



FTAXP 78.25.09

<https://doi.org/10.56132/2791-3368-2026-3-67-91-108>**Ф.Б. Ораз, А.Р. Фазылова, К.А. Алипбаев**

Energo University, Алматы, Қазақстан

E-mail: f.oral@au.es.kz

ӘСКЕРИ РОБОТОТЕХНИКАҒА АРНАЛҒАН ШЫНЖЫР ТАБАНДЫ МОБИЛЬДІ ПЛАТФОРМАНЫҢ МАКЕТІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТҰРАҚТЫЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Осы жұмыстың аясында көпфункционалды роботтық жүйеге арналған мобильді платформаның құрылымдық моделі нұсқасы жасалды. Зерттеудің негізгі мақсаты - әскери салаға жарамды жоғары беріктік сипаттамалары бар роботтық платформа үшін тиімді шешім ұсыну. SolidWorks 2023 бағдарламалық кешенінде параметрлік модельдеу тәсілі қолданылды. Жүйенің негізгі элементтері: жақтау, жетекші және бағыттаушы дөңгелектер, тірек элементтері және шынжыр табан бөлшектері бөлек-бөлек модельденіп, кейін бір құрастыру моделіне біріктірілді. Құрылымдық шикізат ретінде 5086 коррозияға төзімді алюминий қорытпасы және тозуға берік полиуретанды материалы таңдап алынды. Материал таңдау барысында біз экстремалды температуралық жағдайларды да ескердік.

Mass Properties атты құралдың есептеу нәтижелері бойынша жақтаудың массасы 33 023,56г, ал шынжыр табанды бөлшегінің массасы 123,24г екендігі анықталды. Ауырлық орталық координаттары $X=409,33\text{мм}$, $Y=354,30\text{мм}$ және $Z=168,61\text{мм}$ мәндерінде орналасқандығы байқалды. Ол құрылымның төменгі жағында шоғырланған. Бұл ерекшелік платформаның нашар, қиылысқан аймақтардағы тұрақтылығын арттырады және аударылыпқалу қаупін төмендетеді. Инерция моменттерінің мәндері массаның дизайн бойынша салыстырмалы түрде біркелкі бөлінгенін көрсетті. Есептеу нәтижелері бойынша шамамен қауіпсіз аймақ ретінде 47° (pitch) және 39° (roll) көлденең бұрыштарымен шектелетінін көрсетті. Шынжыр табанды платформалардың салыстырмалы талдауы оның кедергілерді өту, жүк көтере алу және тепе-теңдікті сақтау қабілетіндегі бірқатар артықшылықтарын ие екенін көрсетті.

Зерттеу барысында әзірленген шынжыр табанды платформаның әскери робототехникада саласында қолдануға әбден лайықты екенін көрсетті. Біздің ойымызша бұл шешім одан әрі нақты жағдайларда сынақтан өткізуге және жүйені жетілдіруге болады.

Түйінді сөздер: роботтандырылған платформа, мобильді робот, шынжыр табан, SolidWorks, әскери техника, беріктік.



Кіріспе.

Қазіргі уақытта мобильді роботтық платформаларды әскери мақсатта қолданыс аясы айтарлықтай кеңею үстінде. Қауіпті аймақтарда адам өміріне төнетін қауіп-қатерді азайту мақсатында роботтық жүйелерді пайдалану заманауи армиялардың маңызды басымдықтарының біріне айналды. Мұндай платформалар көмегімен барлау шараларын жүргізіп, жарылғыш заттарды тауып және залалсыздандыру, жүктерді жеткізу, жараланған сарбаздарды эвакуациялау, әртүрлі инфрақұрылым нысандарын бақылау сияқты міндеттерді орындай алады. Автономды басқару жүйелері мен жасанды интеллект негізінде шешім қабылдау алгоритмдері интеграциялау арқылы, роботтық жүйелер операциялардың тиімділігін арттырып қана қоймай, адам шығынын азайтуға септігін тигізеді [1,2].

Роботтардың функционалдық мүмкіндіктерін арттыру мақсатында әртүрлі қозғалыс бөліктері қолданылады. Оларға дөңгелекті, шынжыр табанды, аяқты, гибридті жүйелер жатады. Әрбір тип өзіндік тән ерекшеліктері мен қолдану салалары бар [3].

Материалдар мен тәсілдер.

Мобильді роботтық платформалардың түрлері.

Мобильді роботтық жүйелер бүгіегі таңда ғылым, өндіріс, іскери техника және тұрмыстық салаларда кеңінен қолданылады. Бұл құрылғылар әртүрлі міндеттерді орындау үшін қоршаған ортаға өздігінен дербес тапсырмалар орындауға мүмкіндік береді. Қозғалыс принциптеріне қарай мобильді роботтар бірнеше негізгі түрлерге бөлінеді, әрбір түрдің әрқайсысының жағымды жақтары мен кемшіліктері, шектеулері бар.

1 кесте - Мобильді роботтық платформалардың түрлері және сипаттамалары

Роботтық платформа түрі	Сипаттамасы
Дөңгелекті платформалар	Құрылымы қарапайым және кең таралған мобильді жүйелердің бірі. Олар жоғары жылдамдықпен қозғалып, энергияны салыстырмалы түрде аз тұтынады. Алайда күрделі және кедергілері көп жерлерде олардың қозғалу мүмкіндігі шектеулі болады [4].
Шынжыр табанды платформалар	Қиын бедерлі және кедергілері көп аймақтарда тиімді жұмыс істеуге арналған. Мұндай платформалар жоғары тұрақтылық пен жақсы өтімділікке ие, дегенмен олардың қозғалыс жылдамдығы төмендеу және энергия шығыны жоғары болады [5].
Аяқты платформалар	Қозғалысты арнайы жетектер арқылы жүзеге асырады. Олар табиғи орта жағдайларына жақсы бейімделген және күрделі бедерлерді еңсере алады. Дегенмен мұндай жүйелердің басқару алгоритмдері күрделі және энергия шығыны көп [6].

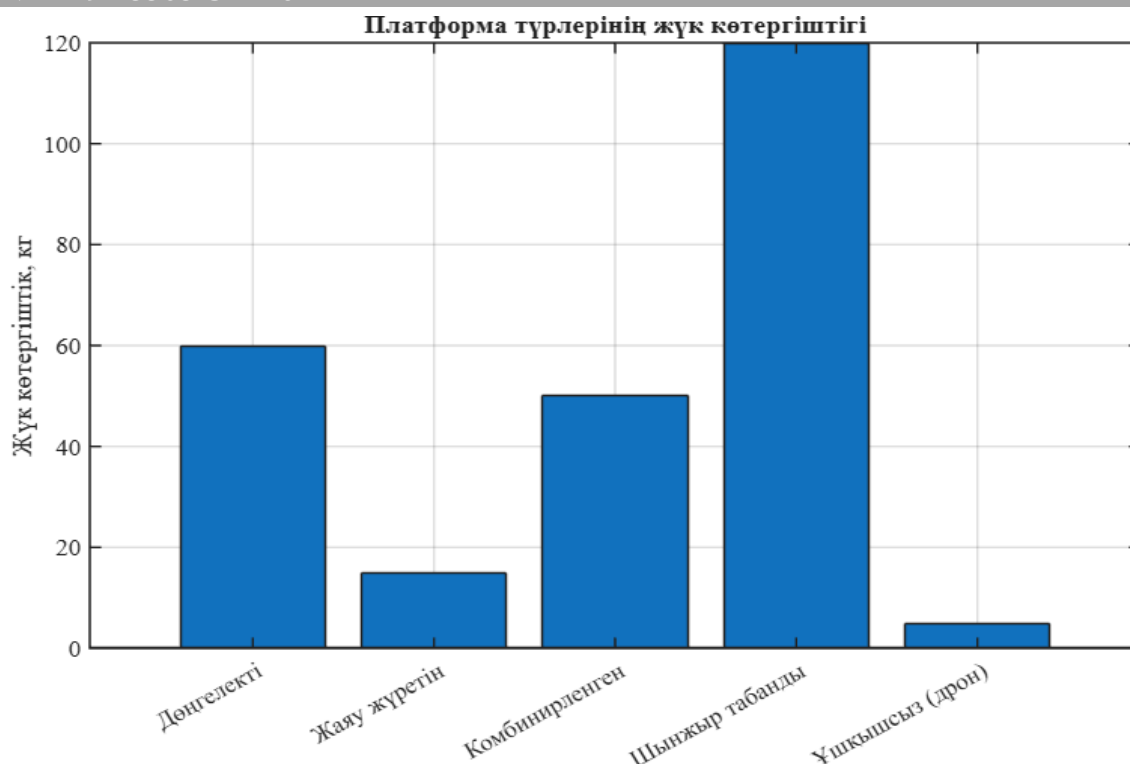


Комбинацияланған платформалар	Бірнеше қозғалыс принциптерін біріктіреді. Мысалы, дөңгелек пен аяқ механизмдерінің үйлесімі олардың әртүрлі жағдайларда тиімді жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Мұндай платформалар әмбебаптығымен ерекшеленеді [7].
Ұшқышсыз мобильді платформалар (дрондар)	Әуе кеңістігінде қозғалып, адам жетуі қиын аймақтарда тапсырмаларды орындай алады. Олар әуе барлауында, картографияда және құтқару операцияларында кеңінен қолданылады [8].

Жоғарыда аталған мобильді роботтық платформалардың салыстырмалы сипаттамасы төмендегі 2-кестеде келтірілген.

2 кесте - Мобильді платформалардың сипаттамасы

<i>Түрі</i>	<i>Артықшылықтары</i>	<i>Кемшіліктері</i>	<i>Қолданылуы</i>	<i>Жүк көтергіштік</i>	<i>Орташа жылдамдығы</i>
Дөңгелекті	Жылдам, энергияны аз тұтынады, құрылымы жеңіл	Кедергілерді еңсере алмайды	Логистика, қызмет көрсету, барлау	20-100 кг	5-15 км/сағ
Шынжыр табанды	Тұрақтылығы жоғары, кедергіден өту қабілеті бар	Жылдам емес, энергия шығыны көп	Әскери техника, құтқару жұмыстары	50-200 кг	2-7 км/сағ
Жаяу жүретін	Қиын бедерде жүруге бейімделген	Басқаруы күрделі, энергияны көп қажет етеді	Ғарыш, әскери, зерттеу экспедициялары	10-20 кг	1-5 км/сағ
Комбинирленген	Әмбебап, әртүрлі ортада қозғалады	Құрылымы күрделі, құны қымбат	Көпфункционалы роботтар	30-80 кг	3-10 км/сағ
Ұшқышсыз (дрон)	Әуеден бақылау, қолжетімсіз жерлерге жету	Батарея шектеулі, жүк көтергіштігі аз	Әуе барлау, ауыл шаруашылығы, картография	0,5-10 кг	30-80 км/сағ



1 сурет - Мобильді платформалардың жүк көтеру қабілетінің салыстырмалы диаграммасы

Диаграммада көрініп тұрғандай, шынжыр табанды платформа жүк көтергіштік деңгейі басқаларға қарағанда өте жоғары.

Шетелдік үлгідегі мобильді платформаларға шолу.

Шет мемлекеттерде әзірленген ұқсас платформалар өнеркәсіпте, ғылыми зерттеулерде, әскери салада, авиацияда және ғарыштық технология бағытында кеңінен пайдаланылады. Шетелдік үлгілердің қысқаша сипаттамасы 3 - кестеде жүйеленген.

3 кесте - Мобильді платформалардың сипаттамалық ерекшеліктері мен үлгілері

Роботтық платформа түрі	Негізгі мысалдар	Ерекшеліктері
Аяқты платформалар	Boston Dynamics компаниясының Spot роботы	Бұл робот автономды қозғалыс мүмкіндігіне ие және 360° шолу жүйесі мен LiDAR сенсорларының көмегімен күрделі кедергілерді еңсере алады. Ол шамамен 14 кг-ға дейінгі жүкті тасымалдауға қабілетті.
	Швейцарияда әзірленген ANYmal платформасы	Өнеркәсіптік инфрақұрылымдарды бақылау және диагностикалау мақсатында қолданылады. Оның сенсорлық жүйелері қоршаған ортаның әртүрлі параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

	Қытайлық Unitree Go1 платформасы	Платформа салыстырмалы түрде қолжетімді бағасымен ерекшеленіп, білім беру және ғылыми салаларда қолданылады. [9–11].
<i>Дөңгелекті платформалар</i>	Clearpath Robotics компаниясының Jackal платформасы	Бұл жүйе ROS бағдарламалық ортасымен үйлесімді болып, әртүрлі сенсорлар мен қосымша жабдықтарды орнатуға мүмкіндік береді, сондықтан ғылыми зерттеулерде жиі қолданылады
	Данияда жасалған MiR100 автономды мобильді роботы	Өндірістік кәсіпорындар мен қоймаларда жүктерді тасымалдауға арналған тиімді шешімдердің бірі болып саналады [12,13].
<i>Шынжыр табанды платформалар</i>	iRobot PackBot (АҚШ)	Әскери мақсаттағы танымал робот, ол жарылғыш заттарды залалсыздандыруда және барлау операцияларында қолданылады.
	QinetiQ Talon (Ұлыбритания/АҚШ)	Әскери инженерлік міндеттерді атқарады: жарылғыштарды жою, барлау және қауіпті аймақтарды тексеру.
<i>Гибридті және арнайы прототиптер</i>	Франциядағы Air-Cobot	Авиация саласында ұшақтарды тексеру үшін қолданылатын танымал робот жатады.
	MuSHR	Шағын жарыс көлігі тәрізді роботы білім беру мен автономды басқаруды үйретуге қолданылады. [17-19]

Мобильді платформалардың нақты шетелдік прототиптеріне шолу негізінде салыстырмалы талдау төмендегі 4 – кестеде көрсетілген.

4 кесте – Әртүрлі шетелдік мобильді платформалардың салыстырмалы сипаттамасы

<i>Прототип атауы</i>	<i>Негізгі ерекшеліктері</i>	<i>Артықшылықтары</i>	<i>Қолданылатын сала</i>	<i>Суреттері</i>
Spot (Boston Dynamics)	4 аяқты, LiDAR, 360° камера, 14 кг жүк көтергіштік	Қиын рельефте жұмыс істейді	Өнеркәсіп, қауіпсіздік	
ANYmal (ANYbotics)	4 аяқты, сенсорлармен жабдықталған	Инфракұрылымды бақылау, тепе-теңдік	Өнеркәсіп, энергетика	

Go1 (Unitree)	Шағын, жеңіл, қолжетімді	Бағасы төмен, білім беруге ыңғайлы	Зерттеу, оқу	
Jackal (Clearpath)	4 дөңгелекті, ROS үйлесімді	Сенсор орнатуға ыңғайлы	Ғылыми зерттеу	
MIR100 (Дания)	3 дөңгелекті, логистикаға арналған	Жүк тасымалдау,	Өндірістік логистика автономды навигация	
Air- Cobot	2 дөңгелекті	Адаммен бірге жұмыс істейді	Авиациялық инспекция	
E-puck / Khepera	Дөңгелекті шағын роботтар	Swarm robotics зерттеулеріне ыңғайлы	Ғылыми зерттеу	
Taurob Inspector	Шынжыр табанды, Өнеркәсіпке арналған, АТЕХ сертификаты бар	Қауіпсіздік стандарттары на сай, төзімді	Мұнай-газ өндірісі, қауіпті аймақ, 2скри сала	
PackBot (iRobot)	Шынжыр табанды, EOD робот	Жарылғыш заттарды залалсызданд ыру, барлау	Әскери сала, құтқару	
Talon (QinetiQ)	Шынжыр табанды, Әскери инженерлік робот	Қауіпті аймақтарды тексеру, ауыр жүкті көтеру	Әскери сала, барлау	
Airbus Codi & Charlie	Дөңгелекті/гибри д, Марс-ровер прототиптері	Қиын бедерде навигация	Ғарыштық зерттеу	



MuSHR (UW)	Дөңгелект, Жарысқа арналған open-source	Автономды басқаруды дамытуға қолайлы	Білім беру, зерттеу	
------------	---	--------------------------------------	---------------------	---

Барлық салыстырмалы сипаттамаларға сүйене отырып шынжыр табанды платформа әскери сала үшін мобильді роботтық платформалардың ішінде ең тиімді түрі болып саналады. Себебі олар түрлі кедергілері бар қиын рельефті аймақтарда (кұм, батпақ, тас, қираған ғимарат) сенімді қозғала алады. Шынжыр табанды ж үйе ауыр жүктемелерді көтеруге және роботтың орнықтылығын жоғары деңгейде сақтайды [20].

Конструкциялық модельді жобалау әдістемесі.

Жұмыс барысында біз шынжыр табанды мобильді платформаның үшөлшемді 3D конструкциялық моделі SolidWorks 2023 бағдарламалық ортасында әзірледік. Жобалау кезінде параметрлік модельдеу әдісі қолданылды. Бұл тәсіл бойынша платформаның негізгі элементтері: шынжыр табан бөліктері, рама, жетекші біліктер, бағыттаушы және тірек дөңгелектері шынжыр табан компоненттері ретінде модельденді. Кейін құрастыру (Assembly) модульінде біртұтас жүйеге біріктірілді. Бұл арқылы біз конструкцияның геометриялық өлшемдер және массалық сипаттамаларын дәл есептеуге, өндірістік жағдайда барынша сәйкес келетін үлгіге жақын модель құруға мүмкіндік туды.

Материалдарды таңдау принциптері.

Платформаның элементтеріне материалдар таңдау кезінде бірнеше негізгі критерийлер ескерілді.

4 кесте - Платформаның элементтеріне материалдар таңдау кезінде негізгі критерийлер

Кезеңдер	Негізгі критерийлер
Кезең 1	Конструкцияның жалпы массасын азайту және қозғалыс тиімділігін арттыру мақсатында беріктік пен салмақтың оңтайлы арақатынасы қарастырылды.
Кезең 2	Әскери және күрделі климаттық жағдайларда пайдалану ерекшеліктеріне байланысты материалдардың коррозияға төзімділігі ескерілді.
Кезең 3	Шынжыр табандының ұзақ жұмысын қамтамасыз ету үшін оның серпімділігі мен тозуға төзімділігі бағаланды
<i>Қорытынды:</i> раманы дайындау үшін жоғары беріктігімен және коррозияға төзімділігімен ерекшеленетін алюминийдің 5086 маркалы қорытпасы таңдалды. Ал шынжыр табан элементтері үшін жоғары серпімділік қасиетіне ие полиуретан негізіндегі материал алынды [21].	

Массалық сипаттамаларды есептеу әдісі.

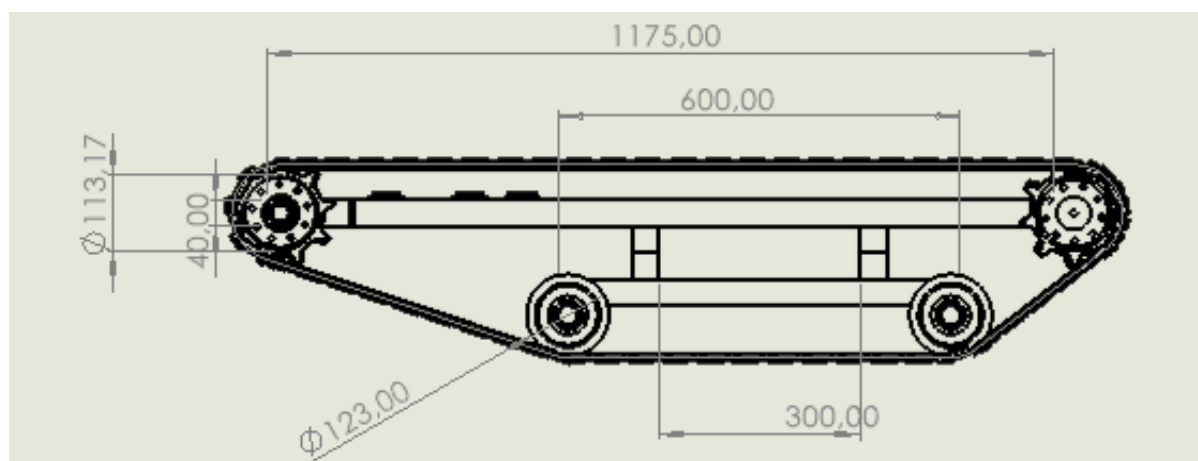
Платформаның массалық және инерциялық сипаттамаларын анықтау мақсатында SolidWorks бағдарламасының Mass Properties құралын қолдандық. Бұл құрал модельдің жалпы массасын, көлемдік көрсеткішін, ауырлық орталығының координаталарын және инерция моменттерін автоматты түрде есептеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістемесі төрт негізгі кезеңнен тұрды [22]: платформаның үш өлшемді модельін әзірлеу; әрбір бөлшекке сәйкес материалдық қасиеттерді беру; құрастырылған модель деңгейінде есептеулер жүргізу; алынған нәтижелерді өңдеу және оларды талдау.

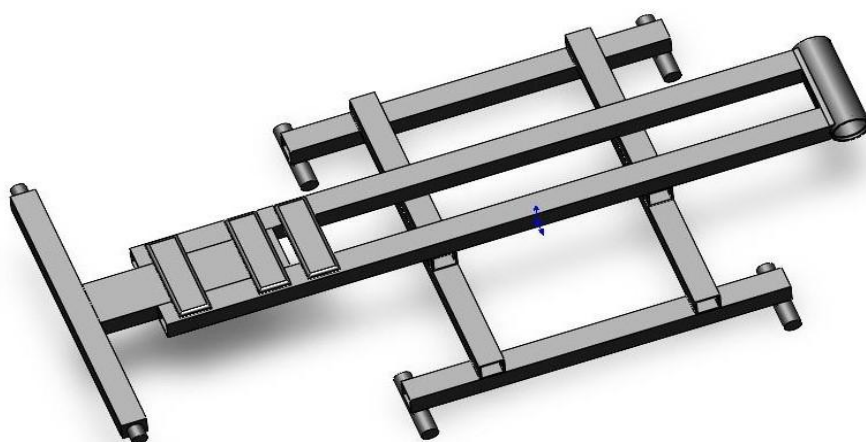
Нәтижелер және талқылау.

Конструкциялық модель нәтижелері.

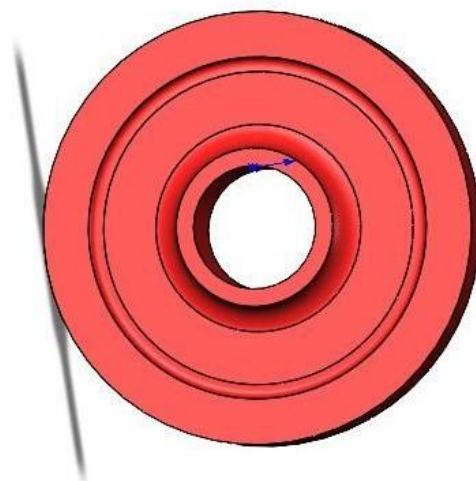
SolidWorks бағдарламасы көмегімен әзірленген модель шынжыр табанды мобильді платформаның негізгі элементтерін қамтиды: рамалық негіз, жетекші және бағыттаушы дөңгелектер, тіреуіш және шынжыр табан бөлік элементтері кіреді.



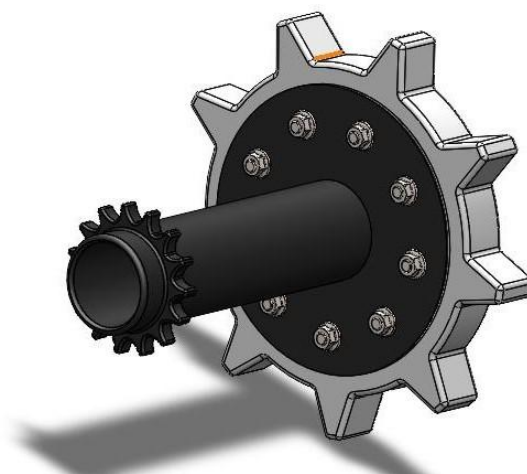
2 сурет - Рамалық құрылымның жобалық сызбасы



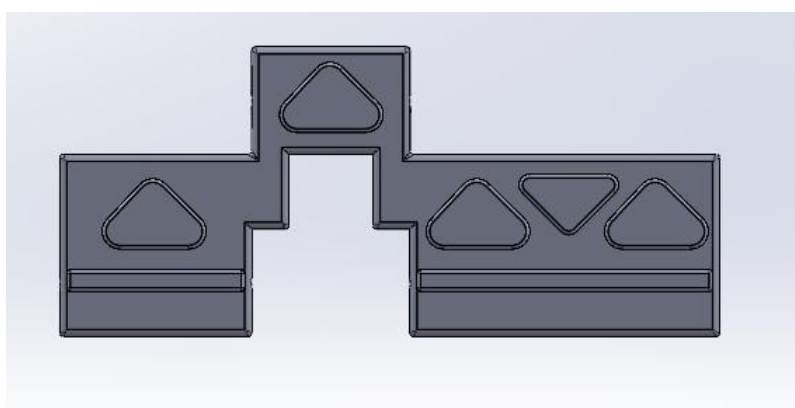
3 сурет – Негізгі рама элементінің жобаланған моделі



4 сурет - Жетекші немесе бағыттаушы дөңгелектердің моделі



5 сурет - Тіреуіш дөңгелек моделі



6 сурет - Шынжыр табанның буынының моделі



7 сурет - Платформаның толық жинақталған 3D макеті

Масса мен көлемдік көрсеткіштер.

Mass Properties құралының пайдалана отырып, шынжыр табанды мобильді платформаның негізгі масса көлемдік сипаттамалары анықталды. Жүргізілген есептеулер нәтижесінде жүйе элементтерінің массасы мен инерциялық параметрлері алынды. Жинақталған негізгі массалық мәліметтер 6-кестеде келтірілген.



6 кесте - Шынжыр табанды мобильді платформаның массалық сипаттамалары

<i>Элемент</i>	<i>Масса, г</i>	<i>Көлем, мм³</i>	<i>Беткі ауданы, мм²</i>	<i>Ауырлық орталығы (X; Y; Z), мм</i>	<i>Негізгі инерция моменттері, г·мм</i>
Рама (гусеницасыз)	33023,56	6476847,59	2586078,14	(409,33; 354,3; 168,61)	$I_{xx} = 1,15 \cdot 10^{10}$; $I_{yy} = 1,4 \cdot 10^{10}$; $I_{zz} = 1,15 \cdot 10^{10}$;
Шынжыр табан (1 дана)	123,24	100 586,41	30090,94	(468,86; 274,41; 10,01)	$I_{xx} = 9,34 \cdot 10^6$; $I_{yy} = 2,75 \cdot 10^7$; $I_{zz} = 3,68 \cdot 10^7$

Кестеде көрсетілген деректер платформа массасы негізгі бөлігі рамадан тұратынын және шынжыр табан салыстырмалы түрде жеңіл екенін көрсетті. Есептеу ауырлық орталығының координаталарын $X = 409,33$ мм, $Y = 354,3$ мм, $Z = 168,61$ мм деп анықтады. Бұл ауырлық орталығы төмен орналасқанын және роботтың динамикалық тұрақтылығын арттыратынын көрсетеді. Практикалық жағдайда конструкция кедергілерден өткенде аударылу қаупін азайтады және қозғалыс кезінде тұрақтылығын, тартылыс күшін қамтамасыз етеді.

Шынжыр табанды платформаның әскери артықшылығы.

Салыстырмалы талдау шынжыр табанды платформаның әскери мақсатта тиімді шешім екенін көрсетті. Артықшылықтары:

- кедергілерді еңсеру қабілеті: құм, батпақ, қиыршық тас немесе қираған ғимарат аумақтарында сенімді қозғалу;
- жүк көтергіштік және тұрақтылық: ауыр құрал-жабдықты немесе жаралыларды тасымалдауға мүмкіндік береді;
- тәжірибелік дәлелдер: АҚШ-тағы PackBot және Talon үлгілері Ирак пен Ауғанстандағы операцияларда жарылғыш заттарды залалсыздандыру және барлау жұмыстарында кеңінен қолданылды; Австрияның Taurob Inspector роботы мұнай-газ өнеркәсібінде қауіпті аймақтарда өзінің сенімділігін дәлелдеді.

Шынжыр табанды платформалар өнеркәсіптік емес, әскери салада да қолданылады.

Статикалық тұрақтылық (қисайып аударылу шектері).



Массалық сипаттамаларға (CG биіктігі h) сүйене отырып, платформаның квазистатикалық тұрақтылығы ұзындық бойымен (pitch) және қаптал бойынша (roll) келесі аналитикалық өрнектермен бағаланды:

$$\theta_{max} = \arctan \cdot L2h,$$

$$\varphi_{max} = \arctan \cdot W2h,$$

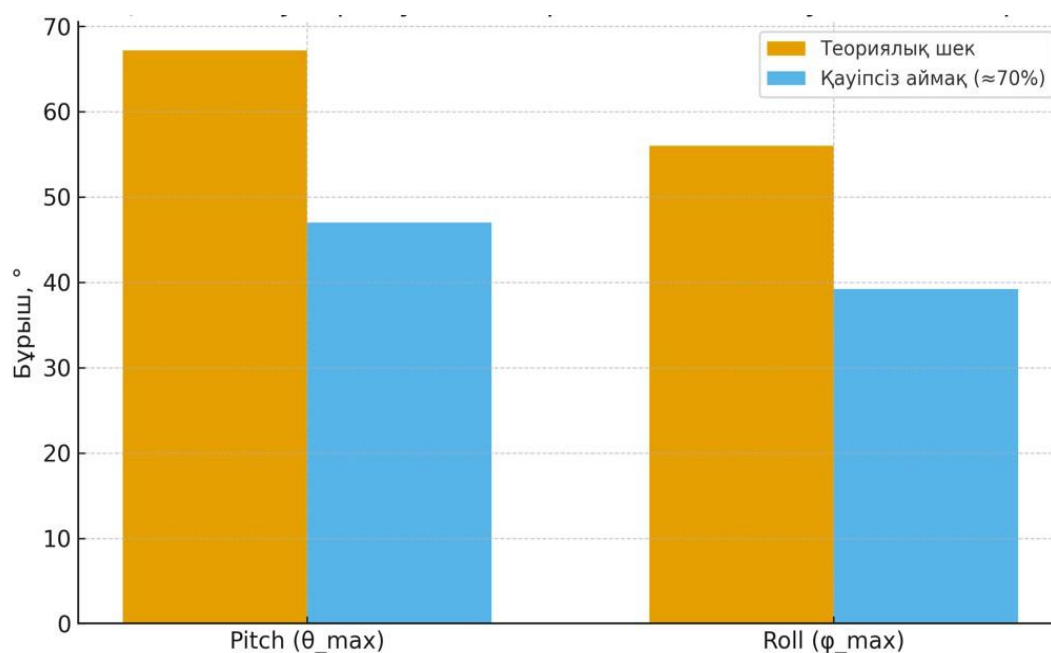
$$SSF = W2h.$$

мұнда L : база ұзындығы, W : база ені, h : ауырлық орталығының биіктігі (SolidWorks *Mass Properties* нәтижесі). [24,25]

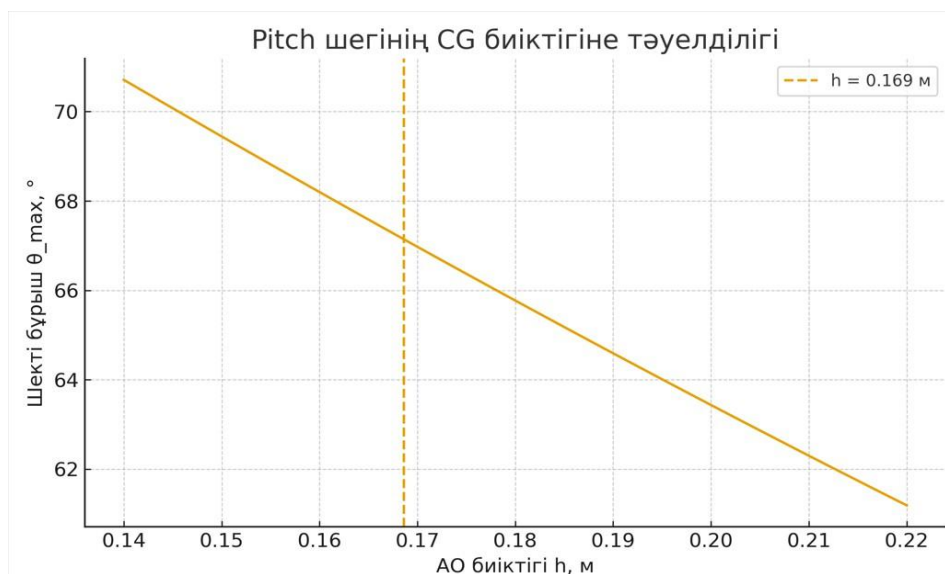
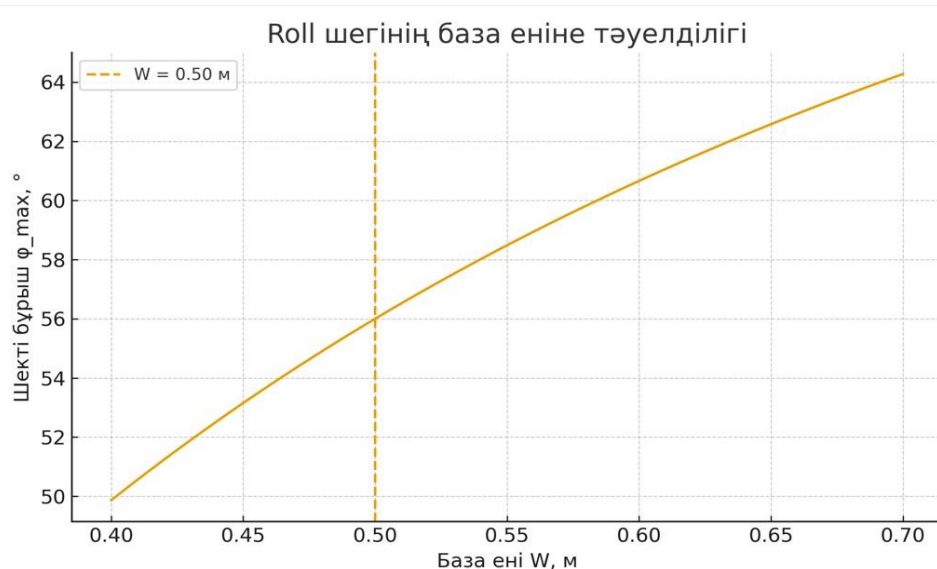
Енгізулер: $L=0,80$ м, $W=0,50$ м, $h= 0,16861$ м

7 кесте - Есептік нәтижелер (статикалық)

Көрсеткіш	Формула	Нәтиже	Түсіндірме
Ұзындық бойындағы шекті еңіс бұрышы, θ_{max}	$\arctan L2h$	67,2°	Теориялық квазистатикалық шек (өрге/төменге қисайғанда).
Қаптал еңісінің шекті бұрышы, φ_{max}	$\arctan W2h$	56,0°	Қапталдан аударылу шегі.
Статикалық тұрақтылық факторы, SSF	$W2h$	1,48	SSF қаптал тұрақтылығы (1,3-1,5 жақсы деңгей).



8 сурет - Қисайып аударылудың теориялық және қауіпсіз шектері (бағандық диаграмма)

9 сурет - Pitch шегінің CG биіктігіне тәуелділігі ($\theta_{\max}$ vs h)10 сурет - Roll шегінің база еніне тәуелділігі ($\phi_{\max}$ vs W)

Интерпретация. CG-дің салыстырмалы төмен биіктігі ($h \approx 0,169$ м) платформаға еңістерде де тепе-теңдігін сақтауға мүмкіндік береді, ал бойлықта $\sim 67^\circ$ және қапталда ~ 56 . Практикалық пайдалануда қауіпсіздік қоры ретінде теориялық шектердің $\leq 70\%$ бөлігін қолдану ұсынылады: шамамен 47° (pitch) және 39° (roll). Бұл платформа ешқандай шектен аспайтыны туралы нақты көрсеткіш.

Қорытынды.

Жүргізілген зерттеу жұмысының аясында мобильді роботтық платформалардың негізгі түрлері мен олардың шетелдік өкілдеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Талдау нәтижелері көрсеткендей, шынжыр табанды платформалар қиын жер бедеріне жоғары өтімділікке ие екенін,



тұрақтылығымен және жүк көтергіштік қабілеті басым екенін көрсетті. Бұл қасиеттер оларды әскери мақсаттағы роботтандырылған жүйелерде тиімді пайдалануға мүмкіндігін арттырады.

SolidWorks 2023 бағдарламалық ортасында құрастырылған үш өлшемді макет негізінде платформаның негізгі массалық сипаттамалары анықталды. Есептеу деректері бойынша раманың массасы 33 023,56 г болса, ал шынжыр табан элементтінің массасы 123,24г-ды құрады. Ауырлық орталығының конструкцияның төменгі аймағында орналасуы және инерция моменттерінің салыстырмалы түрде біркелкі таралуы платформаның динамикалық тұрақтылыққа ие екенін көрсетті. Сонымен қбірге, жүк көтергіштік, қозғалыс жылдамдығы және автономды жұмыс уақыты сияқты параметрлер бойынша жүргізілген салыстырмалы талдау шынжыр табанды платформаның әскери жағдайда қолдануға бейім екенін растады.

Статикалық тұрақтылықты бағалау нәтижесінде платформаның шекті тұрақтылық бұрыштары $\theta_{\max} \approx 67,2^\circ$ және $\varphi_{\max} \approx 56,0^\circ$ екені анықталды.

Практикалық пайдалану кезінде қауіпсіздік мақсатында аталған мәндердің шамамен 70%-ын, яғни бойлық бағытта 47° және көлденең бағытта 39° бұрыштарды қолдану ұсынылады.

Ғылыми жаңалығы зерттеу барсында шынжыр табанды мобильді робот платформаның үшөлшемді конструкциялық моделінің әзірленуімен және оның массалық инерциялық сипаттамаларының анықтауымен сипатталды. Ауырлық орталығы мен инерция моменттерін талдау конструкцияның тұрақтылық қасиеттерін бағалауға мүмкіндік берді.

Практикалық маңыздылығы әзірленген модельдің іскери робототехника саласында тәжірибелік үлгілерді жобалау үшін инженерлік негіз бола алатындығында. Алынған нәтижелерді болашақта беріктік талдауында (FEA), қозғалыс динамикасын модельдеуде (Motion Analysis) және автономды басқару жүйелерін енгізу барысында пайдалануға болады. Бұл өз кезегінде әскери мақсаттағы роботтандырылған жүйелердің тиімділігі мен сенімділігін арттырады.

Алғыс. Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған BR27195331 «Миналарды, оқ-дәрілерді және қолдан жасалған жарылғыш құрылғыларды іздеу және залалсыздандыру мүмкіндігі бар әскери мақсаттағы көпфункционалды роботтандырылған жүйені әзірлеу» ғылыми жоба аясында дайындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Комекбаев, А. Е., Алипбаев, К. А., Аден, А. Е., & Оразалы, Е. Е. (2025). Обзор мирового опыта создания роботизированных комплексов для поиска и обезвреживания мин. Bulletin of the CAA, 37(2). DOI: 10.53364/24138614_2025_37_2_6
2. Nurgizat, Y., Sultan, A., Zhetenbayev, N., Ayazbay, A.-A., Uzbekbayev,



A., Sergazin, G., & Alipbayev, K. (2025, August 29). Comparative analysis of modern robotic demining complexes and development of an automated mission planning algorithm. *EEPES 2025*, 63. Presented at the EEPES 2025. DOI: 10.3390/engproc2025104063

3. Jahn U., Straube S. “A Taxonomy for Mobile Robots: Types, Applications, Capabilities, and Development.” *Robotics*, 2020, 9(4):109. DOI: 10.3390/robotics9040109.

4. Bruzzone, L., Baggetta, M., Nodehi, S. E., Bilancia, P., & Fanghella, P. (2021). Functional design of a hybrid leg-wheel-track ground mobile robot. *Machines*, 9(1), 10. DOI: 10.3390/machines9010010

5. Bruzzone, L., Nodehi, S. E., & Fanghella, P. (2022). Tracked locomotion systems for ground mobile robots: A review. *Machines*, 10(8), 648. DOI: 10.3390/machines10080648

6. Spröwitz, A., Tuleu, A., Vespignani, M., Ajallooeian, M., Badri, E., & Ijspeert, A. J. (2013). Towards dynamic trot gait locomotion: Design, control, and experiments with Cheetah-cub, a compliant quadruped robot. *The International Journal of Robotics Research*, 32(8), 932-950. DOI: 10.1177/0278364913489205

7. Straticiuc, C., Doroftei, I., & Cazacu, C.-M. (2024). A short overview on terrestrial hybrid locomotion mobile robots. In *Mechanisms and Machine Science. Advances in Service and Industrial Robotics* (pp. 285-296). DOI: 10.1007/978-3-031-59257-7_29

8. . Shin, W. D., Park, J., & Park, H.-W. (2019). Development and experiments of a bio-inspired robot with multi-mode in aerial and terrestrial locomotion. *Bioinspiration & Biomimetics*, 14(5), 056009. DOI: 10.1088/1748-3190/ab2ab7

9. Электронды ресурc - <https://www.unitree.com/go1>

10. Электронды ресурc - <https://bostondynamics.com/products/spot/>

11. Электронды ресурc - <https://www.anybotics.com/robotics/anymal/>

12. Электронды ресурc - <https://clearpathrobotics.com/jackal-small-unmanned-ground-vehicle/>

13. Электронды ресурc - <https://mobile-industrial-robots.com/products/robots>

14. Электронды ресурc - <https://www.flir.com/products/packbot/?vertical=ugs&segment=uis>

15. Электронды ресурc - <https://www.qinetiq.com/en/what-we-do/services-and-products/talon-medium-sized-tactical-robot>

16. Электронды ресурc - <https://www.taurob.com/inspector/> 14-16

17. Pellerin, D., Morand, D., Moisan, S., & Clément, B. (2017). The Air-Cobot project: Towards a collaborative mobile robot for aircraft inspection. In *Proceedings of the 20th IFAC World Congress* (pp. xxxx-xxxx). Toulouse, France: IFAC. Retrieved from

18. Электронды ресурc - <https://mushr.io/>

19. Jiang P. et al. “Lateral Stability of a Mobile Robot Utilizing an Active Suspension.” *Applied Sciences*, 2019, 9(20):4410. DOI: 10.3390/app9204410.



20. Нусибалиева, А., Юсупова, С., Жетенбаев, Н., Бакирова, Н., & Балбаев, Ғани. (2023). Machine-to-machine (m2m) технологиясын қолдана отырып, мобильді роботты машиналарға қызмет көрсету платформасы арасындағы байланысын зерттеу. Вестник КазАТК, 128(5), 209-222. DOI: 10.52167/1609-1817-2023-128-5-209-222
21. Jiang P. et al. “Lateral Stability of a Mobile Robot Utilizing an Active Suspension.” Applied Sciences, 2019, 9(20):4410. DOI: 10.3390/app9204410.
22. Bruzzone L. “Tracked Locomotion Systems for Ground Mobile Robots: A Review.” Machines, 2022, 10(8):648. DOI: 10.3390/machines10080648.
23. Ugenti A., Galati R., Reina G. “Analysis of an all-terrain tracked robot with innovative passive joints (Polibot).” Mechanism and Machine Theory, 2023, 182:105237. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2023.105237.
24. Shabana A.A. Dynamics of Multibody Systems, 5th ed. Cambridge Univ. Press, 2020. DOI: 10.1017/9781108757553.
25. Yang W. et al. “Tip-over stability estimation and simulation of mobile robots.” International Journal of Intelligent Robotics and Applications, 2025. DOI: 10.1007/s41315-025-00423-9.

Фариза Ораз, докторант, младший научный сотрудник, Energo University, Алматы, Казахстан, f.ozaz@aes.kz

Алина Фазылова, PhD, научный сотрудник, Energo University, Алматы, Казахстан, a.fazylova@aes.kz

Куаныш Алипбаев, PhD, ассоциированный профессор, Energo University, Алматы, Казахстан, k.alipbayev@aes.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА ГУСЕНИЧНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ВОЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ

Аннотация. В рамках данной работы был разработан вариант структурной модели мобильной платформы для многофункциональной роботизированной системы. Основная цель исследования-предложить эффективное решение для роботизированной платформы с высокими прочностными характеристиками, пригодной для военных. В программном комплексе SolidWorks 2023 применен подход параметрического моделирования. Основные элементы системы: рама, ведущие и направляющие колеса, опорные элементы и детали гусеницы были смоделированы отдельно, а затем объединены в одну модель сборки. В качестве конструкционного сырья были выбраны коррозионностойкий алюминиевый сплав 5086 и износостойкий полиуретановый материал. При выборе материала мы также учитывали экстремальные температурные условия.



По результатам расчетов прибора под названием Mass Properties установлено, что масса рамы составляет 33 023,56 г, а масса детали гусеницы-123,24 г. Было замечено, что центральные координаты тяжести расположены при значениях $X=409,33$ мм, $Y=354,30$ мм и $Z=168,61$ мм. Он сосредоточен в нижней части конструкции. Эта особенность повышает устойчивость платформы в плохих, пересеченных зонах и снижает риск опрокидывания. Значения моментов инерции показали, что масса относительно равномерно распределена по конструкции. Результаты расчетов показали, что ориентировочная безопасная зона ограничена горизонтальными углами 47° (pitch) и 39° (roll). Сравнительный анализ гусеничных платформ показал, что они обладают рядом преимуществ в способности преодолевать препятствия, выдерживать нагрузки и сохранять равновесие.

Исследование показало, что разработанная гусеничная платформа достойна применения в области военной робототехники. На наш взгляд, это решение можно будет дополнительно протестировать в реальных условиях и усовершенствовать систему.

Ключевые слова: роботизированная платформа, мобильный робот, гусеница, SolidWorks, военная техника, долговечность.

Fariza Oraz, doctoral student, junior researcher, Energo University, Almaty, Kazakhstan, f.oraz@aes.kz

Alina Fazylova, PhD, researcher, Energo University, Almaty, Kazakhstan, a.fazylova@aes.kz

Kuanysh Alipbayev, PhD, associate professor, Energo University, Almaty, Kazakhstan, k.alipbayev@aes.kz

MODELING A PROTOTYPE OF A TRACKED MOBILE PLATFORM FOR MILITARY ROBOTICS AND ANALYZING STABILITY PARAMETERS

Abstract. As part of this work, a version of the structural model of the mobile platform for a multifunctional robotic system was developed. The main goal of the study is to offer an effective solution for a robotic platform with high strength characteristics suitable for the military. The parametric modeling approach was used in the SolidWorks 2023 software complex. The main elements of the system: frame, drive and guide wheels, support elements and Caterpillar parts were modeled separately and then combined into one assembly model. 5086 corrosion-resistant aluminum alloy and wear-resistant polyurethane material were selected as structural raw materials. In the process of choosing a material, we also took into account extreme temperature conditions.



According to the calculation results of a tool called Mass Properties, it was found that the mass of the frame is 33,023.56 g, and the mass of the Caterpillar part is 123.24 g. It was observed that the coordinates of the center of gravity are located at the values $X=409.33$ mm, $Y=354.30$ mm and $Z=168.61$ mm. It is concentrated at the bottom of the structure. This feature increases the stability of the platform in poor, intersecting areas and reduces the risk of tipping over. The values of the moments of inertia showed that the mass was relatively evenly distributed throughout the design. Based on the results of the calculation, it was shown that approximately as a safe zone is limited to horizontal angles of 47° (pitch) and 39° (roll). Comparative analysis of tracked platforms showed that it has several advantages in the ability to overcome obstacles, lift loads and maintain balance.

The research showed that the developed tracked platform is quite suitable for use in the field of military robotics. In our opinion, this solution can be further tested in real conditions and improve the system.

Keywords: robotic platform, mobile robot, Caterpillar, SolidWorks, military equipment, durability.

Қабылданған күні: 22 маусым 2026 ж.

Рецензиядан өткен күні: 19 тамыз 2026 ж.

Мақұлданған күні: 21 тамыз 2026 ж.