

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ ИНЖЕНЕРЛІК АКАДЕМИЯСЫ  
АКАДЕМИК Ө.А. ЖОЛДАСБЕКОВ АТЫНДАҒЫ МЕХАНИКА ЖӘНЕ МАШИНАТАНУ  
ИНСТИТУТЫ**

**НАЦИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И МАШИНОВЕДЕНИЯ ИМЕНИ АКАДЕМИКА  
У.А.ДЖОЛДАСБЕКОВА**

**NATIONAL ENGINEERING ACADEMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
U. JOLDASBEKOV INSTITUTE OF MECHANICS AND ENGINEERING**



**«БОЛАШАҚ МЕХАНИКАСЫ» атты**

Екінші Халықаралық Жолдасбеков Симпозиумының

**БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

1-5 наурыз 2021 жыл, Алматы

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

Второго Международного Джолдасбековского Симпозиума

**«МЕХАНИКА БУДУЩЕГО»**

1-5 марта 2021 года, Алматы

**REPORTS DIGEST**

Second International Joldasbekov Symposium

**«FUTURE MECHANICS »**

1-5 March 2021, Almaty

## АЙНАЛАТЫН РЕЗЕРВУАРДАҒЫ СУДЫҢ ЕРКІН БЕТІ

Баймаганбетова Ш.Ж., Туралина Д.Е., Берденова Б.А.

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Түйіндеме.** Вертикаль ось маңында айналатын резервуар типтес құрылғылар өндірісте, практикада, күнделікті тұрмыста кең ауқымда қолданылады. Резервуарды вертикаль ось бойынша айналдыру әдісі біртекті емес заттарды бөлу, араластыру үшін әр түрлі салаларда қолданылады. Цилиндрлі резервуардың вертикаль осі маңында тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналатын резервуар ішіндегі сұйықтың еркін бетінің формасы анықталды. Қысымның таралуы зерттелді. Айналатын резервуар конструкцияларына негізделген қондырғылардың жұмыс сапасын арттыру мақсатында, қондырғы жұмысына әсер ететін негізгі параметрлер анықталды. Тұрақты үш түрлі бұрыштық жылдамдық үшін есептеулер жүргізілді. Резервуарда орналасқан сұйықтың еркін беті үшін теориялық тұрғыдан алынған теңдеудің дұрыстығы сандық зерттеуде көрсетілді. Comsol Multiphysics бағдарламасында сандық шешімдері алынды.

### КІРІСПЕ

Вертикаль ось маңында айналатын резервуар типтес құрылғылар өндірісте, практикада күнделікті тұрмыста кең ауқымда қолданылады. Айналатын резервуар конструкциясына мысал ретінде центрифугаларды, сеператорларды, бетонараластырғыш құрылғылар мен кір жуғыш машинаның барабанын алсақ болады. Резервуарды вертикаль ось бойынша айналдыру әдісі біртекті емес заттарды бөлу үшін әр түрлі салаларда қолданылады.

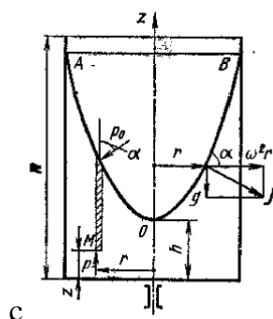
Жобының мақсаты - цилиндрлі резервуардың вертикаль осі маңында тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналатын резервуар ішіндегі сұйықтың еркін бетінің формасын анықтау, қысымның таралуын зерттеу, айналатын резервуар конструкцияларына негізделген қондырғылардың жұмыс сапасын арттыру мақсатында, қондырғы жұмысына әсер ететін негізгі параметрлерді анықтау.

Мурский А. Д., Лобачёва Т. П., Левина Н. Н. еңбегінде цилиндрлік ыдыстың төменгі бетінің пішінінен айналатын сұйықтықтың воронка бетінің теңдеуінің тәуелсіздігі дәлелденді, бұл центрден тепкіш күштері жасаған қысымды қолданатын машиналардың құрылымын жақсартады. [4]. Келесі мақалада [5] су бетінің деформациясы теориядан алынған осимметриялық ағынның жылдамдығын үлестіруді қолдану арқылы алынады. Су бетінің пішіні бойынша үш режим жіктеледі және осы режимдер арасындағы ауысулардың айналу жылдамдығы анықталады. Осы теория негізінде болжанған параметрлер зертханалық

тәжірибелерде өлшенген нәтижелермен, сондай-ақ алдыңғы эксперименттік зерттеулердің мәліметтерімен салыстырылады.

## 1. ЕСЕПТИҢ ҚОЙЫЛЫМЫ

Тәжірибеде жиі кездесетін айналмалы резервуардағы (мысалы, сепараторлар мен центрифугалардағы) сұйықтықтың салыстырмалы тыныштық жағдайын қарастырайық және бірдей қысым бетінің формасын анықтайық. Сұйығы бар ашық цилиндрлі ыдысты алайық, оны тұрақты  $\omega$  бұрыштық жылдамдықпен оның вертикаль ось маңында айналдырайық. Сұйық біртіндеп ыдысқа берілге бұрыштық жылдамдыққа ие болады, ал судың еркін беті түрленеді; ыдыстың орталық бөлігінде сұйық деңгейі түседі, қабырға маңында сұйық деңгейі көтеріледі және барлық сұйықтың еркін беті белгілі бір айналу беті болады (1-сурет).



1-сурет. Ашық резервуар вертикаль ось маңында айналған кездегі сұйықтың еркін беті.

Бұл жағдайда сұйықтың бірлік массасына екі массалық күш әсер етеді – ауырлық күші және центрден тепкіш күш. Сәйкесінше олар  $g$  және  $\omega^2 r$  тең болады.

## 2. COMSOL Multifysics бағдарламалық жасақтамасында есептің моделі

Ламинарлы ағыс интерфейсін стационарлық және уақытқа тәуелді талдау үшін пайдалануға болады. Уақытқа тәуелді зерттеулерді Рейнольдстың жоғары режимінде қолдану керек, өйткені бұл ағындар тұрақсыз болып қалады. Ламинарлы ағыс интерфейстері Навье-Стокс теңдеулеріне негізделген

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p \mathbf{I} + \boldsymbol{\tau}] + \mathbf{F} \quad (2)$$

(1) -үзіліссіздік теңдеуі және массаның сақталуын білдіреді. (2) - импульстің сақталуын білдіретін векторлық теңдеу.

2D осесимметриялық формулалар. (1) - теңдеуінің және (2) - теңдеуінің 2D осесимметриялық формуласы  $\frac{\partial}{\partial \varphi}$  мүшесінің нөлге тең болуын талап етеді. Яғни, азимуттық бағытта градиенттер болмауы керек. Нәтижесінде

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0$$

$$u_{\varphi} = 0$$

мүшелері Навье-Стокс теңдеулерінен жойылады.

Сұйық қасиеттері (Fluid Properties) түйіні көлем күшінен басқа, физикалық интерфейс шешетін импульс пен үздіксіздік теңдеулерін қосады. Түйін сонымен қатар сұйықтықтың материалдық қасиеттерін анықтауға арналған интерфейссті қамтамасыз етеді.

Көлемдік күш түйіні (2) - импульс теңдеуінің оң жағындағы  $\mathbf{F}$  күшін анықтайды. Ауырлық күші:  $F_a = mg$  ; Центрден тепкіш күш  $F_c = m\omega^2 r$  .

Бастапқы мәндер өтпелі модельдеудің бастапқы шарттары немесе стационарлық модельдеуде сызықтық емес шешуші үшін алғашқы болжам ретінде қызмет етеді.

$$p_{init} = p + p_{hydro}$$

Бұл жерде  $p_{hydro} = \rho_{ref} \mathbf{g} \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_{ref})$ . Мұндағы  $\rho_{ref}$  - физика интерфейсi деңгейінде анықталған пайдаланушы енгізген тығыздық,  $r_{ref}$  - физика интерфейсi деңгейінде анықталған пайдаланушы енгізген радиус.

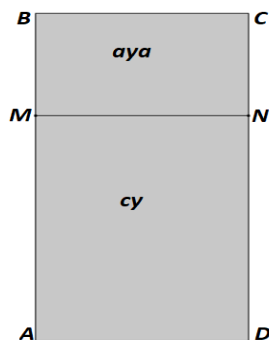
Бастапқы шарттар

$$u_r = 0$$

$$u_z = 0$$

$$p = 0$$

Шекаралық шарттар:



2-сурет. Ыдыс геометриясы.

- АВ шекарасы – осьтік симметрия. Осесимметриялық компоненттерде симметрия осіндегі шекаралар тек осьтік симметрияға шарт болатын шекаралар болып табылады. Симметрия осіндегі шарт әдетте нөлдік Нейман немесе ағынсыз жағдай болып табылады.
- AD, DC шекаралары – қабырға. Қабырға түйіні қозғалмайтын, қозғалатын және ағып тұрған қабырғалардағы сұйықтық ағынының жағдайларын сипаттайтын шекаралық шарттардың жиынтығын қамтиды. Сырғанау жоқ қабырға дегеніміз - қабырға жылдамдығына қатысты сұйықтық жылдамдығы нөлге тең қабырға  $\mathbf{u} = 0$ .
- BC – кіре беріс (inlet). Бұл шарт доменге таза ағым болатын шекараларда қолданылуы керек.

➤

$$\mathbf{n}^T[-p\mathbf{I} + \mathbf{K}]\mathbf{n} = -(\widehat{p}_0 + p_{hydro})$$

$$\widehat{p}_0 \geq p_0, \quad \mathbf{u} \cdot \mathbf{t} = 0$$

Қысым шарты қалыпты стрессті анықтайды, ол көп жағдайда қысымға тең болады. Егер физикалық интерфейс деңгейінде анықталған эталондық қысым префиксі  $p_{ref}$  0-ге тең болса, шекарадағы  $p_0$  қысымының мәні абсолютті қысым болып табылады. Әйтпесе,  $p_0$  - шекарадағы салыстырмалы қысым. Қысым шарты

$$p_0 = 1atm$$

Деңгей жиынтығы (ls) интерфейсі сұйықтық ағыны модельдеріндегі жылжымалы интерфейсдерді деңгей жиыны функциясы үшін тасымалдау теңдеуін шешу арқылы бақылау үшін қолданылады.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \varphi = \gamma \nabla \cdot \left( \epsilon_{ls} \nabla \varphi - \varphi(1 - \varphi) \frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|} \right), \quad \varphi = phils$$

Мұндағы  $\gamma = 1 \frac{m}{c}$  – қайта инициализациялау параметрі;  $\epsilon_{ls}$  – екі сұйықтың бөлу бетінің (MN шекарасы) қалыңдығын ескеретін параметр.

Бастапқы мәндер: Сұйық 1:  $\varphi = 0$ , Сұйық 2:  $\varphi = 1$ .

**1-кесте.** Модельдеуде пайдаланылған параметрлер тізімі.

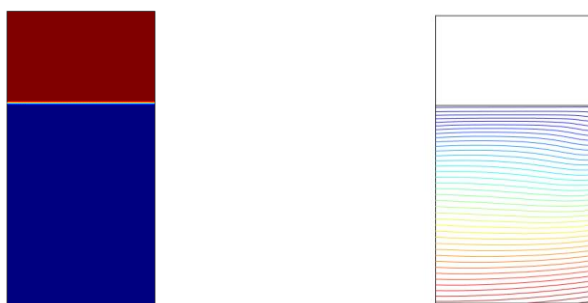
Параметр	Белгіленуі	Мәні және өлшем бірлігі
Биіктігі	$H$	16см
Радиусы	$R$	8см
Бөлу бетінің координаталары	$M(r, z), N(r, z)$	$M(0,11), N(8,11)$
Ауа тығыздығы	$\rho_1$	Материал
Су тығыздығы	$\rho_2$	Материал
Бұрыштық жылдамдық	$\omega$	$2\pi, 4\pi, 8\pi$ рад/с
Еркін түсу үдеуі	$g$	9,81 м / с <sup>2</sup>
Атмосфералық қысым	$p_0$	10 <sup>5</sup> Па

Торлы элементтерінің өлшемдері мәселе шешімінің дәл шығуына септігін тигізеді. «Finer» элемент өлшемі дәл шешімге жуық болып табылады. Әрі қарай сандық зерттеу жүргізу үшін осы элемент торы таңдалады.

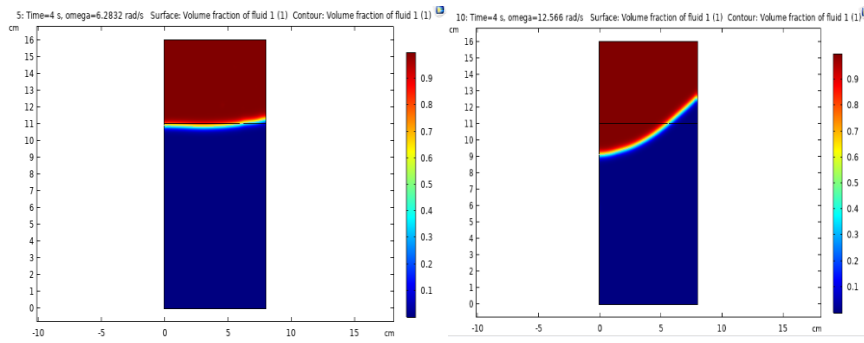
### 3. НӘТИЖЕЛЕР

Үш түрлі тұрақты бұрыштық жылдамдық сандық мәндері үшін зерттеу жүргізілді.

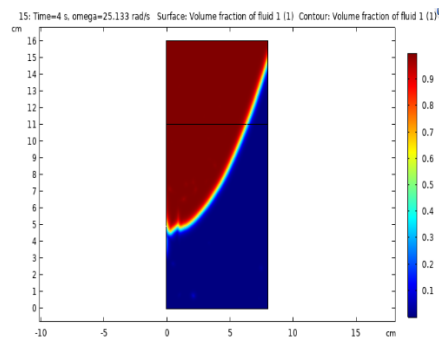
$t=0$  болғанда екі сұйық арасындағы бөлу бетінің, қысым таралуының, жылдамдықтың таралуының графиктері:



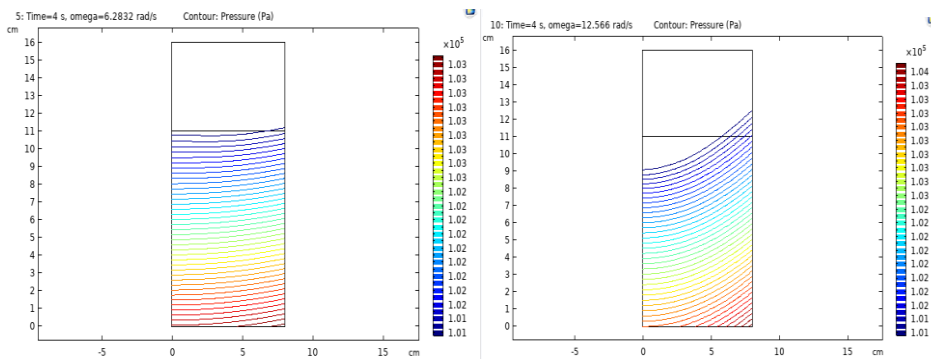
**3-сурет.** Бастапқы мезеттегі екі сұйық арасындағы бөлу беті, бастапқы мезеттегі қысымның таралуы.



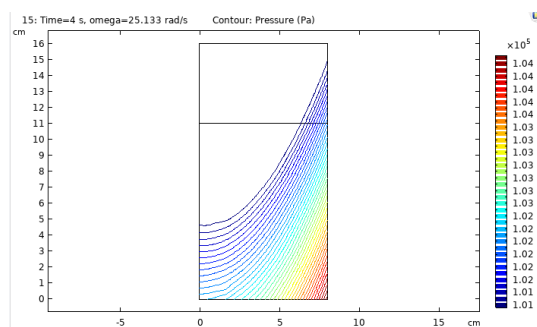
**4-сурет.**  $t=4$ с уақытындағы және  $\omega = 2\pi$ рад/с және  $\omega = 4\pi$ рад/с кезіндегі екі сұйық арасындағы бөлу беті.



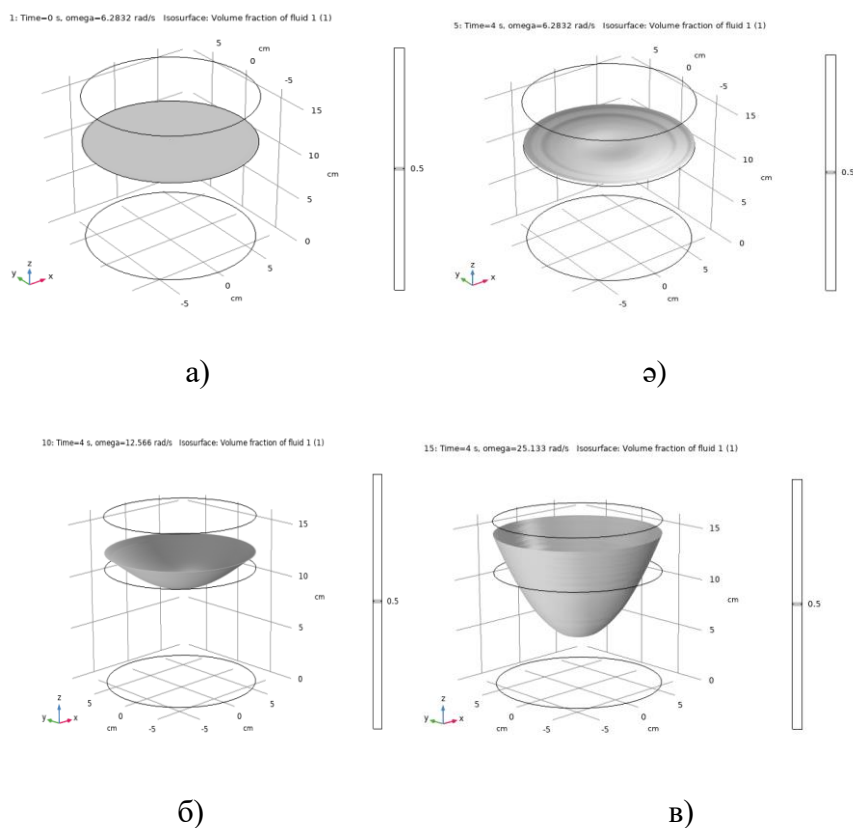
**5-сурет.**  $t=4$ с уақытындағы және  $\omega = 8\pi$ рад/с кезіндегі екі сұйық арасындағы бөлу беті.



**6-сурет.**  $t=4$ с уақытындағы және  $\omega=2\pi$ рад/с және  $\omega=4\pi$ рад/с кезіндегі қысымның таралуы.



**7-сурет.**  $t=4$ с уақытындағы және  $\omega=8\pi$ рад/с кезіндегі қысымның таралуы.



**8-сурет.** Кеңістіктегі ыдыс ішіндегі сұйықтың еркін бетінің пішіні (параболоид)

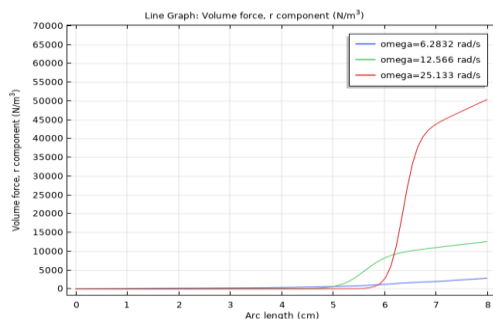
а)  $t=0$ с мезетіндегі сұйықтың еркін беті;

э)  $t=4$ с мезетіндегі,  $\omega=2\pi$ рад/с болғанда сұйықтың еркін беті пішіні;

б)  $t=4$ с мезетіндегі,  $\omega=4\pi$ рад/с болғанда сұйықтың еркін беті пішіні;

в)  $t=4$ с мезетіндегі,  $\omega=8\pi$ рад/с болғанда сұйықтың еркін беті пішіні.

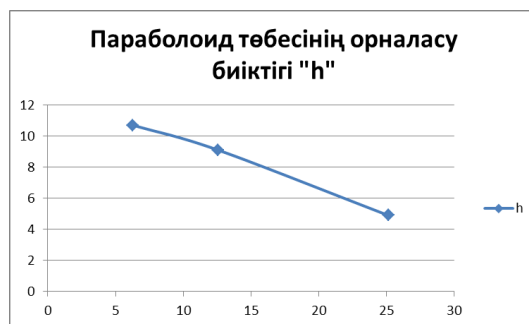
Сұйықтың еркін беті параболоид сияқты пішінде болады, және бұрыштық жылдамдық артқан сайын параболоид сүйірлене бастайды.



**9-сурет.** Центрден тепкіш күш пен радиус арасындағы тәуелділік графигі. Y өсінде центрден тепкіш күш шамалары; X өсінде радиус берілген.



Бұрыштық жылдамдық шамалары үшін центрден тепкіш күш мәндері өзгереді. Бұрыштық жылдамдық артқанда және радиус өскенде центрден тепкіш күш шамасы артады.



**10-сурет.** Параболоид табанының орналасу биіктігі мен бұрыштық жылдамдық арасындағы байланыс. Y өсінде параболоид табанының орналасу биіктігі шамалары; X өсінде бұрыштық жылдамдық мәндері.

Бұрыштық жылдамдық параболоид табанының орналасу биіктігіне әсер етеді. Бұрыштық жылдамдық артқанда параболоид табаны ыдыс табанына жақын орналасады, яғни биіктігі қысқарады.

### ҚОРЫТЫНДЫ

Салыстырмалы тыныштықта тұрған сұйықтың еркін бетінің формасын және күйін анықтау үшін COMSOL Multiphysics пакетінде сандық зерттелді. Тұрықты үш түрлі бұрыштық жылдамдық үшін есептеулер жүргізілді. Сандық әдіспен зерттелген жобада судың еркін беті пішіні параболоид екені көрсетілді. Бұл әдебиет көздеріндегі аналитикалық шешімдермен сәйкес келеді. Бұрыштық жылдамдықтың әр түрлі мәндері центрден тепкіш күшке және параболоид формасына, яғни сүйірлілігіне әсер етеді. Бұрыштық жылдамдық неғұрлым өскен сайын параболоид төбесінің орналасу биіктігі соғұрлым кемиді. Қысымдардың таралу графиктері алынды. Беті ашық резервуар айналған кезде қысым центрден резервуар қабырғаларына қарай өседі, яғни центрінде қысым аз, ал қабырғаларда қысым көбірек.

<b>Секция 3. Математическое и компьютерное моделирование в области прикладной механики. Механика жидкости и газа. Вычислительная механика .....</b>	<b>138</b>
<b>Исахов А.А., Бекжигитова Ж.Е. Қоныстану аумақтарындағы ластаушы қоспалардың тасымалын химиялық реакцияларды есепке ала отырып сандық модельдеу .....</b>	<b>139</b>
<b>Догалаков Д.А., Бйгунчеков Ж.Ж., Жумашева Ж.Т., Баялиев О.К. Разработка отечественного малого электротранспорта (электротрицикла) и генератор-двигателя с использованием программного комплекса Solidworks 2018. ....</b>	<b>146</b>
<b>Джайчибеков Н.Ж., Шалабаева Б.С., Киреев В.Н. Моделирование динамики двух капель заряженных частиц жидкости под действием электрического поля .....</b>	<b>153</b>
<b>Кенжебаева М.О. Литературный обзор решения обратных задач гравиметрии .....</b>	<b>159</b>
<b>Исахов А.А., Манапова А.Қ. Адам мұрын қуысында ауа ағынын сандық модельдеу ..</b>	<b>163</b>
<b>Наурызбаева А.А., Удербаетаева А.Е., Нурахметова К.К. Аддитивті технологияларды зерттеу және енгізу .....</b>	<b>170</b>
<b>Нурланова Б.М., Асетова Л.С., Естай Ғ.З. Жақтары қатты бекітілген серпімді пластинаның иілуі.....</b>	<b>175</b>
<b>Шерьязданов Г.Б. Моделирование ламинарных двухфазных течений вязких сред с усложненными свойствами в электромагнитном поле .....</b>	<b>181</b>
<b>Баймаганбетова Ш.Ж. Туралина Д.Е., Берденова Б.А. Айналатын резервуардағы судың еркін беті.....</b>	<b>185</b>
<b>Качкинова А.К, Берденова Б.А, Туралина Д.Е. Тамшының көлбеу бет бойымен қозғалу мәселесін зерттеу .....</b>	<b>193</b>
<b>Үермекқызы Л., Мадібайұлы Ж. Control of vibrations of elastically fixed objects using analysis of eigenfrequencies .....</b>	<b>202</b>
<b>Секция 4. Колебания в механических и робототехнических системах. Машинное обучение и проектирование робототехнических систем. Искусственный интеллект и цифровые технологии .....</b>	<b>209</b>
<b>Мусулманбекова А.Н., Хабиев А.Т. Автоматизация получения винилацетата в микрореакторе .....</b>	<b>210</b>
<b>Қыдырбекулы А. Б., Керимбекова Д.С., Ибраев Г. Е. Исследование нелинейных вынужденных колебаний вертикальных роторных систем на подшипниках качения методом эллиптических функций .....</b>	<b>220</b>
<b>Ким А.В., Аязбаев Г.М., Сундетов Т.Р. Вербальное управление интеллектуальными роботами мультязычным распознаванием голосовой речи .....</b>	<b>227</b>
<b>Ким А.В., Дауылбаева А.М., Рахым Ж. Разработка бизнес-кейсов для лабораторного научно-образовательного комплекса по гуманоидным роботам .....</b>	<b>239</b>
<b>Ким А.В., Толекбаев А.Б., Оспанов Ж.С. Разработка программно - технического комплекса лабораторных работ по промышленным, коллаборативным и антропоморфным роботам.....</b>	<b>245</b>
<b>Сағат К.Қ. Орыс-қазақ машиналық аудармаға арналған full post-editing моделін зерттеу және әзірлеу .....</b>	<b>250</b>
<b>Сағитжанов Б.М., Аманов Б.О. 3D-технология көмегімен нейрондық датчик арқылы басқарылатын бионикалық қолды жобалау .....</b>	<b>258</b>
<b>Сейдахмет Қ.Ж. Жасанды интеллект арқылы жасалынған робот-манипулятор .....</b>	<b>261</b>
<b>Секция 5. Информационные и космические технологии. Инжиниринг и технологии образования. Проблемы и перспективы студенческой науки .....</b>	<b>266</b>