландыруға, сондай-ақ машиналардың меншікті энергия сыйымдылығын төмендетуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер жол-құрылыс техникасын жобалау мен жетілдіруде практикалық маңызға ие. **Түйін сөздер:** жер қазу машиналары, жұмыс органдары, топырақты кесу, орта, кедергі күштер, математикалық модель, жұмыс режимі.

Түсті 11.11.2025. Жөнделді 21.11.2025. Мақұлданды 30.11.2025. Онлайн қолжетімді 30.03.2026

* хат-хабар үшін автор

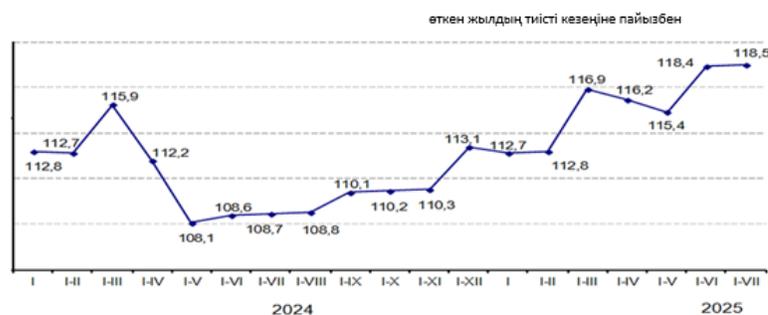
Кіріспе

Қазақстанда құрылыстың дамуы заманауи инфрақұрылымды құруда және өмір сүру сапасын жақсартуда стратегиялық рөл атқарады. Бұл сала жаңа жұмыс орындарын құрып қана қоймай, сонымен қатар халықты тұрғын үймен қамтамасыз етеді, қалалық ортаны жайлы етеді. Сонымен қатар, белсенді үкіметтік саясаттың және жеке құрылыс салушылардың қатысуының арқасында жыл сайын миллиондаған шаршы метр тұрғын үй, мектептер, ауруханалар және әлеуметтік нысандар салынады. Құрылыс саласы белсенді дамып келеді — тұрғын үйлер, өндірістік нысандар, көлік және инженерлік инфрақұрылымдар көптеп салынуда. 2025 жылғы қаңтар-тамызда Қазақстанда құрылыс жұмыстарының көлемі 18,1% -ға өсіп, 4,8 трлн теңгеден асты. Қазақстанның ресми статистикасына сәйкес, аяқталған жұмыстардың ең үлкен үлесі келесіге тиесілі: автожол, теміржол және метро құрылысы – 23,9%, тұрғын емес ғимараттар құрылысы – 21,9%, тұрғын үй құрылысы – 13,4%.

Құрылыс көлемінің өсуі елдің 18 аймағында байқалды. Ең үлкен өсім:

Қостанай облысы – +40,4%, Қызылорда облысы – +37%, Түркістан облысы – +34,6%,

Солтүстік Қазақстан облысы – +34,2%, Батыс Қазақстан облысы – +33,4%, Ақмола облысы – +32,7%, Алматы (+35,6%), Астана (+33,9%) және Шымкент (+18,8%) қалалары. Бұл туралы Ұлттық статистика бюросында хабарлады [1]. Құрылыс жұмыстарының физикалық көлемінің индексі 1-суретте көрсетілген. Ғимараттар мен үймереттердің құрылысы күрделі технологиялық үрдіс болып табылады, оның құрамдас бөліктерінің бірі топырақ жұмыстарын өңдеу болып табылады. Бұл жағдай жер жұмыстарының көлемін арттырып, оларды механикаландыру қажеттілігін күшейтті. Сол себепті жер қазу машиналарының маңызы ерекше артып отыр. Құрылыс көлемінің артуы мен сонымен қатар жұмсалатын ресурстардың азаюы, яғни құрылысты **қарқындату**, жалпы технологиялық үдерістің сапасын арттыру есебінен, сондай-ақ оның жекелеген операцияларын жетілдіру арқылы да жүзеге асуы мүмкін. Жер қазу жұмыстарына бейімделген базалық машиналарды сатып алу өте қымбатқа түседі. Сондықтан экономикалық тұрғыдан алғанда, Қазақстан кәсіпорындарында бар базалық машиналарға орнатылатын аспалы жұмыс органдарын әзірлеу орынды шешім болып табылады. Бұл тәсіл құрылыс тиімділігін арттырып қана қоймай, капиталдық салымдарды азайту есебінен жобалардың өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді.



1-сурет. 2024-2025 жылдарда еліміздегі құрылыстың физикалық көлемінің индекстері

Жер қазу жұмыстарына бейімделген базалық машиналарды сатып алу өте қымбатқа түседі. Сондықтан экономикалық тұрғыдан алғанда, Қазақстан кәсіпорындарында бар базалық машиналарға орнатылатын аспалы жұмыс органдарын әзірлеу орынды шешім болып табылады. Бұл тәсіл құрылыс тиімділігін арттырып қана қоймай, капиталдық салымдарды азайту есебінен жобалардың өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Жер жұмыстары ғимараттар мен үймереттерді тұрғызудың нөлдік цикліне жататын негізгі әрі жауапты кезең болып саналады. Бұл жұмыстарды орындау жер қазу, жер қазу-тасымалдау машиналары мен механизмдерін, сондай-ақ көлік құралдарын кешенді түрде таңдап, тиімді пайдалану қажеттігін туындатады.

Жер қазу машинасы осы әдіспен жүргізілетін құрылыс технологиялық үдерісінің негізгі буыны болып табылады және сол үдерістің техникалық әрі экономикалық көрсеткіштерін айқындайды. Алайда құрылыс жағдайларының әр алуандығына байланысты кей жағдайларда нақты телімдерде немесе жоба ерекшеліктеріне бейімделген жаңа жер қазу машинасын жасау экономикалық тұрғыдан тиімді болып табылады [2].

Әдіснама

Құрылыста қолданылатын машиналардың бірнеше түрі бар. Алайда құрылыс жағдайларының алуан түрлілігі соншалық, кейде нақты жағдайларға арнап жаңа жер қазатын машинаны жасау экономикалық тұрғыдан тиімді болып табылады. Жер қазатын машинаның құрылысы негізінен оның жұмыс органының түрімен анықталады [3]. Басқаша айтқанда, жер қазатын машинаның құрылымын анықтауда басты рөлді жұмыс органы атқарады – бұл белгілі бір бұйымдар жиынының класы ретінде параметрлер жүйесімен сипатталатын абстракция болып табылады.

Жұмыс органы параметрлерінің (сипаттамаларының) жиынтығы бұйымды жобалау мен дайындауға қажетті әрі жеткілікті шарттарды білдіреді. Бұл параметрлер жиынтығы қойылған мақсатқа сәйкес мүмкін болатын көптеген нұсқалардың ішінен таңдалып алынады. Машинаның белгілі бір құрылымын, құрылымдық түрін немесе класын нақты бір параметрлер жиынтығы бірімәнді түрде анықтайды [4].

Ұсынылып отырған әдістің мәні – жер қазатын машиналардың жұмыс органдарының гипотетикалық құрылымдарын динамикалық морфологиялық талдау әдісі арқылы болжау, жұмыс органы қозғалысының динамикасын математикалық модельдеу және оның параметрлерін анықтау болып табылады.

Әдісті пайдалана отырып, мақсатқа жету үшін келесі тізбектілікті қолдану қажет: жіктелімдік белгілерін анықтау; жұмыс органдарының қозғалыс траекторияларын орнату; жұмыс органдарының гипотетикалық құрылымдарының көптігін анықтау; жұмыс органдарының жүктелуін ескеру; оңтайлылық критериесін негіздеу; жұмыстың математикалық үлгісін әзірлеу және зерттеу.

Жіктелімдік белгі ретінде келесілер қабылданды:

1. Топырақты бұзу тәсілі:

- механикалық; гидромеханикалық және и ағындық. Гидромеханикалық тәсіл жұмыс мүшесінің кескіші топырақтың беріктігі өскенде қосылатын шүмекпен

жабдықталғандығын білдіреді [5]. Ағындық топырақты жоғары қысымдағы ағынмен бұзуды білдіреді [5].

2. Инструменттің қозғалыс траекториясы.

3. Қызмет ету ортасы: сұйық (сазды ерітінді, су); ауа.

4. Бұзылған топырақты тасымалдау тәсілі: механикалық (шнек, шөміш, винт, элеватор); гидравликалық (топырақты сорғы немесе эрлифт).

5. Жұмыс циклы: үздіксіз, позиционды, циклдық.

6. Жұмыс мүшесін базалық машинаға ілу: қатаң, иілмелі.

Топырақты бұзу тәсілдері морфологиялық ағашта жұмыс мүшелерінің үш нұсқасын береді.

Басты жіктелімдік белгісіне жұмыс мүшесінің қозғалыс траекториясы жатады. Оны морфологиялық кестеге енгізсек онда морфологиялық сараптаманы динамикалық болжау әдіспен жасауға мүмкін болады.

Жүктеу сипатының ортақтылығы бойынша траекториялар үш топқа бөлінеді.

Бірінші топқа ілгерілемелі қозғалыстағы траекториялар кіреді. Екінші топқа ілгерілемелі және бір айналмалы қозғалысқа ие болатын траекториялар жатады. Үшінші топқа ілгерілемелі және екі айналмалы қозғалысқа ие болатын траекториялар жатады.

Элементарлық қозғалыстардың саны (еркіндік дәрежелері) жұмыс органының жетегін жобалау кезінде қажетті ақпарат болып табылады. Әрбір элементарлық қозғалыс жеке немесе ортақ жетек пен белгілі бір трансмиссия арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

Кейбір жұмыс органдары екі немесе бірнеше жеке элементтерден тұрады. Мысалы, екі иінді машиналар, көпшөмішті экскаваторлар және т.б. Мұндай машиналардың жұмыс органдары элементтерінің қозғалыс траекториялары көбіне бірдей немесе симметриялы болады. Симметриялық реактивті моменттердің өзара теңгерілуіне мүмкіндік береді. Сондықтан жұмыс органының жүктемесін талдау кезінде оның қозғалысы екі симметриялы немесе бірнеше бірдей траекториялар бойымен жүзеге асуы мүмкін екенін ескеру қажет.

Алдын ала жүргізілген талдау нәтижесінде траекториялардың келесі топтары анықталады:

– бірінші топқа экскаваторлар мен драглайнды скреперлердің жұмыс органдары жатады;

– екінші топқа бұрғылау және фрезерлеу машиналары, сондай-ақ дискілі саңылауқазғыштар кіреді;

– үшінші топқа екі элементарлы айналу қозғалысы бар құралдармен жабдықталған машиналар, мысалы, мұнай немесе газ ұңғымаларын бұрғылауда қолданылатын шарошкарлар жатады [6].

Барлық осы машиналарды біріктіретін ортақ ерекшелік – олардың жұмыс істеу принципі топырақты (немесе жынысты) кесу арқылы бұзу процесіне негізделген.

Талдау нәтижелеріне сүйене отырып, морфологиялық ағаш құрылады [7]. 2-суретте берілген матрица негізінде барлығы 28 қозғалыс траекториясы қамтылған. Гидромеханикалық жұмыс органдары дәл осындай 28 түрлі қозғалыс траекториясына ие болады. Осы сызбаға сәйкес, морфологиялық ағашқа ағынды жұмыс органдарының 9

реактивті моменттердің динамикалық тұрақтандыруы үшін элементтер саны тек жұп болуы тиіс;

- гидромеханикалық топырақ бұзуда механикалық және пневматикалық тасымалдау тәсілдері мүмкін емес;
- машина циклдік режимде жұмыс істегенде шнек, элеватор, пневмотранспортер немесе гидротранспортер арқылы тасымалдау мүмкін емес;
- шнек, элеватор және пневмотранспортер арқылы тасымалдау сазды ерітінді ортасында мүмкін емес [8].

Бұл ерекшеліктердің комбинацияларының саны гипотетикалық жұмыс органдарының конструкцияларын сипаттайтын өрнектер жиынтығының өлшемін анықтайды. Алынған көптеген өрнектер бұдан әрі жұмыс органдары қозғалысының дифференциалды теңдеулерін құру үшін база болады.

Жер қазатын машиналардың жұмыс органдарының математикалық моделін есептеу және әзірлеу үшін жұмыс органдары жұмысының қозғалысына кедергі күштерін белгілеу қажет. Жер қазатын машиналардың кедергі күштерін анықтау үшін осы күштердің жіктелуі жүргізілді. Жер қазу машиналарының жұмысы кезінде жұмыс органдарында кесу және тасымалдау күштері пайда болады [9].

Топырақты кесу жұмыстары «құрғақ» қазу алдында және сазды ерітіндісінің астында жүргізіледі. «Құрғақ» әдіспен бұзылған топырақ шнек, шөміш немесе элеватор арқылы тасымалданады. Сазды ерітіндісінің астында бұзылған топырақ эрлифт арқылы тасымалданады.

Жұмыс органдары жұмысының қозғалысына кедергі күштерінің ұсынылған жіктемесі жұмыстың төрт блогын береді [10]:

- 1 - блок – құрғақ жағдайда кесуге қарсы тұратын күштер, транспортер әсерінсіз;
- 2 - блок – құрғақ жағдайда кесуге қарсы тұратын күштер, транспортердің әсерімен;
- 3- блок – суда (сұйықтықта) кесуге қарсы тұратын күштер, транспортер әсерінсіз;
- 4 - блок – суда (сұйықтықта) кесуге қарсы тұратын күштер, транспортердің әсерімен.

Анализ нәтижесінде [11] әр блокқа тәуелділіктер анықталған.

Топырақты кесудің кедергі күшін құралдың берілісі А мен айналуының меншікті кедергі күштері арқылы анықталады. Сонда бірінші блок үшін жұмыстың қозғалысының математикалық үлгісі келесі түрде жазылады:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = Q - Ah \\ J\ddot{\phi} = M - BhR \end{cases} \quad (1)$$

мұндағы m – жұмыс органының массасы;

\ddot{z} - жұмыс органының қозғалысының сызықтық үдеуі;

J – айналмалы жұмыс мүшесінен туындайтын инерциялы күштердің моменті;

$\ddot{\phi}$ - жұмыс мүшесі қозғалысының бұрыштық үдеуі, $\dot{\phi} = 0$;

Q – жұмыс органының беріліс күші;

h – кесілетін жоңқаның қалыңдығы;

A – жұмыс органын жоңқаның бірлік қалыңдығына h берілісі үшін қажет күштің шамасын анықтайтын жұмыс органы берілісінің меншікті кедергі күші;

B – қалыңдығы h болатын бет қабатын бұзу үшін қажетті моменттің шамасын анықтайтын, беттің бұзылуы кезінде жұмыс элементінің айналуына меншікті кедергі күші [12].

Транспортердің әсерінен жұмыстың «құрғақ» түрде қозғалысының математикалық үлгісі келесідей сипатталады:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = Q - Ah + Pz + P_{\text{реак}}, \\ J\ddot{\varphi} = M - BRh \end{cases}, \quad (2)$$

мұндағы $P_{\text{реак}}$ - транспортердің әсер ететін реактивті күші;

Pz - транспортер ұзындығының бір метріне шаққандағы топырақтың салмағы.

Транспортердің әсерінсіз су астындағы (сұйықтық) жұмыс қозғалысының математикалық моделі келесідей сипатталады:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = Q - A\alpha_z Zh - P_b - k_b Z - k_\delta Z \\ J\ddot{\varphi} = M - B\alpha_z ZhR - k_p \omega^2 \end{cases}, \quad (3)$$

мұндағы $A\alpha_z Zh$ – жұмыс органының бетінен берілуіне кедергіні анықтайтын мән;

P_b – жұмыс органының сұйықтыққа үнемі батырылатын бөлігіне әсер ететін итеруші күш;

$k_b Z$ – жұмыс органының (мысалы, штанганың) бөлігіне әсер ететін күш, оның көлемі ерітіндіге батырылған кезде траншея тереңдігінің артуымен артады;

$k_\delta Z$ – жұмыс органыны штангасының ерітіндіге қарсы үйкеліс күші;

$B\alpha_z ZhR$ – топырақтың бұзылуына кедергі келтіру моменті;

$k_p \omega^2$ – жұмыс элементінің айналуына гидродинамикалық кедергі.

Су астында (сұйықтықта) транспортердің әсерінен жұмыс қозғалысының математикалық үлгісі келесідей сипатталады [13]:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = Q - A\alpha_z Zh + P_T + Pz - P_b - k_b Z - k_\delta Z \\ J\ddot{\varphi} = M - B\alpha_z ZhR - k_p \omega^2 \end{cases}. \quad (4)$$

Жер қазу жабдығының жұмыс режимін математикалық модельдеу кезеңінде оптималдық критерийлері ретінде келесі параметрлер қарастырылады: энергия шығындарының минимумы; беріліс күшінің және жұмыс органының айналу жиілігінің ең жоғарғы рұқсат етілген мәндері; құралдың бір өтуіндегі максималды қашықтық немесе құралдың тозу мөлшерінің минимумы; максималды өнімділік, әртүрлі қарқын көрсеткіштерінің кедергі күштері және т.б.

Сонымен қатар, үрдістің меншікті энергия сыйымдылығы сияқты параметр бар, оны машиналардың энергетикалық көрсеткіштерін салыстыру үшін жиі қолданады.

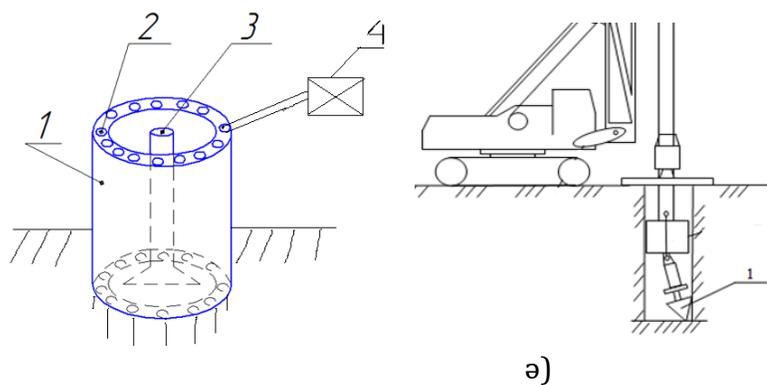
Нәтижелер мен талқылау

Зерттеу барысында алынған математикалық модельдер жер қазу машиналарының жұмыс режимдерін оңтайландыруда, жаңа үлгілерді жобалауда және бар жабдықтардың тиімділігін арттыруда қолдануға болатыны дәлелденді. Алынған нәтижелер көрсеткендей, морфологиялық және динамикалық талдауды кешенді қолдану машинаның құрылымдық және энергетикалық параметрлерін жетілдірудің ғылыми негізін қамтамасыз етеді.

Жер жұмыстары кезінде қолданылатын жер қазатын машиналардың жұмыс мүшелерінің мүмкін болатын құрылымдары әзірленген.

Әзірлеменің бірі кескіш коронка ретіндегі жұмыс мүшесінің топыраққа ендіруі (бұрғылау) және оның ілгерлімелі қозғалысы жұмыс мүшесінің жебе мен тұтқа гидроцилиндрлерінің қысым күшімен іске асырылады. Гидротранспортер ұңғымадан ерітіндімен араласқан өңделген топырақты тасымалдауға арналған. Топырақтық жағдайларға және ұңғыманы қазу тереңдігіне байланысты гидротранспортер топырақтық сорғы режимінде, сондай-ақ, эрлифт режимінде жұмыс істей алады [14].

Сонымен қатар, топырақ ағындық жұмыс органымен бұзылатын әзірleme берілген. Қондырғы қабырғаларға 1 орнатылған құбырлар 2 арқылы жоғарғы қысыммен суды сору мүмкіндігімен орындалған бетон сақинадан тұрады. Сонымен қатар пульпаны 3 сорып алатын сорғы 4 болады (сурет 3, ә) [15].



а)
1- қабырға; 2 – құбырлар;
3 – пульпа; 4 – топырақты сорғы

ә)
1 – кесу коронкасы

3-сурет. – Жер қазатын машиналардың жұмыс мүшелерінің мүмкін болатын және әрекеттегі құрылымдары

Осылайша жұмыс органы құрылымының сипаттамасына қажетті және жеткілікті белгілеріне: топырақты бұзу әдісі, жұмыс ортасының сипаттамасы, бұзатын және тасымалдайтын құралдың орындалу түрі, тасымалдау әдістері, жұмыс режимі, жұмыс жабдығын ілу түрі жатады. Берілген белгілердің үйлесім сандары гипотетикалық жұмыс органдарының құрылымын суреттейтін көптеген өрнектердің өлшемін білдіреді.

Жалпы, ұсынылған әдіс құрылыс саласындағы жер қазу процестерін механикаландыру мен энергия тиімділігін арттыруға бағытталған тәсіл болып табылады.

Қорытынды

Қойылған мақсатқа қарай жер қазатын машиналардың жұмыс органдарының параметрлеріне морфологиялық талдау жүргізілді. Нәтижесінде ерекшеліктердің әртүрлі комбинациялары гипотетикалық жұмыс органдарының конструкцияларын сипаттайтын өрнектер жиынтығын анықтауға мүмкіндік берді. Бұл жиынтық кейін жұмыс органдарының әр түрлі ортадағы қозғалысының дифференциалды теңдеулерін құруға негіз болды.

Қозғалысқа қарсы күш блоктарының жиындарының қиылысуы жер қазу машиналарының жұмыс органдарының төрт математикалық үлгілерін әзірледі және оның параметрлерін анықтады.

Алынған математикалық модельдерді зерттеу нәтижесінде беру жылдамдығын, беру күшін, ұңғылау тереңдігін, сазбалшықты ерітіндідегі қозғалысқа кедергіні, топырақты тасымалдау мен оны кесуге кедергіні байланыстыратын тәуелділіктер анықталды.

Жалпы қуаттың бұрғылау өнімділігіне қатынасын білдіретін меншікті энергия сыйымдылығы өлшемі бойынша режимнің оңтайлы параметрлері белгіленген.

Автордың қосқан үлесі. Автор зерттеу тақырыбын анықтап, ғылыми мәселені негіздеді, әдебиеттерге талдау жүргізді және зерттеу әдістемесін әзірледі. Тәжірибелік және теориялық зерттеулерді орындап, алынған нәтижелерге талдау жасады. Мақаланың мәтінін толық дайындап, қорытындыларды тұжырымдады және соңғы нұсқасын бекітті.

Әдебиеттер тізімі

1. Электрондық үкімет порталы. - URL:<https://www.gov.kz/memleket/entities/stat/press/news/details/1052672?lang=ru> (Қаралған күні: 10.11.2025). - электронды ресурс.
2. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. - М.: Высшая школа, 1981. – 335 с. - Кітап
3. 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. - Караганда, 2010. – 220 с. - журнал
4. Кадыров А.С., Жунусбекова Ж.Ж., Ганюков А.А. Расчет на прочность фрезерного рабочего органа землеройной машины, работающей в глинистом растворе // Вестник СибАДИ. Омск. - 2015. № 4 (44). – С. 125-130 - журнал
5. Бестембек Е.С., Жунусбекова Ж.Ж. Нагружение рабочего органа вращательного действия, активизированного струей жидкости высокого давления // Научный журнал Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. - Астана, 2015. - №4(107). – С. 144-149. - журнал
6. Kadyrov, A., Zhunusbekova, Z., Ganyukov, A., Kadyrova, I., Kukeshova, A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution. Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. - 2021, 23(2) – P 97-105. DOI: [10.26552/COM.C.2021.2.B97-B105](https://doi.org/10.26552/COM.C.2021.2.B97-B105) - журнал

7. 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. - P. 30-34. - журнал
8. Жунусбекова Ж.Ж. Моделирование движения фрезерного рабочего органа землеройной машины//Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – М.: Академия естествознания. - 2015. – № 10. – С. 426-428. - журнал
9. Кабикенов С.Ж., Жунусбекова Ж.Ж. Классификация сил сопротивления движению рабочих органов вращательного действия // XIII междунар. науч.-практ. конф. «Современные достижения науки-2017» - Прага: Publishing House «Education and Science», 2017. – С. 13-16. - конференция
10. Першин Г.В., Кадыров А.С., Жунусбекова Ж.Ж. Местные глины для строительства способом «стена в грунте» // Научно-технический сборник «Новости науки Казахстана». – Алматы: НЦНТИ, 2015. - №3(125). - С. 192- 204. - журнал
11. Жунусбекова Ж.Ж., Кадыров А.С. Нагружение и экспериментальное исследование конструкции рабочего органа землеройной машины в глинистом растворе//Вестник Казахской Академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алматы: КазАТК, 2015. – № 2-3 (93). – С. 70-76. – журнал
12. Kadyrov A.S., Zhunusbekova Z.Z., Ganyukov A.A. Study and calculation of earth-moving machines for the construction by wall in the ground method. Material and mechanical engineering technology Volume 1 №1, 2021 p. 3-8. - журнал
13. Kadyrov A. A., Ganyukov A.A., Balabekova K.G., Zhunusbekova Z.Z., Suleev B.D. Scientific and engineering bases for development of mobile overpasses. The journal Material and Mechanical Engineering Technology, Karaganda: KTU, 2020, №2, P.7-13. - журнал
14. Kadyrov A., Kukeshova A., Dyussenbaev E., Zhunusbekova Z., Bezkorovainy P. Theoretical and experimental study of diesel engine exhaust gas purification in a vertical ultrasonic muffler stand. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, 2026, Vol.28, No.1, P.B18-B29 - DOI: 10.26552/com.C.2026.009 - журнал
15. Кадыров А.С., Жунусбекова Ж.Ж., Сериков Ш.М., Омаров Ж.К. Оборудование для бурения скважин переменного диаметра. Инновационный патент на изобретение №24135 от 23.09.15 г. – патент на изобретение.

Ж.Ж. Жунусбекова

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

Морфологический анализ рабочих органов землеройных машин и математическое моделирование динамики движения

Аннотация. В данной статье рассматриваются научно-методические основы совершенствования новых типов землеройных машин и рабочих органов, широко

применяемых в дорожной и строительной отраслях. Стремительный рост объемов строительства в Казахстане обуславливает необходимость механизации землеройных процессов и повышения их эффективности. Актуальность землеройных машин обусловлена их широким применением в различных отраслях промышленности, связанных со строительством дорожных, транспортных, водохозяйственных, гидротехнических, промышленных, гражданских и сельскохозяйственных объектов. Для этого проведен морфологический анализ рабочих органов землеройных машин и предложены методы математического моделирования их движения. В ходе исследования проведена классификация по способам разрушения грунта, рабочей среде, способам транспортирования, рабочему циклу и видам крепления к базовой машине, а также выявлено многообразие гипотетических конструкций рабочих органов. На основе морфологического дерева получены 484 возможных варианта рабочих органов. Разработаны четыре математических блока движения рабочих органов в различных условиях среды с учетом сил сопротивления резанию и транспортированию. Разработанные модели позволяют снизить энергоемкость процесса разработки грунта, оптимизировать мощность передачи и частоту вращения, а также снизить удельный расход энергии машин. Полученные результаты имеют практическое значение при проектировании и совершенствовании дорожно-строительной техники.

Ключевые слова: землеройные машины, рабочие органы, резание грунтов, среда, силы сопротивления, математическая модель, режим работы.

Zh.Zh. Zhunusbekova

Non-profit joint-stock company "Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov"

Morphological analysis of the working bodies of earthmoving machines and mathematical modeling of the dynamics of movement

Abstract. This article considers the scientific and methodological foundations of improving new types of earthmoving machines and working bodies, which are widely used in the road and construction industries. The rapid growth of construction volumes in Kazakhstan creates the need to mechanize earthmoving processes and increase their efficiency. The relevance of earthmoving machines is based on their widespread use in various industries related to the construction of roads, transport, water management, hydraulic, industrial, civil, and agricultural facilities. For this purpose, morphological analysis of the working bodies of earthmoving machines and methods for mathematical modeling of their movement were proposed. During the study, a classification was carried out by soil destruction methods, working environment, transportation methods, work cycle, and types of attachment to the base machine, and the diversity of hypothetical structures of working bodies was identified. Based on the morphological tree, 484 possible working body variants were obtained. Four mathematical blocks of the movement of working bodies in different environmental conditions were developed, and the forces of resistance to cutting and

transportation were taken into account. The developed models allow to reduce energy consumption of the excavation process, optimize the transmission power and rotation frequency, as well as reducing the specific energy consumption of machines. The obtained results are of practical importance in the design and improvement of road construction equipment.

Keywords: earthmoving machines, working bodies, soil cutting, medium, resistance forces, mathematical model, operating mode.

References

1. Balovnev, V.I. Opredelenie optimal'nyh parametrov i vybor zemlerojnyh mashin v zavisimosti ot uslovij jekspluatacii. – MADI: Moscow, 2010, 134 s.
2. Balovnev V.I. Modelirovanie processov vzaimodejstviya so sredoj rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin. - M.: Vysshaja shkola, 1981. – 335 s.
3. Kadyrov A.S., Muldagaliev Z.A., Nurmaganbetov A.S., Kurmasheva B.K., Zhunusbekova Zh.Zh. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya i rascheta buril'nyh i frezernyh zemlerojnyh mashin. - Karaganda, 2010. – 220 s.
4. Kadyrov A.S., Zhunusbekova Zh.Zh., Ganjukov A.A. Raschet na prochnost' frezernogo rabocheho organa zemlerojnoj mashiny, rabotajushhej v glinistom rastvore // Vestnik SibADI. Omsk. - 2015. - № 4 (44). – S. 125-130
5. Bestembek E.S., Zhunusbekova Zh.Zh. Nagruzhenie rabocheho organa vrashhatel'nogo dejstvija, aktivizirovannogo struej zhidkosti vysokogo davlenija // Nauchnyj zhurnal Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta im. L.N. Gumileva. - Astana, 2015. - №4(107). – S. 144-149.
6. Kadyrov, A., Zhunusbekova, Z., Ganyukov, A., Kadyrova, I., Kukeshova, A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution. Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. - 2021, 23(2) – P 97-105. DOI: 10.26552/COM.C.2021.2. S 97-105.
7. 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.
8. Zhunusbekova Zh.Zh. Modelirovanie dvizhenija frezernogo rabocheho organa zemlerojnoj mashiny//Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – M.: Akademija estestvoznaniya. - 2015. – № 10. – S. 426-428.
9. Kabikenov S.Zh., Zhunusbekova Zh.Zh. Klassifikacija sil soprotivlenija dvizheniju rabochih organov vrashhatel'nogo dejstvija // XIII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye dostizhenija nauki-2017» - Praga: Publishing House «Education and Science», 2017. – S. 13-16.
10. Pershin G.V., Kadyrov A.S., Zhunusbekova Zh.Zh. Mestnye gliny dlja stroitel'stva sposobom «stena v grunte» // Nauchno-tehnicheskij sbornik «Novosti nauki Kazahstana». – Almaty: NCNTI, 2015. - №3(125). - S. 192- 204.

11. Zhunusbekova Zh.Zh., Kadyrov A.S. Nagruzhenie i jeksperimental'noe issledovanie konstrukcii rabocheho organa zemlerojnoj mashiny v glinistom rastvore//Vestnik Kazahskoj Akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. – Almaty: KazATK, 2015. – № 2-3 (93). – S. 70-76.
12. Kadyrov A.S., Zhunusbekova Z.Z., Ganyukov A.A. Study and calculation of earth-moving machines for the construction by wall in the ground method. Material and mechanical engineering technology Volume 1 №1, 2021 r. 3-8.
13. Kadyrov A. A., Ganyukov A.A., Balabekova K.G., Zhunusbekova Z.Z., Suleev B.D. Scientific and engineering bases for development of mobile overpasses. The journal Material and Mechanical Engineering Technology, Karaganda: KTU, 2020, №2, R.7-13.
14. Kadyrov A., Kukeshva A., Dyussenbaev E., Zhunusbekova Z., Bezkorovainy P. Theoretical and experimental study of diesel engine exhaust gas purification in a vertical ultrasonic muffler stand. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, 2026, Vol. 28, No.1, R.B18-B29 - DOI: 10.26552/com.C.2026.
15. Kadyrov A.S., Zhunusbekova Zh.Zh., Serikov Sh.M., Omarov Zh.K. Oborudovanie dlya bureniya skvazhin peremennogo diametra. Innovacionnyj patent na izobretenie №24135 ot 23.09.15 g.

Сведения об авторах:

Жунусбекова Ж.Ж. – автор для корреспонденции, доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Транспортная техника и логистические системы» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, ул. Н.Назарбаева 56, 100027, Караганда, Казахстан

Zhunusbekova Zh. Zh. – correspondence author, Doctor PhD, Associate Professor, Department of Transport Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, 56 N. Nazarbayev str., 100027, Karaganda, Kazakhstan

Жунусбекова Ж.Ж. – хат-хабар авторы, PhD докторы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің Көлік техникасы кафедрасы қауымдастырылған профессор, Н.Назарбаев көшесі 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)