

Торайғыров университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Торайғыров университета

---

# ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік  
ғылымдар сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика  
и компьютерные науки  
Издается с 1997 года

---

ISSN 2959-068X

№ 4 (2024)  
Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика и компьютерные науки  
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ91VPY00046988

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,  
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

<https://doi.org/10.48081/OOZM3500>

Бас редакторы – главный редактор

Глеукинов С. К., *д.ф-м.н., профессор*

Заместитель главного редактора Испулов Н. А., *к.ф-м.н., профессор*

Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., *PhD доктор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,	<i>PhD доктор, профессор (Турция);</i>
Abdul Qadir Rahimoon,	<i>PhD доктор, профессор (Пакистан);</i>
Донбаев К. М.,	<i>д.ф-м.н., профессор;</i>
Демкин В. П.,	<i>д.ф-м.н., профессор (Российская Федерация);</i>
Жумадиллаева А. К.,	<i>к.т.н., профессор;</i>
Ибраев Н. Х.,	<i>д.ф-м.н., профессор;</i>
Косов В. Н.,	<i>д.ф-м.н., профессор;</i>
Сейтова С. М.,	<i>д.пед.н., профессор;</i>
Шоканов А. К.,	<i>д.ф-м.н., профессор</i>
Омарова А. Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров  
университета» обязательна

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

«КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР» СЕКЦИЯСЫ  
СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»  
SECTION «COMPUTER SCIENCE»

**Алимова Ж. С., Улихина Ю. В.**

**Даутова А. З., Матаева Г. К., Егинбаев М. Т.**

Статистикалық деректерді терең талдау есептерін  
excel-де өңдеу процесін автоматтандыру .....5

**Bagdat A. K., Alimzhanova Z. M.**

Information security threats for integration systems.....20

**Оспанова Н. Н., Каирбаева А. Қ., Куанышева Р. С.,**

**Токжигитова Н. К., Байжуманов С. Д.**

Формалды емес білім беру тұрғысынан моос  
платформаларының Swot-талдауы .....30

**Савченко Н. К., Шакирова Ю. К.,**

**Абилдаева Г. Б., Янке Н. А.**

Исследование возможностей перцептрона  
в задаче распознавания образов .....45

**Celal Karaca**

Application of data analysis tools in python to assess  
the standard of living of the population: the case of kazakhstan .....58

**Tkach G. M., Li O. S., Saponov V. D., Beket Sh.**

Issues of developing 3D models of a 3D printer simulator  
for use in the educational process .....75

«ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ФИЗИКА» СЕКЦИЯСЫ  
СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»  
SECTION «THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PHYSICS»

**Baratova A. A., Bekmyrza K. Zh., Kabyshev A. M.,**

**Aidarbekov N. K., Shorman A. A.**

Influence of nanocomposite films fractality on polyethylene  
absorption with fullerene C<sub>60</sub> .....85

**Дуйшеналиев Т. Б., Чирков В. П.**

Аналитическое описание геометрически  
нелинейных деформаций упругих тел ..... 101

**Zhumabekov A. Zh., Ispulov N. A., Isimova B. Sh.,**

**Kissabekova A. A., Zhuspekova N. Zh.**

Investigation of the effect of reduced graphene oxide  
on the structural properties of titanium dioxide ..... 118

## СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»

<b>Қоштыбаев Т. Б., Айдарбекова А. А., Татенов А. М., Алиева М. Е.</b> Қозғалыс заңдылықтарының математикалық құрылымы .....	127
<b>Кенесбеков А. Б., Сейтханова А. К., Рахадиллов Б. К., Сағдолдина Ж. Б.</b> Получения износостойких покрытий методом воздушно-плазменного напыления для применения в энергомашиностроении .....	148
<b>Кишкентаева А. С., Шаймерденова Ж. Р., Тельменбетова А. Б., Шакаримова К. К.</b> Установление Строения Димерного соединения на основе Кумарина УМбеллиферона .....	161
<b>Сатыбалдин А. Ж., Байкенов М. И., Жандыбаев Б. Б., Сейтжан Р. С., Бердибаев Д. Н.</b> Атасу-алашанькоу мұнай шламдарының реологиялық мінездемелеріне жвқир-дың әсерін зерттеу .....	170
<b>Тлеуқенов С. К., Досанов Т. С., Искакова А. Б., Султанова М. Ж.</b> О распространении электромагнитных волн в анизотропных средах моноклинной сингонии .....	183

**«ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ ИНФОРМАТИКА  
ДИДАКТИКАСЫ» СЕКЦИЯСЫ  
СЕКЦИЯ «ДИДАКТИКА ФИЗИКИ, МАТЕМАТИКИ  
И ИНФОРМАТИКИ»  
SECTION «DIDACTICS OF PHYSICS, MATHEMATICS  
AND COMPUTER SCIENCE»**

<b>Бимұрат Ж., Сағындықов Б. Ж.</b> Жоғары деңгейлі объектілі-бағытталған бағдарламалау тілінде дуал сандардың қолданысын жүзеге асыру .....	194
Авторлар туралы ақпарат Информация об авторах Information about the authors.....	211
Авторларға арналған ережелер Правила для авторов Rules for authors.....	229
Жарияланым этикасы Публикационная этика Publication ethics.....	241

FTAMP 28.01.75

<https://doi.org/10.48081/WJGW5634>

**\*Ж. С. Алимова<sup>1</sup>, Ю. В. Улихина<sup>2</sup>,  
А. З. Даутова<sup>3</sup>, Г. К. Матаева<sup>4</sup>, М. Т. Егинбаев<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6115-5941>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5031-8411>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8748-8044>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4460-9304>

\*e-mail: [alimova.zh@teachers.tou.edu.kz](mailto:alimova.zh@teachers.tou.edu.kz)

## СТАТИСТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ТЕРЕҢ ТАЛДАУ ЕСЕПТЕРІН EXCEL-ДЕ ӨҢДЕУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУ

Мақалада статистикалық деректерді терең талдау есептерін автоматтандыру мәселесі қарастырылады. Ақпараттық технологиялар мен деректер ғылымының қарқынды дамуы деректерді талдауда жаңа әдістерді талап етеді. Microsoft Excel – аналитикалық есептеулер жүргізу үшін кеңінен қолданылатын құрал, алайда үлкен деректерді өңдеу кезінде қайталанатын есептеулердің көптігі автоматтандыру қажеттілігін туындатады. Осыны ескере отырып, Visual Studio Code бағдарламалау ортасында Python тілінде арнайы автоматтандырылған бағдарлама әзірленді. Бұл бағдарлама салааралық қатынастар кестесінің деректерін енгізу-шығару әдісін пайдалана отырып өңдейді, нәтижесінде уақытты үнемдеуге, есептеулерді жылдам әрі дәл жүргізуге жағдай жасайды. Бағдарламаның интерфейсі Excel файлдарын өңдеу процесін жеңілдетіп, өңделген мәліметтерді визуализациялауға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымының дерекқорынан алынған (URL: [www.oecd.org](http://www.oecd.org)) 1995 жылдан 2018 жылға дейінгі 66 елден 45 сала бойынша статистикалық тарихи деректері қолданылды. Бұл шешім статистикалық деректермен жұмыс істейтін зерттеушілер

мен талдаушылар үшін тиімді құрал бола алады. Нәтижесінде, «Excel файлдарындағы жұмыс процестерін автоматтандыруға арналған бағдарлама: Excel файлдарын өңдеу» ЭЕМ-ге арналған бағдарламалық өнімге авторлық құқық куәлігі алынып, болашақта осы бағытта жетілдіру мүмкіндіктері белгіленді.

*Кілтімі сөздер:* Microsoft Excel, Python, автоматтандыру, деректерді талдау, салааралық қатынастар.

### **Кіріспе**

Ақпараттық технологиялар мен деректер ғылымының қарқынды дамуы қазіргі заманғы көптеген салаларда жаңа мүмкіндіктер ашуда, соның ішінде, статистикалық деректерді терең талдау ерекше маңызға ие. Статистикалық деректерді терең талдау – үлкен көлемдегі деректерді талдау арқылы, олардың ішіндегі маңызды заңдылықтарды, байланыстарды және үрдістерді анықтау үшін қолданылатын әдістер мен тәсілдердің жиынтығы. Бұл талдау әдістері, тек қана деректерге негізделген дәлелді шешім қабылдауға мүмкіндік беріп қана қоймай, сонымен қатар, болжау, оңтайландыру, басқару және тағы да басқа күрделі міндеттерді шешуге жол ашады. Мысалы, нарықтағы тұтынушылардың мінез-құлқын зерттеу, науқастардың диагнозын болжамдау немесе қаржылық тәуекелдерді бағалау барысында терең талдау әдістері кеңінен қолданылады.

Статистикалық деректерді терең талдаудың мақсаты – деректер жиынындағы байланыстарды анықтау, оларды зерттеу арқылы болжау жасау және шешім қабылдауды негіздеу. Классикалық статистика әдісінен ерекшелігі – терең талдау үлкен көлемдегі құрылымдалған және құрылымдалмаған деректермен жұмыс істеп, күрделі моделдерді қолдану арқылы нақты нәтижелерге қол жеткізеді. Бұл үрдіс қазіргі уақытта машиналық оқыту, деректер ғылымы және жасанды интеллект әдістерімен тығыз байланыста дамуда, нәтижесінде қолдану мүмкіндіктері кеңеюде.

Осылайша, статистикалық деректерді талдау әртүрлі салалардағы зерттеулердің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, деректерді түсіндіру және маңызды қорытындылар жасау үшін қажетті құралдарды қамтамасыз етеді. Бұл процесс негізгі сипаттамалық статистикадан бастап күрделі қорытынды әдістемелерге дейінгі көптеген әдістерді қамтиды және есептеу технологиясының жетістіктерімен айтарлықтай дамыды.

Қол жетімділігі, ыңғайлы интерфейс және қуатты функционалдығы арқасында статистикалық деректерді талдаудың кеңінен қолданылатын құралының бірі – Microsoft Excel. Бұл әсіресе статистикалық деректерді өңдеу үшін бизнесте, білім беруде және ғылыми зерттеулерде танымал.

Microsoft Excel түрлі салаларда қолданылады. Әсіресе, Excel бизнесте және басқаруда деректерді жинау, өңдеу және талдау үшін кеңінен қолданылады.

Дегенмен, деректерді терең талдауы есептерін Excel-де шығарған кезде, үлкен деректермен, және оған қатысты өте көп рет қайталанатын есептеулер жүргізумен айналысуға тура келеді.

Мысалы, Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымының дерекқорынан алынған (URL: [www.oecd.org](http://www.oecd.org)) 1995 жылдан 2018 жылға дейінгі 66 елден 45 сала бойынша статистикалық тарихи деректерді алсақ. Осыған енгізу-шығару әдісін қолдана отырып, салааралық қатынастар кестесінің деректерін талдау есептерін жүргізу керек болсын делік [1, 49-59-66.]. Бастапқы есептеулерді орындап және есептеу жүйелерін қалыптастыру үшін Excel бағдарламасы қолданылсын.

Бұл жағдайда, есептеу алдымен, 1995 жылдан 2018 жылға дейінгі 1 (бір) елдің 1 (бір) саласы бойынша статистикалық тарихи деректері үшін орындалады. Ендігі ретте, осы алынған есептеу жүйесін осы елдің қалған 44 саласына қолдану керек. Бұдан әрі қарай, осылайша, осы есептеу жүйесін қолдана отырып, әрбір ел үшін осы елге қатысты барлық салалары бойынша есептеулер жүргізу керек болады [2, 21-31-66.].

Бұл процесс өте көп рет қайталанатын әрекеттерден болғандықтан, біршама уақыт пен аса мұқият болуды талап етеді. Осыдан Excel файлдарындағы есептеу процесін автоматтандыру қажеттігі туындайды. Осы мәселені шешу үшін, «Excel файлдарындағы жұмыс процестерін автоматтандыруға арналған бағдарлама: Excel файлдарын өңдеу» ЭЕМ-ге арналған бағдарламасы әзірленді.

Осыған орай, мақаланы жазудағы негізгі мақсат – деректерді терең талдауы есептерін шығару барысында, енгізу-шығару әдісімен салааралық қатынастар кестесінің деректерін талдау мен есептеуді автоматтандыруға арнап әзірленген бағдарламамен таныстыру болып табылады.

### **Материалдар мен әдістері**

Деректерді терең талдауы есептерінің интеллектуалды аналитикалық ақпараттық жүйесін жасау барысында, бастапқы есептеулерді орындап және есептеу жүйелерін қалыптастыру үшін Excel бағдарламасы қолданылды. Талдау үшін Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымының дерекқорынан алынған (URL: [www.oecd.org](http://www.oecd.org)) 1995 жылдан 2018 жылға дейінгі 66 елден 45 сала бойынша статистикалық тарихи деректері қолданылды. Осы деректерді терең талдауы есептерін Excel-де шығарған кезде, өте көп рет қайталанатын есептеулер жүргізумен айналысуға тура келді. Осыған байланысты, Excel файлдарындағы есептеу процесін автоматтандыруға арналған программа компьютерлік жүзеге асырылды: «Excel файлдарындағы

жұмыс процестерін автоматтандыруға арналған бағдарлама: Excel файлдарын өңдеу» ЭЕМ-ге арналған бағдарлама.

Бағдарлама Visual Studio Code бағдарламалау ортасында Python көмегімен Excel-дегі жұмыс процестерін автоматтандырады және ол үшін pandas және openpyxl, ruqt6 кітапханалары пайдаланылды.

Ғылыми зерттеулерге сүйенсек, статистикалық әдістер жоспарлауды, жобалауды, мәліметтерді жинауды, талдауды, түсіндіруді және есеп беруді қамтиды. Негізгі құралдарға орталық тенденция өлшемдері, іріктеме көлемін бағалау, қуатты талдау және статистикалық қателерді түсіну кіреді. Деректердің сипаты мен зерттеу мақсаттарына байланысты деректерді талдау үшін параметрлік және параметрлік емес сынақтар маңызды [3, 662-669-бб.]. Қазіргі заманғы электронды есептеулердің пайда болуы жаңа статистикалық әдістерді енгізді, олар үлестіру туралы болжамдарды аз талап етеді және күрделі бағалауларды өңдей алады. Компьютерлік алгоритмдер қолдайтын бұл әдістер деректерді сенімді зерттеуге және дәстүрлі математикалық өңдеудің шектеулерінсіз қорытынды жасауға мүмкіндік береді [4, 145-148-бб.]. Бұл өзгерістер неғұрлым күрделі талдаулар жүргізуге және статистикалық әдістерді үлкен және күрделі мәліметтер жиынтығына қолдануға мүмкіндік берді [5, 73-150-бб.].

Деректердің белгілі бір таралуын болжайтын параметрлік әдістер орташа мәндерді салыстыру үшін қолданылады және t тесті сияқты сынақтарды қамтиды. Белгілі бір үлестіруді қажет етпейтін параметрлік емес әдістер медианаларды, дәрежелерді немесе пропорцияларды салыстыру үшін қолданылады. Бұл әдістерді таңдау зерттеудің мақсатына, деректердің түрі мен таралуына және бақылаулардың сипатына байланысты (жұптасқан немесе жұпталмаған) [6, 297-301-бб.]. Статистикалық талдау тек әдістерді қолдану ғана емес, сонымен қатар зерттеудің контексті мен мақсаттарын түсіну болып табылады. Корреляция және регрессия сияқты әдістер айнымалылар арасындағы байланысты талдау үшін қолданылады, бұл болжамды аналитика мен бизнестегі және басқа салалардағы шешім қабылдау процестері үшін өте маңызды [7, 96-114-бб.]. Сонымен қатар, деректерді зерттеу және компьютерлік әдістер болжамдарды тексеру және модельдерді тексеру үшін өте маңызды болды [5, 300-315-бб.]. Деректерді тиімді талдау нәтижелерді визуализациялау мен түсіндіруді де қамтиды. Шашырау диаграммалары, бақылау карталары және кванттық диаграммалар сияқты құралдар уақыт өте келе деректердің заңдылықтары мен тенденцияларын түсінуге көмектеседі. Бұл көрнекі құралдар нәтижелерді жеткізу және статистикалық талдау негізінде негізделген шешімдер қабылдау үшін қажет [8, 205-206-бб.].

Деректерді статистикалық талдау – бұл технологиялық жетістіктермен бірге дамыған көп қырлы процесс [9, 105-121-бб.]. Негізгі сипаттамалық

статистикадан бастап күрделі қорытынды әдістеріне дейін сәйкес статистикалық құралдар мен әдістерді таңдау деректерді дәл түсіндіру және зерттеудің маңызды нәтижелері үшін өте маңызды. Есептеу әдістерінің интеграциясы күрделі деректер жиынтығын өңдеу және сенімді қорытындылар алу мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтті.

Қол жетімділігі, ыңғайлы интерфейсі және қуатты функционалдығы арқасында деректерді талдаудың кеңінен қолданылатын құралының бірі – Microsoft Excel. Бұл әсіресе статистикалық деректерді өңдеу үшін бизнесте, білім беруде және ғылыми зерттеулерде танымал. Microsoft Excel түрлі салаларда қолданылады. Әсіресе, Excel бизнесте және басқаруда деректерді жинау, өңдеу және талдау үшін кеңінен қолданылады. Ол статистикалық сұрыптау, деректерді өңдеу және шешім қабылдау үшін маңызды аналитикалық есептерді жасау сияқты тапсырмаларды қолдайды [10, 1-22-бб.]. Microsoft Excel – бұл бизнестегі, білім берудегі және зерттеулердегі әртүрлі қосымшаларға сәйкес келетін бірқатар функциялар мен қондырмаларды ұсынатын әмбебап статистикалық талдау құралы [11;12;13].

Әдеби шолулар нәтижесінде, Excel бағдарламасы статистикалық деректерді өңдеу үшін тиімді құрал ретінде танылды. Оның қолдану ыңғайлылығы, автоматтандыру мүмкіндіктері және кең таралуы оны көптеген салаларда пайдалануға мүмкіндік береді.

#### **Нәтижелер және талқылау**

Деректерді терең талдауы есептерін шығару барысында барлық бастапқы зерттеулер мен есептелетін жүйе Excel процессорының көмегімен іске асырылды [14, 224-228-бб.]. Бұл өз кезегінде, Excel файлдарындағы есептеу процесін автоматтандыру қажеттігін туындатты. Есептеулер енгізу-шығару кестесі арқылы әртүрлі салалар арасындағы айқын емес байланыстарды анықтау бойынша жүргізіледі. Бағдарлама мен алынған нәтижелерді қолданбалы зерттеушілер мен деректерді талдаушылар енгізу-шығару әдісімен салааралық қатынастар кестесінің деректерін талдау мен есептеуді автоматтандыру үшін пайдалана алады.

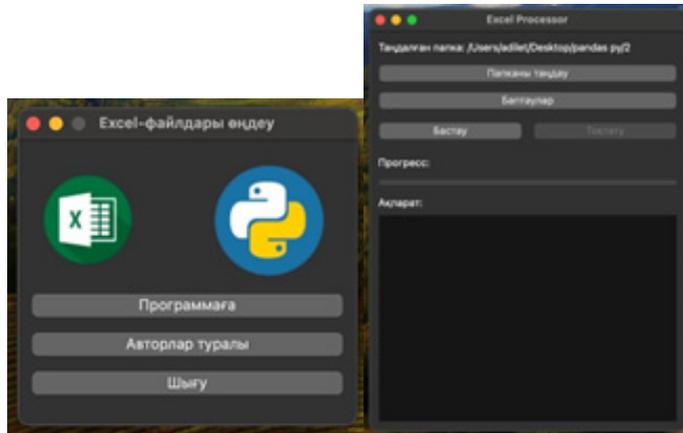
ЭЕМ арналған «Excel файлдарындағы жұмыс процестерін автоматтандыруға арналған бағдарлама: Excel файлдарын өңдеу» бағдарламасы келесі функцияларды жүзеге асырады:

1) кіріс Excel файлдарында салааралық қатынастар кестесінің деректері алдын ала беріледі.

2) бұдан әрі бағдарлама, осы берілген деректердің негізінде, енгізу-шығару әдісін қолдана отырып, салааралық қатынастар кестесінің деректерін талдау арқылы әртүрлі салалар арасындағы айқын емес байланыстарды анықтау бойынша есептеулерді автоматты түрде орындайды.

3) нәтижесінде, бағалау және болжау, нәтижелерді визуализациялау сияқты шығыс деректерін қамтитын Excel файлын қалыптастырады.

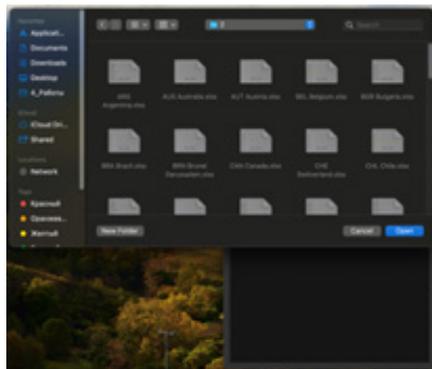
Бағдарламаның басты беті 1-суретте көрсетілген. Онда бағдарламаның аты «Excel-файлдарын өңдеу», және бағдарламаның орындау бетіне өту батырмасы «Программаға», «Авторлар туралы» ақпарат батырмасы, сондай-ақ, бағдарламадан «Шығу» батырмасы орналасқан.



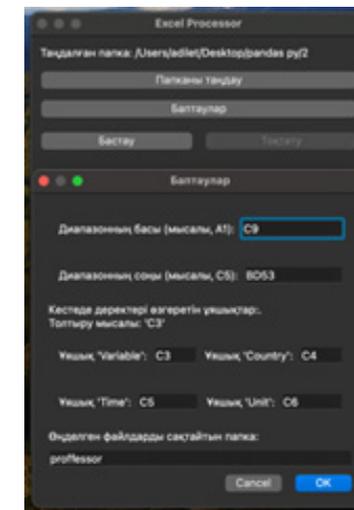
Сурет 1 – Басты беті



Сурет 2 – Бағдарламаның орындау беті



Сурет 3 – Кіріс Excel файлдары орналасқан папканы таңдау



Сурет 4 – Баптаулар беті

«Программаға» батырмасы арқылы бағдарламаның орындау бетіне өтеді және ол 2-суретте көрсетілген. Бұл бетте «Папканы таңдау», «Баптаулар», «Бастау», «Токтату» батырмалары және таңдалған папка, прогресс пен ақпарат өрістері орналасқан.

2-сурет – Бағдарламаның орындау беті. «Папканы таңдау» батырмасы арқылы, коданушының өңдеуге арналған алғашқы деректері бар кіріс Excel файлдарының орналасқан папкасы таңдап алынады. Папканы таңдап алғаннан кейін, оның адресі «Таңдалған папка» өрісінде жазылып тұрады. Ескеретіні, кіріс Excel файлдарындағы алғашқы деректер салааралық қатынастар кестесіне сәйкес болуы керек.

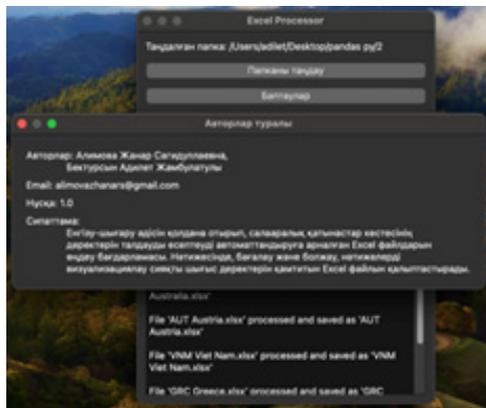
3-сурет – Кіріс Excel файлдары орналасқан папканы таңдау. Кіріс Excel файлдары орналасқан папканы таңдап алғаннан кейін, «Баптаулар» батырмасы арқылы өтіп, кіріс Excel файлдарындағы өңдеуге қажетті диапазондарды көрсету керек. Диапазонды көрсеткен кезде латын әріптері қолданылады. Және нәтижелік Excel файлдарыңызды сақтайтын папканың аты да осы беттегі «Өңделген файлдарды сақтайтын папка» өрісінде «Results» деп беріліп тұрады (12-сурет). Ескеретіні, бағдарлама нәтижелік Excel файлдарыңыз сақталатын папканы, осы «Results» депген атпен автоматты түрде, бастапқы кіріс Excel файлдарын жүктеп алған папкада жасайды.

4-сурет – Баптаулар беті. Баптау әрекеттерінен кейін «Ок» батырмасын басып, «Программаға» бетіне қайта ораласыз. Енді «Бастау» батырмасы арқылы Excel файлдарындағы жұмыс процестерін автоматты түрде

орындауға кірісуге болады. Бұдан әрі бағдарлама, осы берілген деректердің негізінде, енгізу-шығару әдісін қолдана отырып, салааралық қатынастар кестесінің деректерін талдау арқылы әртүрлі салалар арасындағы айқын емес байланыстарды анықтау бойынша есептеулерді автоматты түрде орындайды. Процестің барысын «Прогресс» өрісінде пайыздық өлшеммен, ал, «Ақпарат» өрісінде орындалып болып сақталған файлдардың тізімі арқылы бақылауға болады (5-сурет). Сондай-ақ, есептеулерді орындау барысын кез-келген сәтте «Тоқтату» мүмкіндігі бар. Бұл жағдайда, тоқтатуға дейін орындалып сақталған файлдар жойылмайды.



Сурет 5 – Excel-файлдарын өңдеу барысы



Сурет 6 – Авторлар туралы

5-сурет – Excel-файлдарын өңдеу барысы. Excel-файлдарын өңдеу жұмыстары тоқтағаннан кейін, басты беттегі «Шығу» батырмасы арқылы бағдарлама жабылады. Сонымен қатар, басты беттегі «Авторлар туралы» батырмасы арқылы, бағдарламаның авторлары мен бағдарламаның сипаттамасы туралы ақпарат алуға болады (6-сурет).

Нәтижелік Excel-файлдарында, енгізу-шығару әдісін қолдана отырып, салааралық қатынастар кестесінің деректерін талдаудың аралық нәтижелері орналасады (7-сурет). Мысалы,

Input-Output Table's for the KAZ: Kazakhstan										
	Financial and ir	Real estate act	Rest of econ	Intersecte	Final demanc	Gross Fixed Cai	Exports	Consumpt	Output	
1995	$z_{11}$	$z_{21}$	$z_{31}$	$z_{41}$	$f_{id}$	$f_{ic}$	$f_{ie}$	$\Sigma_{(j)z_{(j)1)}$	$\Sigma_{(j)f_{(j)1)}$	$x_1$
Financial and ir	0,01	0,02	0,51	0,54	0,33	0,01	0,02	0,35	0,89	
Real estate act	0,00	1,06	0,05	1,11	2,20	0,02	0,06	2,28	3,38	
Rest of econ	0,08	0,47	0,55	1,10	14,48	4,39	7,80	26,67	48,03	
Intersectoral pi	$\Sigma_{(j)z_{(j)1)}$	0,09	1,54	1,11	2,74	17,00	4,42	7,87	29,30	52,30
Taxes less subs	$e'_{1j}$	0,00	0,05	0,42	0,47					
Gross value add	$e'_{vj}$	0,74	1,76	17,21	19,71					
Imports	$e'_{mj}$	0,06	0,03	9,03	9,12					
Employment	$\Sigma_{(j)e'_{(j)1)}$	0,80	1,84	26,66	29,30					

ӘЫДҰ деректері негізінде автор құрастырған

Сурет 7 – Нәтижелік Excel-файлдарындағы аралық нәтиженің үлгісі

Сондай-ақ, бұл файлда, осы аралық нәтижелерге сүйене отырып, енгізу-шығару әдісі арқылы шығарылған есептің нәтижесі (8-сурет) мен графигі (9-сурет) болады.

Year	Observati	$s(n) =$	223,5	Equilibrium	Flows, left axis	Growth rate, right axis	Increased	Balanced	Decreased	Forecast	$s(n) =$	Flows, left axis	Growth rate, right axis	Over/Unde	Exces/De	Elasticity			
1994			260,5	36,2							0,161								
1995	121,4	121,4	303,5	42,0	79,4	0,160	401	121,4	1,000		121,4	121,4	79,4	0,160	0,401	121,4	0,0	79,4	0,16
1996	139,8	250,2	353,3	48,7	80,1	0,158	425	250,2	1,000		129,1	250,5	80,4	0,158	0,225	250,5	-0,4	80,1	0,12
1997	143,1	393,2	410,9	56,4	86,7	0,156	366	393,2	1,000		143,9	394,4	87,5	0,156	0,160	394,4	-0,8	86,7	0,47
1998	143,4	536,6	477,6	65,2	78,2	0,154	0,140	536,6	1,000		144,7	539,1	79,5	0,154	0,340	539,1	-1,3	78,2	0,62
1999	152,2	688,8	554,5	75,2	76,9	0,152	0,126	688,8	1,000		154,0	693,1	78,7	0,152	0,125	693,1	-1,8	76,9	0,76
2000	137,8	806,1	642,2	86,6	30,7	0,149	0,133	806,1	1,000		119,0	812,1	32,4	0,149	0,123	812,1	-1,7	30,7	0,89
2001	117,8	923,9	744,9	99,5	18,3	0,146	0,123	923,9	1,000		119,9	932,0	20,4	0,146	0,122	932,0	-2,1	18,3	1,02
2002	146,9	1070,8	861,6	114,0	32,8	0,142	0,122	1070,8	0,900		134,9	1067,0	20,9	0,142	0,122	1067,0	11,9	32,8	1,14
2003	147,5	1218,2	994,7	130,2	17,3	0,138	0,122	1218,2	0,800		120,8	1187,8	-9,4	0,138	0,123	1187,8	26,7	17,3	1,24
2004	152,7	1370,9	1146,2	148,1	-4,6	0,133	0,122	1370,9	0,700	0,000	109,7	1297,9	-38,4	0,133	0,128	1297,9	43,9	-4,6	1,33
2005	155,4	1526,3	1317,9	167,8	-12,5	0,128	0,124	1526,3	0,600	0,143	118,9	1416,4	-49,0	0,128	0,134	1416,4	36,5	-12,5	1,40
2006	157,4	1683,7	1511,5	189,2	-31,8	0,122	0,126	1683,7	0,500	0,286	127,7	1544,1	-61,5	0,122	0,137	1544,1	29,7	-31,8	1,46
2007	148,0	1831,7	1728,6	212,3	-45,3	0,115	0,139	1831,7	0,400	0,429	127,0	1671,1	-85,3	0,115	0,142	1671,1	21,0	-45,3	1,49
2008	149,7	1981,4	1970,7	236,7	-86,9	0,108	0,132	1981,4	0,300	0,571	135,6	1806,7	-101,1	0,108	0,145	1806,7	14,2	-86,9	1,51
2009	119,2	2100,6	2238,9	262,2	-142,9	0,099	0,137	2100,6	0,200	0,714	113,6	1920,3	-148,6	0,099	0,150	1920,3	5,6	-142,9	1,49
2010	149,0	2249,6	2533,7	288,2	-139,2	0,091	0,140	2249,6	0,100	0,857	149,1	2069,3	-139,2	0,091	0,152	2069,3	-0,1	-139,2	1,45
2011	493,8	2724,7	2852,2	314,3	169,7	0,081	0,125	2724,7	0,000	1,000	496,0	2547,3	183,6	0,081	0,132	2547,3	-22,9	169,7	1,38
2012	455,4	3180,1	3202,8	339,8	115,6	0,071	0,114	3180,1	0,000	0,250	478,7	3046,0	138,9	0,071	0,119	3046,0	-23,4	115,6	1,27
2013	362,6	3542,7	3575,0	363,9	-1,2	0,060	0,109	3542,7	0,500	0,500	382,3	3428,4	18,5	0,060	0,112	3428,4	-19,7	-1,2	1,14
2014	316,6	3869,3	3969,4	385,6	-59,0	0,048	0,104	3869,3	0,250	0,750	345,4	3773,8	-40,3	0,048	0,107	3773,8	-18,8	-59,0	0,97
2015	267,4	4136,6	4383,0	404,3	-137,0	0,037	0,101	4136,6	0,000	1,000	283,6	4057,3	-120,8	0,037	0,103	4057,3	-16,2	-137,0	0,77
2016	314,4	4451,1	4811,8	419,1	-104,7	0,025	0,096	4451,1	1,000		334,5	4391,8	-84,7	0,025	0,098	4391,8	-20,0	-104,7	0,54
2017	362,5	4813,6	5251,0	429,4	-66,9	0,012	0,090	4813,6	1,000		386,8	4778,6	-42,6	0,012	0,091	4778,6	-24,2	-66,9	0,28
2018	900,0	5313,6	5695,6	434,7	65,3	0,000	0,000	5313,6	1,000		539,0	5313,6	100,3	0,000	0,000	5313,6	-35,0	65,3	0,00

ӘЫДҰ деректері негізінде автор құрастырған

Сурет 8 – Нәтижелік Excel-файлдарындағы соңғы нәтиженің үлгісі

ӘЫДҰ деректері негізінде автор құрастырған

9-сурет – Нәтижелік Excel-файлдарындағы соңғы нәтиженің графиктерінің үлгісі

Бұл бағдарламалық өнімді жазу үшін Visual Studio Code бағдарламалау ортасы таңдалды. Visual Studio Code – Microsoft әзірлеген ең танымал код редакторларының бірі. Ол тегін қол жетімді және барлық ағымдағы операциялық жүйелерді қолдайды: Windows, Linux және macOS. VS Code – бұл әртүрлі плагиндерді қосу мүмкіндігі бар кәдімгі мәтіндік редактор, кез-келген АТ өнімін әзірлеу үшін бағдарламалау тілдерінің барлық түрлерімен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Бағдарламаның артықшылықтарының бірі – компьютерге минималды талаптар: бағдарламаны кез келген дерлік компьютерде іске қосуға болады.

Бағдарлама Python көмегімен Excel жұмыс процестерін автоматтандырады. Электрондық кестелерді біріктіру, деректерді тазарту және болжамды модельдеу сияқты тапсырмаларды бірнеше минут ішінде Excel файлына деректерді жазатын қарапайым Python сценарийі арқылы орындауға болады. Ол үшін pandas және openpyxl, pyqt6 кітапханалары пайдаланылды.

Аппараттық құралдарды таңдау таңдалған бағдарламалық жасақтаманың аппараттық құралдарға қойылатын минималды жүйелік талаптарына негізделген: Intel Pentium процессоры 1 ГГц-тен төмен емес; Операциялық жүйе: Windows 7 және одан жоғары; Жедел жады көлемі 1024 Мб кем емес; Қатты дискінің бос кеңістігінің көлемі кемінде 1024 Мб; Резервтік немесе үздіксіз қуат көзінің болуы.

#### **Қаржыландыру туралы ақпарат**

Мақала ҚР ҒЖБМ ҒК бөлінетін жобаны гранттық қаржыландыру (№АР14972847 грант) шеңберінде жазылды.

#### **Қорытынды**

Статистикалық деректерді терең талдау бүгінгі таңда зерттеу, бизнес, медицина және тағы да басқа көптеген салаларда аса маңызды рөл атқарады. Талдау әдістерінің дамуы деректер ғылымы, жасанды интеллект, машиналық оқыту секілді жаңа технологиялармен бірге дамып, күрделі және үлкен көлемдегі деректерді өңдеу мүмкіндіктерін арттырды. Зерттеулер барысында Microsoft Excel бағдарламасының қолжетімділігі мен ыңғайлы интерфейсі оны аналитикалық есептеулер жүргізу үшін кеңінен қолданылатын құралдардың біріне айналдырды. Дегенмен, үлкен көлемдегі деректерді Excel-де өңдеу барысында қайталанатын есептеулердің көптігі және уақыт шығыны автоматтандыру қажеттігін туындатты.

Аталған мәселелерді шешу үшін Visual Studio Code бағдарламалау ортасы мен Python тілінде әзірленген «Excel файлдарындағы жұмыс процестерін автоматтандыруға арналған бағдарлама: Excel файлдарын өңдеу» программасы әзірленді және ол деректерді енгізу-шығару әдісі арқылы талдауға мүмкіндік береді. Бұл бағдарлама салааралық қатынастар

кестесінің мәліметтерін өңдеуде уақытты үнемдеуге, есептеулерді жылдам әрі дәл жүргізуге жағдай жасайды. Бағдарлама статистикалық деректермен жұмыс істейтін қолданбалы зерттеушілер мен талдаушылар үшін тиімді құрал бола алады, әрі оның болашақта жетілдіріліп, кең ауқымда қолданылу мүмкіндігі зор.

Зерттеу нәтижелері Excel бағдарламасының үлкен деректерді өңдеудегі шектеулерін еңсеруге мүмкіндік беретін автоматтандырылған құралдарды жасау қажеттігін айқындады. Бұл бағыттағы бағдарламалық шешімдер деректерді өңдеудегі уақыт пен ресурстарды оңтайландыруға, талдаудың сапасы мен нәтижелілігін арттыруға көмектеседі.

Нәтижесінде «Excel файлдарындағы жұмыс процестерін автоматтандыруға арналған бағдарлама: Excel файлдарын өңдеу» ЭЕМ-ге арналған бағдарламаға авторлық құқық куәлігі алынды (2023 жылғы «27» қазан № 39954).

## **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Алимова, Ж. С.** Деректердегі жасырын байланыстарды анықтау әдістері туралы. Торайғыров университетінің хабаршысы. ISSN 2710-3420. Энергетикалық сериясы. – 2023. – № 3. – Б. 49–59. URL : <https://doi.org/10.48081/PUXW8195>.

2 **Алимова, Ж. С., Дюсенгазина, Н. Н., Абеннова, А. Т., Балгабаева, Г. С., Исабекова, Л. З.** Деректердегі айқын емес байланыстарды анықтауда Леонтьевтің енгізу-шығару моделін қолдану. «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы». ISSN 1991-346X. – 2024. – № 1 (349). – Б. 21–31. URL : <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.239>.

3 **Ali, Z., Bhaskar, S.** Basic statistical tools in research and data analysis. Indian Journal of Anaesthesia. – 2016. – № 60. – P. 662–669. URL : <https://doi.org/10.4103/0019-5049.190623>.

4 **Lipovetsky, S.** Statistical and Machine-Learning Data Mining: Techniques for Better Predictive Modeling and Analysis of Big Data. Technometrics. – 2022. – № 64. – P. 145–148. <https://doi.org/10.1080/00401706.2021.2020521>.

5 **Lautre, D., Sarkar, D., Dey, M., Asthana, D.** Statistics And Data Analysis In Research. – 2023. – P. 395. URL : <https://doi.org/10.59646/statistics/047>.

6 **Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Keshri, A., Sabaretnam, M.** Selection of Appropriate Statistical Methods for Data Analysis. Annals of Cardiac Anaesthesia. – 2019. – № 22. – P. 297–301. URL : [https://doi.org/10.4103/aca.ACA\\_248\\_18](https://doi.org/10.4103/aca.ACA_248_18).

7 **Selvan, C., Balasundaram, S.** Data Analysis in Context-Based Statistical Modeling in Predictive Analytics. – 2021. – P. 96–114. URL : <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3053-5.ch006>.

8 **Carpenter, M.** The New Statistical Analysis of Data. Technometrics. – 2000. – № 42. – P. 205–206. URL : <https://doi.org/10.1080/00401706.2000.10486001>.

9 **Parzen, E.** Nonparametric Statistical Data Modeling. Journal of the American Statistical Association. – 1979. – № 74. – P. 105–121. URL: <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481621>.

10 **Costa, J., Cabral, M.** Statistical Methods with Applications in Data Mining: A Review of the Most Recent Works. Mathematics. – 2022. – 10(6). – B. 1–22. URL: <https://doi.org/10.3390/math10060993>.

11 **Nair, N., Harichandrakumar, K., Ravishankar, N.** Statistical Packages for Data Analysis. – 2018. – P. 285–294. – [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0890-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0890-1_26).

12 **Shardt, Y.** Using Excel® to Do Statistical Analysis. Statistics for Chemical and Process Engineers. – 2022. – P. 363–398. URL : [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21509-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21509-9_8).

13 **Jun, M.** Application of Excel Statistical Function in Data Analysis. Hebei Journal of Industrial Science & Technaology. – 2002.

14 **Алимова, Ж. С., Керімқұл, С. Е.** Деректерді сыныптау есебін Эксельде жүзеге асыру. «XXIV Сәтбаев оқулары» атты Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары. – Павлодар : Торайғыров университеті. – 2024. – Б. 224–228.

## REFERENCES

1 **Alimova, Z. S.** Derekterdegi zhasy`ry`n bajlany`stardy` any`қтау әдістері туралы` [About methods for detecting hidden relationships in data]. Torajy`rov universitetini`n xabarshy`sy`. ISSN 2710-3420. E`nergetikalы`к seriyasy`. – 2023. – № 3. – P. 49–59. URL : <https://doi.org/10.48081/PUXW8195>.

2 **Alimova, Z. S., Dyusengazina, N. N., Abenova, A. T., Balgabaeva, G. S., Isabekova, L. Z.** Derekterdegi ажы`n emes bajlany`stardy` any`қтауда Leont`evti`n engizu-shy`faru modelin koldanu [Application of Leontiev`s input-output model in identifying ambiguous relationships in data]. «ҚР ҰҒА Хабарлары`. Физика және информатика seriyasy`. ISSN 1991-346X. – 2024. – № 1 (349). – P. 21–31. URL : <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.239>.

3 **Ali, Z., Bhaskar, S.** Basic statistical tools in research and data analysis. Indian Journal of Anaesthesia. – 2016. – № 60. – P. 662–669. URL : <https://doi.org/10.4103/0019-5049.190623>.

4 **Lipovetsky, S.** Statistical and Machine-Learning Data Mining: Techniques for Better Predictive Modeling and Analysis of Big Data. Technometrics. – 2022. – № 64. – P. 145–148. – <https://doi.org/10.1080/00401706.2021.2020521>.

5 **Lautre, D., Sarkar, D., Dey, M., Asthana, D.** Statistics And Data Analysis In Research. – 2023. – P. 395. URL : <https://doi.org/10.59646/statistics/047>.

6 **Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Keshri, A., Sabaretnam, M.** Selection of Appropriate Statistical Methods for Data Analysis. Annals of Cardiac Anaesthesia. – 2019. – № 22. – P. 297–301. URL : [https://doi.org/10.4103/aca.ACA\\_248\\_18](https://doi.org/10.4103/aca.ACA_248_18).

7 **Selvan, C., Balasundaram, S.** Data Analysis in Context-Based Statistical Modeling in Predictive Analytics. – 2021. – P. 96–114. URL : <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3053-5.ch006>.

8 **Carpenter, M.** The New Statistical Analysis of Data. Technometrics. – 2000. – № 42. – P. 205–206. URL : <https://doi.org/10.1080/00401706.2000.10486001>.

9 **Parzen, E.** Nonparametric Statistical Data Modeling. Journal of the American Statistical Association. – 1979. – № 74. – P. 105–121. URL : <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481621>.

10 **Costa, J., Cabral, M.** Statistical Methods with Applications in Data Mining: A Review of the Most Recent Works. Mathematics. – 2022. – 10(6). – P. 1–22. URL : <https://doi.org/10.3390/math10060993>.

11 **Nair N., Harichandrakumar K., Ravishankar N.** Statistical Packages for Data Analysis. – 2018. – P. 285–294. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0890-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0890-1_26).

12 **Shardt, Y.** Using Excel® to Do Statistical Analysis. Statistics for Chemical and Process Engineers. – 2022. – P. 363–398. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21509-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21509-9_8).

13 **Jun, M.** Application of Excel Statistical Function in Data Analysis. Hebei Journal of Industrial Science & Technaology. – 2002.

14 **Alimova, Z. S., Kerimkul, S. E.** Derekterdi sy`ny`ptau esebin E`ksel`de zhyzege asy`ru [Implementation of data classification report in Excel]. «XXIV Sәtbaev oқuлары`» atty` Xaly`қаралы`қ ғы`ly`mi konferenciya`sy`ny`n materialdary`. – Pavlodar: Torajy`rov universiteti. – 2024. – P. 224–228.

20.10.24 ж. баспаға түсті.

08.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

17.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\*Ж. С. Алимова<sup>1</sup>, Ю. В. Улихина<sup>2</sup>,

А. З. Даутова<sup>3</sup>, Г. К. Матаева<sup>4</sup>, М. Т. Егинбаев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университет, Республика Қазақстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 20.10.24.

Поступило с исправлениями 08.11.24.

Принято в печать 17.12.24.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РАСЧЕТОВ УГЛУБЛЕННОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В EXCEL

В статье рассматривается проблема автоматизации отчетов глубокого анализа статистических данных. Быстрое развитие информационных технологий и науки о данных требует новых методов анализа данных. Microsoft Excel – широко используемый инструмент для проведения аналитических расчетов, однако большое количество повторяющихся вычислений при обработке больших данных создает необходимость автоматизации. С учетом этого была разработана специальная автоматизированная программа на языке Python в среде программирования Visual Studio Code. Данная программа обрабатывает данные таблицы межотраслевых связей методом ввода-вывода, в результате чего создаются условия для экономии времени, проведения расчетов быстро и точно. Интерфейс программы упрощает процесс редактирования файлов Excel и позволяет визуализировать обработанные данные. В исследовании использовались статистические исторические данные с 1995 по 2018 год из 66 стран по 45 секторам из базы данных Организации экономического сотрудничества и развития (URL: [www.oecd.org](http://www.oecd.org)). Это решение может стать эффективным инструментом для исследователей и аналитиков, работающих со статистическими данными. В результате получено авторское свидетельство на программный продукт для ЭВМ «Программа для автоматизации рабочих процессов в файлах Excel: обработка файлов Excel» и установлены возможности дальнейшего совершенствования в этом направлении.

Ключевые слова: Microsoft Excel, Python, автоматизация, анализ данных, межотраслевые связи.

\*Zh. Alimova<sup>1</sup>, Y. Ulikhina<sup>2</sup>, A. Dautova, G. Matayeva, M. Yeginbayev

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 20.10.24.

Received in revised form 08.11.24.

Accepted for publication 17.12.24.

## AUTOMATION OF THE PROCESS OF PROCESSING TASKS OF ADVANCED ANALYSIS OF STATISTICAL DATA IN EXCEL

The article deals with the problem of automating reports of deep analysis of statistical data. Rapid development of information technology and data science requires new methods in data analysis. Microsoft Excel is a widely used tool for conducting analytical calculations, however, the large number of repetitive calculations when processing large data creates a need for automation. With this in mind, a special automated program was developed in Python in the Visual Studio Code programming environment. This program processes the data of the table of inter-industry relationships using the input-output method, as a result of which it creates conditions for saving time, making calculations quickly and accurately. The interface of the program simplifies the process of editing Excel files and allows you to visualize the processed data. Statistical historical data from 1995 to 2018 from 66 countries on 45 sectors from the database of the Organization for Economic Cooperation and Development (URL: [www.oecd.org](http://www.oecd.org)) were used in the study. This solution can be an effective tool for researchers and analysts working with statistical data. As a result, a copyright certificate was obtained for the computer software product «Program for automating work processes in Excel files: processing Excel files», and future improvement opportunities in this direction were established.

Keywords: Microsoft Excel, Python, automation, data analysis, interbranch connections.

\***A. K. Bagdat<sup>1</sup>, Z. M. Alimzhanova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Almaty Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after Makan Esbulatov, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0627-6606>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6282-5356>

\*e-mail: [bagdat.ansat@gmail.com](mailto:bagdat.ansat@gmail.com)

## **INFORMATION SECURITY THREATS FOR INTEGRATION SYSTEMS**

*This article considers threats to integration systems, as well as methods of prevention. Threat modeling involves identifying potential threats to a system, assessing the likelihood and impact of each threat, and developing strategies to prevent or mitigate those threats. For integration systems, there are many potential information security threats, including unauthorized access, malware, insider threats, DoS attacks, SQL injection, and data leakage. To ensure the security and integrity of enterprise integration systems, it is crucial for organizations to understand these threats and implement appropriate security controls and monitoring. In addition, it shows the role of regular security assessments, employee training, and the integration of advanced threat detection technologies to actively address emerging threats and enhance overall system resilience. This article highlights the importance of information security threat modeling for integration systems and provides an overview of some of the key threats that organizations should be aware of when implementing and managing these systems.*

*Keywords: threats, integration threats, sql injection, Biztalk, DOS attacks.*

### **Introduction**

In contemporary organizations the significance of integration systems cannot be overstated as they facilitate the interconnection of various systems and data sources thereby enhancing operational efficiency data exchange, and informed decision making. Middleware software is commonly utilized to establish integration systems supplying connectivity and messaging services between applications and data sources. Nevertheless these systems are vulnerable to a range

of information security risks that can jeopardize the confidentiality, integrity, and availability of data and systems. These threats can stem from both internal and external sources potentially resulting in severe repercussions such as data theft, data loss, system downtime and reputational harm. Consequently, it is crucial to recognize and mitigate these threats by implementing robust security measures and risk management practices.

This article examines the most important issue of threats to the information security of integration systems, emphasizing the importance of reliable threat modeling and preventive security measures. Key provisions include:

1 Threat identification: Detailed analysis of various information security threats specific to integration systems, such as unauthorized access, malware, internal threats, DoS attacks, SQL injection and data leakage.

2 Threat assessment: An assessment of the likelihood and impact of each identified threat, helping organizations prioritize their security efforts.

3 Preventive strategies: Develop comprehensive strategies to prevent or mitigate identified threats, focusing on the implementation of appropriate security measures and ongoing monitoring.

4 Best practices: Best practices recommendations for maintaining the security and integrity of corporate integration systems, including regular security assessments, employee training, and integration of advanced threat detection technologies.

5 Continuous improvement: Emphasis on the need for continuous updating of security protocols and methods to respond to the changing landscape of cybersecurity threats.

These provisions aim to equip organizations with the knowledge and tools necessary to protect their integration systems from a wide range of security threats, ensuring the security and integrity of their data and operations.

With the increasing dependence of organizations on interconnected system for data manipulating and collaboration information security threats to integration systems are on the rise. Integration systems serve the purpose of facilitating communication and data exchange between various applications, databases, and networks. As a result, they present an attractive target for cybercriminals seeking to exploit vulnerabilities in these systems to gain unauthorized access to information or cause disruptions.

So the prevalent information security threats to integration systems are malware attacks, denial of service (DoS) attacks SQL injection attacks insider threats. Malware can infiltrate systems through email attachments or infected websites when DoS attacks overwhelm systems with traffic to render them inoperable. SQL injection attacks exploit coding vulnerabilities to gain

unauthorized access to databases when the insider threats arise when employees or contractors with system access misuse their privileges to steal or compromise data.

To mitigate the risk of these threats there is imperative to implement robust security measures and regularly update and patch systems. This involves the utilization of firewalls, the deployment of intrusion detection and prevention systems, as well as the application of encryption methods. Furthermore, ongoing training and awareness programs can educate employees about the risks and equip them with the knowledge and skills needed to protect sensitive information. By knowing these proactive steps organizations can significantly reduce their vulnerability to information security threats and safeguard their integration systems against potential attacks.

### Materials and methods

According to Krawczyk T.[1] BizTalk is a middleware technology developed by Microsoft for integrating various systems and applications within an organization. The BizTalk Server platform enables organizations to connect various applications, systems, and data sources, thereby facilitating interoperability and data exchange. The platform provides a range of features and tools for designing, deploying, and managing integration solutions that automate business processes, enable data transformation and routing, and facilitate communication between different systems. The BizTalk Server platform is based on a publish-subscribe architecture, which allows organizations to decouple their systems and applications and establish loosely coupled communication channels between them. This architecture facilitates scalability, flexibility, and fault tolerance, making it easier for organizations to handle increasing volumes of data and transactions and respond to changing business requirements.

In the masterpiece of the works by Salmi Salim and Oughdir Lahcen DoS attacks refer to the intentional and malicious behavior advocated to rattle the ordinary activities of a network by astounding it with a deluge of influx, thereby apprehension it nonexistent to its contracted users. The incursion can float from a individual data processor or a cluster of computers then impulsion is to downpour the aim network with packets or requests, leading to a slowdown or complete shutdown of the system. This class of assault can be lugged out using assorted approach, such as ICMP flooding, SYN flooding, UDP flooding, and HTTP flooding. DoS attacks can have significant consequences, including loss of data, revenue, and reputation damage for organizations. Therefore, detecting and mitigating DoS attacks is essential to maintain the availability and integrity of the network [2].

According to Swati, Roy, S., Singh, J., and Mathew, Jimson DoS attack is a kind of cyber charge where an raider pursue to upset the usual transit of a objected network, server or service by crushing it with a tide of traffic or

requests. This type of attack can be accomplished by shipping a broad number off requests from a single source or by coordinating multiple sources to create a scattered refusal of assistance (DDoS) attack. In a DDoS charge, a large number of compromised devices or systems, known as botnets, are used to generate the flood of traffic, making it much more difficult to defend against. DoS attacks can cause significant disruptions to businesses, organizations, and individuals, and can result in the loss of data, revenue, and customer trust. Therefore, detecting and mitigating DoS attacks is essential for ensuring the availability and security of networks and services [3].

Crespo-Martínez et al., argues that SQL injection is a type of cyber attack that apply susceptibility in software practice that consume SQL databases. Traducers can infuse malicious SQL coding part into custommer input area, which can accomplished by database and possibly grant unauthorized access or handling of impressionable information. SQL dose intervention can be difficult to detect and prevent, and can have serious consequences for organizations in terms of data breaches, financial losses, and damage to reputation [4].

Bedeković et al. define SQL dose as a kind of protection exposure that admit an attacker to modify the SQL queries executed by a web practice. This arise when the utility does not correctly certify or sterilize user inputs before including it in the SQL query. As a result, the attacker can inject malicious SQL code that alters or retrieves sensitive data from the application's database. The authors emphasize the seriousness of SQL doses barrage and the need for preventive techniques to mitigate their impact on web applications [5].

Akhtar, S. and Feng, T. [6] identify that malware refers to malicious app that is aimed to evil device systems, abduct relavant information or acquisition not sanctioned admission to systems. Malware is a significant threat to information security and can be distributed through various channels such as emails, malicious websites, social engineering techniques, and infected software applications. Malware can get profuse forms containing viruses, boor, Trojans, ransomware, spyware, adware, and rootkits. Machine learning algorithms can be trained on labeled datasets of malware samples to create models that can detect new and unknown malware. These models can be deployed in real-time to detect malware in network traffic or on endpoint devices. Machine learning algorithms can in addition be acted to classify malware based on its behavior and characteristics, allowing security analysts to better understand the type and severity of the threat.

The paper by Lin, Huang, and Lee [7] focuses on the problem of classifying malware using convolutional fuzzy neural networks based on feature fusion and the Taguchi method. The authors define malware as any code that is aimed to affect a computer environment or network note that it can get a lot of such forms, contains viruses, Trojans, and worms. They highlight the importance of accurately

detecting and classifying malware in order to prevent attacks and protect computer systems and networks. To address this trouble, the composers suggest a novel approach to malware categorization that connects the strengths of fuzzy logic and convolutional neural networks. Their approach involves preprocessing the raw binary code of a given file into a set of feature vectors, which are then fed into a convolutional fuzzy neural network (CFNN) for classification. The authors use the Taguchi method to optimize the parameters of the CFNN, resulting in improved classification accuracy.

According to Harms et al., [8] insider threats refer to security risks posed by people who have authorized access to an organization's resources and systems. These individuals can be employees, contractors, or partners who intentionally or unintentionally abuse their privileges, leading to data breaches, theft of confidential information, or other types of cyber-attacks. The authors highlight that insider threats can be particularly dangerous as they can cause significant damage before being detected. Harms et al. also examine the relationship between insider threats and dark personality traits, such as psychopathy, narcissism, and Machiavellianism, which is predict and mitigate insider threat incidents.

According to Herrera M. I. [9] insider threat refers to the potential harm or danger that an organization may face due to the actions of its employees, contractors, or any other authorized personnel who have access to the company's confidential information or critical systems. This threat can be either intentional or unintentional can result in the compromise of sensitive data, data breaches financial losses reputational damage to the organization. Insiders who pose a threat may have access to various resources and privileges, making them difficult to detect and prevent. Therefore, it is crucial for organizations to implement effective measures to address insider threats and safeguard their information and assets.

## Results and discussion

Singh define insider threat as the potential danger posed to an organization by its own employees, contractors, or other insiders who have access to sensitive or confidential information. Insider threats can include accidental or intentional data leaks, theft of intellectual property, sabotage other malicious activities carried out by insiders. Detecting and preventing insider threats is a critical challenge for organizations as insiders often have privileged access and can bypass traditional security measures. To address this challenge the authors propose an approach that combines semantic analysis and a dynamic multi-fuzzy classifier to detect and prevent insider threats in real-time. The approach analyzes user behavior and assigns a semantic score based on the level of risk associated with the user's actions. Then dynamic multi-fuzzy classifier is used to make decisions about whether to allow or block the users actions. The approach is designed to be adaptive and can learn from past incidents to improve its accuracy over time. [10]

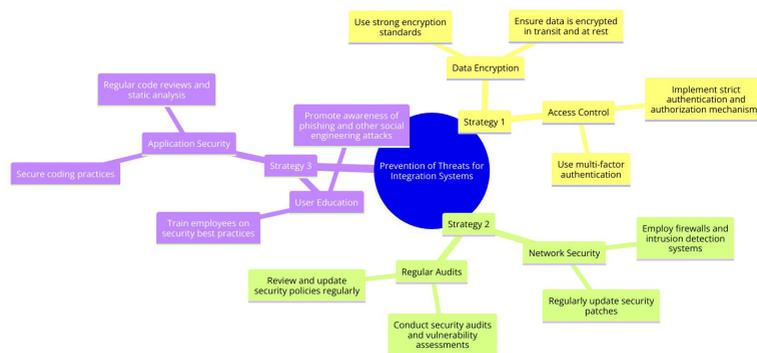


Figure 1 – Strategies for preventing threats in integration systems

Table 1 – Description of information security threats

Characteristics	Malware and viruses	Denial of Service (DoS)	SQL injection	Insider threats	Unauthorized access
Goal of attack	Malicious intent	Disrupt operations	Data theft	Harm organization	Gain unauthorized access
Level of technical expertise required	Moderate to High	Low	Moderate	Moderate	Low
Delivery method	Email, Fraudulent websites, Corrupted programs	overload, program vulnerabilities	data entry fields	psychological manipulation, permitted access	password cracking, weaknesses within a network
Protective measures	security software, app patches	Network traffic surveillance, filtering	Prepared SQL statements	Access control, user training	Access control, user training
Response techniques	Isolate and remove infected systems, investigate origin and scope	Network traffic filtering, redundancy planning	Code review, input validation	Investigate employees, review access controls	Change passwords, investigate access logs
Common targets	Individual users, small to large organizations	Web servers, network infrastructure	Web applications	Organizations, individuals with access	Unauthorized individuals

### Conclusion

In conclusion, information security dangers for integration systems pose a very high danger to organizations that rely on these systems for their operations. The integration of various systems and networks leads to an increased attack

surface, providing attackers with more opportunities to misuse weakness and gain permitted access to sensitive data. To mitigate these threats, organizations must implement a comprehensive security strategy that includes measures such as network segmentation, access control, data encryption, and regular security audits. Additionally, it is essential to raise awareness among employees about the risks and provide them with training on best security practices to prevent insider threats.

The growth of data-driven learning and AI-driven security solutions also shows promise in improving threat detection and response. However, these technologies should be used in conjunction with traditional security measures and not as a replacement for them. In summary, the evolving nature of information security threats for integration systems demands a proactive and comprehensive approach to protect against attacks. Organizations must prioritize security and remain vigilant in identifying and addressing vulnerabilities to safeguard their systems and data.

### REFERENCES

- 1 **Krawczyk, T.** Integration of IT systems with the use of microsoft Biztalk server platform. Studies in Computational Intelligence.2013.
- 2 **Salmi Salim, Oughdir Lahcen.** Performance evaluation of deep learning techniques for DoS attacks detection in wireless sensor network. Journal of Big Data.(2023).
- 3 **Swati, Roy, S., Singh, J., Mathew, Jimson.** Design and analysis of DDoS mitigating network architecture. Int. J. Inf. Secur. 22, P. 333–345. – 2023.
- 4 **Crespoo-Martínez, I. S., Campazas-Vega, A., Guerrero-Higueras, Á. M., Álvarez-Aparicio, C.** .SQL injection attack detection in network flow data. Computers and Security.2023.
- 5 **Bedeković, N., Havaš, L., Horvat, T., & Crčić, D.**The Importance of Developing Preventive Techniques for SQL Injection Attacks. Tehnicki Glasnik.2022.
- 6 **Akhtar, S.** Malware Analysis and Detection Using Machine Learning Algorithms. Symmetry. 2022.
- 7 **Lin, C.-J., Huang, M.-S., Lee, C.-L.** Malware Classification Using Convolutional Fuzzy Neural Networks Based on Feature Fusion and the Taguchi Method. Applied Sciences. 2022.
- 8 **Harmms P. D. Marbut A., Johnston A., Lesster P., Fezey T.**
- 9 Exposing the darkness within: A review of dark personality traits, models, and measures and their relationship to insider threats. Journal of Information Security and Applications.2022.

10 **Herrera M. I., García A. J. J., Ramos D. J., Molina C. S., Torre D. I., Rodrigues J. J. P. C.** Survey of Techniques on Data Leakage Protection and Methods to address the Insider threat. Cluster Computing, 2022.

11 **Singh M., Sangeetha S., Mehtre B. M.** Insider threat detection and prevention using semantic score and dynamic multi-fuzzy classifier. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2023.

Received 15.10.24.

Received in revised form 15.10.24.

Accepted for publication 17.12.24.

\***А. Қ. Бағдат<sup>1</sup>, Ж. М. Алимжанова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>2</sup>Қазақстан Республика Ішкі істер министрлігі Мақан Есболатов атында Алматы академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

15.10.24 ж. баспаға түсті.

15.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

17.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ИНТЕГРАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ҚАУІШТЕР

Бұл мақалада интеграциялық жүйелерге қауіптер, сондай-ақ алдын алу әдістері қарастырылады. Қауіптерді модельдеу жүйеге ықтимал қауіптерді анықтауды, әрбір қауіптің ықтималдығы мен әсерін бағалауды және сол қауіптердің алдын алу немесе азайту стратегияларын әзірледі қамтиды. Интеграциялық жүйелер үшін рұқсатсыз кіру, зиянды бағдарлама, инсайдерлік қауіптер, DoS шабуылдары, SQL ињьекциясы және деректердің ағып кетуін қоса алғанда, көптеген ықтимал ақпараттық қауіпсіздік қатерлері бар. Осы қауіптерді түсіну және сәйкес қауіпсіздікті бақылау мен бақылауды жүзеге асыру арқылы ұйымдар өздерінің кәсіпорынды біріктіру жүйелерінің қауіпсіздігі мен тұтастығын қамтамасыз етуге көмектесе алады. Ол сондай-ақ пайда болатын қауіптерді белсенді түрде шешу және жүйенің жалпы тұрақтылығын жақсарту үшін қауіпсіздікті тұрақты бағалаудың, қызметкерлерді оқытудың және қауіпті анықтаудың озық технологияларын біріктірудің ролін сипаттайды. Бұл мақала интеграциялық жүйелер үшін ақпараттық қауіпсіздік қатерлерін модельдеудің

маңыздылығын корсетеді және осы жүйелерді енгізу және басқару кезінде ұйымдар білуі керек кейбір негізгі қауіптерге шолу жасайды.

Кілтті сөздер: қауіптер, интеграциялық қауіптер, sql ињьекциясы, Biztalk, DOS шабуылдары.

\***А. Қ. Бағдат<sup>1</sup>, Ж. М. Алимжанова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Алматинская академия Министерства внутренних дел Республика Казахстан имени Макана Есбулатова, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 15.10.24.

Поступило с исправлениями 15.10.24.

Принято в печать 17.12.24.

### УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ИНТЕГРАЦИИ

Данная статья рассматривает угрозы для интеграционных систем, а также методы предотвращения. Моделирование угроз включает выявление потенциальных угроз для системы, оценку вероятности и воздействия каждой угрозы, а также разработку стратегий для предотвращения или смягчения этих угроз. Для интеграционных систем существует множество потенциальных угроз информационной безопасности, включая несанкционированный доступ, вредоносное ПО, внутренние угрозы, DoS-атаки, SQL-ињьекцию и утечку данных. Понимая эти угрозы и внедряя соответствующие средства контроля и мониторинга безопасности, организации могут помочь обеспечить безопасность и целостность своих корпоративных интеграционных систем. Кроме того, в нем описывается роль регулярных оценок безопасности, обучения сотрудников и интеграции передовых технологий обнаружения угроз для активного устранения возникающих угроз и повышения общей устойчивости системы. В этой статье подчеркивается важность моделирования угроз информационной безопасности для интеграционных систем и дается обзор некоторых ключевых угроз, о которых организациям следует знать при внедрении этих систем и управлении ими.

Ключевые слова: угрозы, интеграционные угрозы, sql ињьекции, Biztalk, DOS атаки.

**Н. Н. Оспанова<sup>1</sup>, \*А. Қ. Каурбаева<sup>2</sup>, Р. С. Куанышева<sup>3</sup>,  
Н. К. Токжигитова<sup>4</sup>, С. Д. Байжуманов<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8690-8206>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9135-2156>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5609-3697>

\*e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru)

## **ФОРМАЛДЫ ЕМЕС БІЛІМ БЕРУ ТҰРҒЫСЫНАН МООС ПЛАТФОРМАЛАРЫНЫҢ SWOT-ТАЛДАУЫ**

Бұл мақалада Coursera, edX, Udacity, Stepik және Skills enbek платформаларының формалды емес білім беру аясында SWOT-талдауы ұсынылады. MOOC (Massive Open Online Courses) платформалары заманауи білім берудің маңызды құралы болып табылады, өйткені олар көптеген адамдарға өз бетінше білім алу мүмкіндігін береді. Зерттеу барысында әрбір платформаның мықты және әлсіз жақтары, сонымен қатар олардың ұсынатын мүмкіндіктері мен кезігетін қауіптері жан-жақты талданды. Coursera және edX сияқты жаһандық платформалар жоғары сапалы, халықаралық деңгейдегі курстарды ұсынады, ал Stepik пен Skills enbek платформалары аймақтық аудиторияға және жергілікті тілдерді қолдауға бағытталған. Сонымен қатар, Udacity платформасы техникалық мамандарды даярлауда және практикалық дағдыларды дамытуда ерекше орын алады. SWOT-талдау барысында әрбір платформаның формалды емес білім беру саласына тигізетін әсері анықталып, олардың осы саладағы рөлі айқындалды. Зерттеу нәтижелері платформалардың формалды емес білім беру жүйесіндегі қолжетімділігін, мазмұнның сапасын және оларды одан әрі дамыту перспективаларын көрсетті. Сонымен қатар, мақалада MOOC платформаларын формалды емес оқытуда қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктері де қарастырылған, бұл олардың білім беру процесіндегі ролін жақсырақ түсінуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеу білім беру саласындағы

цифрлық технологияларды дамытуға үлес қосып, формалды емес білім беру жүйесін жетілдіруге бағытталған.

*Кілтті сөздер:* формалды емес білім, жаппай ашық курс, онлайн білім беру, Coursera, edX, Udacity, Stepik, Skills enbek.

### **Кіріспе**

Қазіргі әлемде білім жеке тұлғалардың да, тұтас қоғамның да табысы мен бәсекеге қабілеттілігін анықтайтын басты факторға айналып отыр. Цифрлық революция білім беру технологияларына өзгерістер әкеліп, білімді дерлік әрбір адамға қолжетімді етті, тұратын жеріне, элеуметтік жағдайына немесе қаржылық мүмкіндіктеріне қарамастан. Бұл саладағы маңызды инновациялардың бірі – интернет арқылы әртүрлі пәндерді оқуға мүмкіндік беретін жаппай ашық онлайн-курстардың (MOOC) дамуы болды [1].

MOOC платформалары формалды емес білім беру жүйесінде маңызды рөл атқарады, жетекші университеттер мен компаниялардан жоғары сапалы білім беру ресурстарына қол жеткізуді ұсынады [2; 3]. Олар әлемнің түкпір-түкпіріндегі миллиондаған адамдарға оқу уақытын және қарқынын өздері реттей отырып, ыңғайлы форматта білім алуға мүмкіндік береді [4]. Бұл әсіресе өзгерістерге толы қазіргі заманда аса маңызды, өйткені көптеген мамандар үшін тұрақты кәсіби дамудың қажеттілігі мансаптың ажырамас бөлігіне айналып отыр [5]. Онлайн-білім беру дәстүрлі білім беру жүйелерінде жиі жетіспейтін икемділікті қамтамасыз етіп, цифрлық дәуірдің жаңа сын-тегеуріндеріне бейімделуге көмектеседі.

Тақырыптың өзектілігі онлайн білім беру саласындағы көптеген зерттеулерге қарамастан, MOOC платформаларының тиімділігі, қолжетімділігі және сапасына қатысты сұрақтар әлі де ашық күйде қалып отырғандығымен анықталды. Бұл платформаларды талдау олардың кең таралуы мен мазмұнының әртүрлілігіне, сондай-ақ кәсіби дамуға әсеріне байланысты маңызды. MOOC платформаларын пайдаланушылар санының артуына қарай, олардың күшті және әлсіз жақтарын, сондай-ақ кездесетін мүмкіндіктер мен қауіптерді бағалау қажеттілігі туындайды [3; 4].

Coursera және edX сияқты жаһандық платформалар әлемдегі жетекші университеттерден жоғары сапалы білім береді, бұл оларды білімдерін халықаралық деңгейде мойындатуға ұмтылатын студенттер мен мамандар үшін тартымды етеді [2; 3]. Бұл платформалар әртүрлі пәндер бойынша контент ұсынуға бағытталған, бұл әртүрлі қызығушылықтары мен білім қажеттіліктері бар студенттердің сұраныстарын қанағаттандыруға мүмкіндік береді. Udacity практикалық дағдыларды беруге және технологиялық сала мамандарын дайындауға бағытталған, бұл платформа Google, Microsoft сияқты корпорациялармен бірлесіп әзірленген бағдарламаларды ұсынады [6].

Бұл оны еңбек нарығында сұранысқа ие техникалық білім мен дағдыларды алғысы келетіндер үшін әсіресе танымал етеді [4].

Алайда, аймақтық аудиторияларға бағытталған Stepik және Skills enbek сияқты локализацияланған платформаларды да атап өту маңызды [7; 8]. Бұл платформалар орыс тілді және қазақ тілді аудиторияларға арналған курстарды ұсынады, жергілікті еңбек нарығының қажеттіліктеріне бейімделген [8]. Атап айтқанда, Skills enbek қазақстандық азаматтарды қайта даярлау және дағдыларды дамытуда маңызды рөл атқарады, қазақ тіліндегі курстарды қолдай отырып, ұлттық экономиканың қажеттіліктеріне бағытталған [8].

Зерттеудің маңыздылығы Coursera, edX, Udacity, Stepik және Skills enbek негізгі MOOC платформаларына SWOT-талдау жүргізу арқылы олардың формалды емес білім беру жүйесіне әсерін бағалаумен айқындалады. Мұндай талдау әрбір платформаның күшті және әлсіз жақтарын, сондай-ақ жаһандық және аймақтық білім қажеттіліктері тұрғысынан олардың мүмкіндіктері мен қауіптерін анықтауға мүмкіндік береді [4; 6]. Бұл аспектілерді түсіну пайдаланушылардың кәсіби дамуы мен өзін-өзі жетілдіруге қандай платформалар ең тиімді түрде ықпал ете алатынын анықтау үшін маңызды.

Цифрлық технологияларды білім беруде қолдануға арналған зерттеулерде көрсетілгендей, SWOT-талдау платформалардың жағдайын және олардың перспективаларын объективті бағалауға, күшті және әлсіз жақтарын, сондай-ақ мүмкін болатын тәуекелдер мен қауіптерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл онлайн білім берудің танымалдылығының қарқынды өсуі және оның дәстүрлі білім беру процестеріне интеграциясы жағдайында өте маңызды [5].

Формалды емес білім беру білім беру процесінің икемділігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Формалды білім беруден айырмашылығы, көбінесе қатаң шектеулер мен талаптармен шектелген формалды емес білім беру көбірек таңдау еркіндігін және оқушының жеке қажеттіліктеріне сәйкес келетін уақытта және қарқында оқуға мүмкіндік береді [1]. Бұл әсіресе жұмыс істейтін, бірақ кәсіби өсу мен өзін-өзі дамытуға ұмтылатын адамдар үшін маңызды [9]. MOOC платформалары әлемнің ең үздік оқытушыларынан білім алуға мүмкіндік береді, тіпті егер студент физикалық түрде университеттерге немесе мамандандырылған курстарға қатыса алмаса да [2].

Осылайша, MOOC платформаларын және олардың формалды емес білім беру саласындағы әлеуетін зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Осы мақала аясында жүргізілген SWOT-талдау қандай факторлардың белгілі бір платформаларды әртүрлі контекстерде тиімдірек ететінін жақсырақ түсінуге және олардың формалды емес білім беру жүйесінің одан әрі дамуына қалай ықпал ете алатынын анықтауға көмектеседі [4; 6].

### Материалдар мен әдістері

Осы зерттеуде Coursera, edX, Udacity, Stepik және Skills enbek негізгі MOOC платформаларына SWOT-талдау жүргізілді. Бұл платформалар формалды емес білім берудегі елеулі рөліне байланысты зерттеу объектілері ретінде таңдалды. Зерттеу олардың күшті және әлсіз жақтарын, жаһандық және аймақтық білім беру контекстіндегі одан әрі дамуға арналған мүмкіндіктері мен қауіптерін анықтауға бағытталған [8].

Зерттеу әдістемесін ұйымдастыруда SWOT-талдау әрбір платформаны талдаудың негізгі әдісі ретінде таңдалды, өйткені ол ішкі және сыртқы факторларды жүйелі түрде бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында қарастырылған негізгі параметрлер мыналар болды:

– Күшті жақтары (Strengths): Білім беру мазмұнының сапасы, пайдаланушылар саны, курстардың қолжетімділігі және сертификаттардың мойындалу деңгейі [3; 9].

– Әлсіз жақтары (Weaknesses): Кейбір платформалардағы сертификаттардың жоғары құны, пәндерді таңдаудың шектеулері және оқытушылармен өзара іс-қимыл деңгейінің төмендігі [4].

– Мүмкіндіктері (Opportunities): Жаңа курстар мен бағдарламаларды дамыту, университеттік жүйелермен интеграция және аудиторияны кеңейту мүмкіндігі [6].

– Қауіптері (Threats): Басқа платформалармен жоғары бәсекелестік, мүмкін болатын экономикалық және саяси шектеулер [10].

Деректерді жинау үшін пайдаланылған көздер:

– платформалардың ресми веб-сайттары: Coursera (<https://www.coursera.org/>), edX (<https://www.edx.org/>), Udacity (<https://www.udacity.com/>), Stepik (<https://stepik.org/>) және Skills enbek (<https://skills.enbek.kz/>);

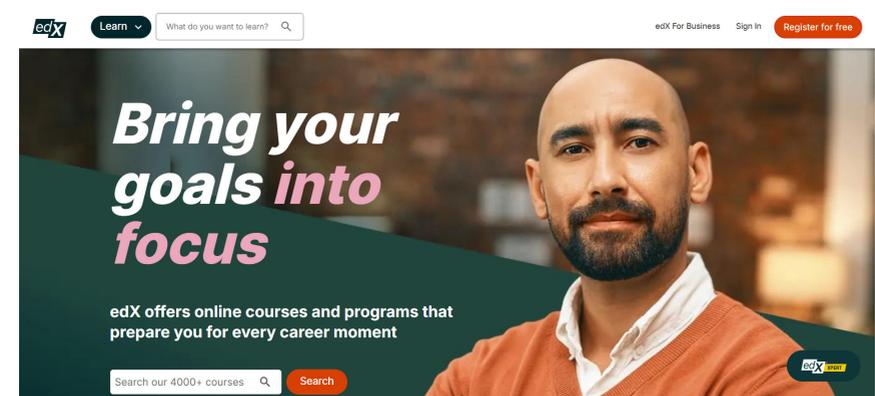
– онлайн білім беру бойынша ғылыми жарияланымдар мен есептер;

– пайдаланушылардың пікірлері, олар білім беру форумдары мен әлеуметтік желілерден жиналды, бұл талдауды пайдаланушылардың субъективті бағалауларымен толықтыруға мүмкіндік берді.

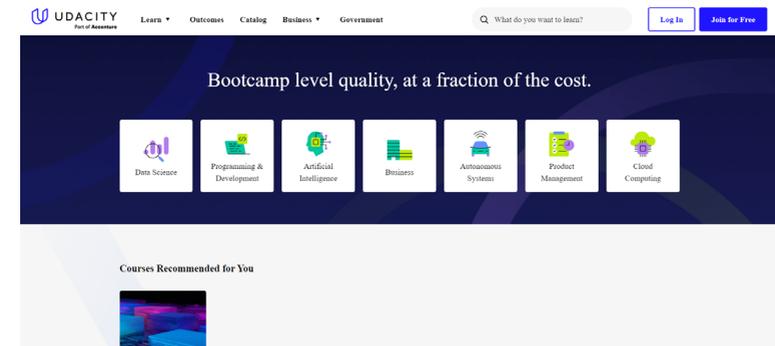
Төмендегі 1-ші кестеде зерттеуде талданған әрбір MOOC платформаның негізгі сипаттамалары туралы жалпы ақпарат берілген.

Кесте 1 – MOOC платформалардың салыстырмалы кестесі

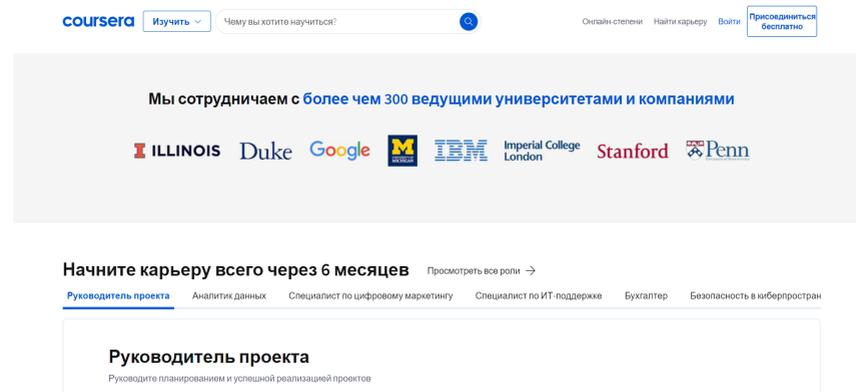
Платформа	Бағыттар мен әдістер	Сертификат құны және аудитория
Coursera (1-сурет)	Жоғары білім, көптеген пәндер. Бейнесабақтар, тесттер, жобалар. Халықаралық (көп тілдерде)	Ақылы сертификаттар. Студенттер, мамандар, өзін-өзі оқыту
edX (2-сурет)	Жоғары білім, көптеген пәндер. Бейнесабақтар, практикалық тапсырмалар, форумдар. Халықаралық (көп тілдерде)	Ақылы сертификаттар. Студенттер, мамандар, өзін-өзі оқыту
Udacity (3-сурет)	Техникалық дағдылар, бағдарламалау. Практикаға бағытталған бағдарламалар. Халықаралық (ағылшын тілі)	Ақылы бағдарламалар (нано-дипломдар). IT-мамандары, әзірлеушілер
Stepik (4-сурет)	Жоғары білім, көптеген пәндер. Бейнесабақтар, тапсырмалар, автоматтандырылған тексеру. Көптілді (оның ішінде орыс тілі)	Ішінара тегін. Студенттер, мамандар, өзін-өзі оқыту
Skills enbek (5-сурет)	Кәсіби оқыту. Онлайн-курстар, тестілеу, біліктілікті арттыру. Қазақ тілі, орыс тілі, ағылшын тілі	Ішінара тегін. Студенттер, мамандар, жұмысшылар



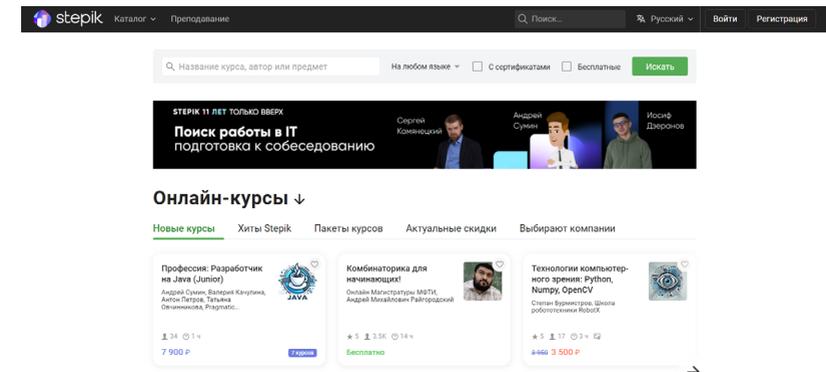
Сурет 2 – edX интерфейсінің мысалы



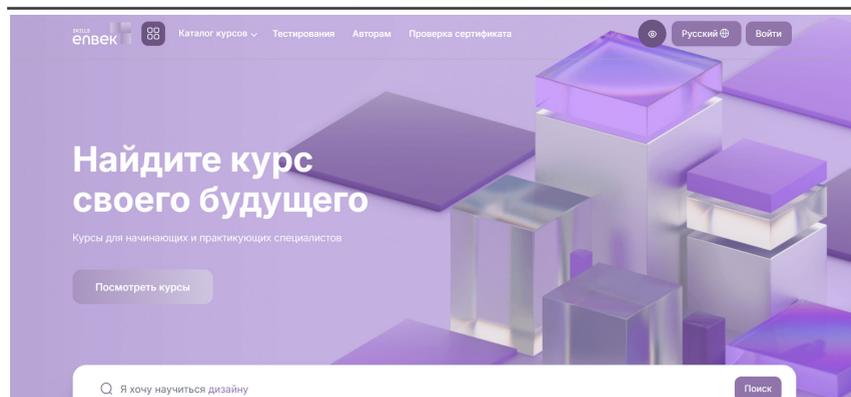
Сурет 3 – Udacity интерфейсінің мысалы



Сурет 1 – Coursera интерфейсінің мысалы



Сурет 4 – Stepik интерфейсінің мысалы



Сурет 5 – Skills enbek интерфейсінің мысалы

### Платформалардың SWOT-талдауы

Әр платформа үшін жеке SWOT-талдау жасалып, олардың күшті және әлсіз жақтары, сондай-ақ мүмкіндіктері мен қауіптері анықталды. Төменде негізгі аспектілер бойынша талдау нәтижелері берілген:

– Coursera және edX жоғары сапалы білім беру контентімен ерекшеленеді, бірақ сертификаттардың құны кейбір пайдаланушылар үшін кедергі болуы мүмкін. Бұл екі платформа университеттік бағдарламалармен интеграцияланып, әртүрлі тілдерде курстар санын арттыру арқылы нарықты кеңейту перспективаларына ие [2; 3; 4].

– Udacity IT-мамандарға арналған мамандандырылған курстарымен және жобалар арқылы оқытудағы бірегей тәсілімен ерекшеленеді. Алайда, техникалық білім беру нарығындағы бәсекелестік оның одан әрі өсуіне қауіп төндіруі мүмкін [6; 7].

– Stepik және Skills enbek аймақтық аудиторияларға қажетті мамандандырылған білімді ұсынатын тегін және локализацияланған курстармен ерекшеленеді. Алайда, пәндердің шектеулі болуы олардың аудиториясын шектеуі мүмкін [7; 8].

MOOC платформаларын SWOT-талдау арқылы зерттеу әдісі платформалардың формалды емес білім беру үшін қолданылуының негізгі аспектілерін анықтауда тиімді болды. Бұл әдіс платформалардың ағымдағы артықшылықтары мен кемшіліктерін ғана емес, сонымен қатар онлайн-білім берудің өсіп келе жатқан танымалдығы жағдайында олардың даму перспективаларын анықтауға мүмкіндік берді.

### Нәтижелер және талқылау

Coursera, edX, Udacity, Stepik және Skills enbek бес негізгі MOOC платформаларына жүргізілген SWOT-талдау олардың ішкі ерекшеліктерін

және формалды емес білім беру жүйесінде одан әрі дамуының мүмкіндіктерін анықтауға мүмкіндік берді. Талдау нәтижесінде оқыту тәсілдерінде, мақсатты аудиторияларда және даму стратегияларында елеулі айырмашылықтар анықталды [1; 4]. Төменде 2-ші кестеде SWOT-талдаудың әрбір элементі бойынша күшті жақтары, 3-ші кестеде әлсіз жақтары, 4-ші кестеде мүмкіндіктері, 5-ші кестеде қауіптері көрсетілген.

### Кесте 2 – Күшті жақтары (Strengths). SWOT-талдау.

Платформа	Күшті жақтары
Coursera	Жоғары сапалы білім беру мазмұны; Халықаралық университеттермен және компаниялармен серіктестіктер.
edX	STEM пәндеріне басымдық беру; Халықаралық деңгейде танылған білім беру бағдарламалары.
Udacity	Техникалық дағдыларға баса назар аудару; Практикаға негізделген оқу; Ірі технологиялық компаниялармен серіктестік.
Stepik	Тегін курстардың қолжетімділігі; Бағдарламалау және математика бағытындағы жоғары сапалы білім беру.
Skills enbek	Тегін кәсіби курстар; Мемлекеттік қолдау; Қазақ және орыс тілдерінде курстардың қолжетімділігі.

### Кесте 3 – Әлсіз жақтары (Weaknesses). SWOT-талдау.

Платформа	Әлсіз жақтары
Coursera	Сертификаттардың жоғары құны. Кейбір курстардың құны өте жоғары болуы мүмкін.
edX	Сертификаттар құны жоғары. Практикалық оқытудың жеткіліксіздігі.
Udacity	Бағасы жоғары бағдарламалар (нано-дипломдар). Шектеулі курс таңдауы.
Stepik	Тек техникалық пәндерге бағытталған. Халықаралық сертификаттардың жоқтығы.
Skills enbek	Шектеулі тақырыптық бағыттар. Халықаралық деңгейде сертификаттардың мойындалмауы.

Кесте 4 – Мүмкіндіктері (Opportunities). SWOT-талдау.

Платформа	Мүмкіндіктері
Coursera	Локализацияланған курстарды жасау; Университеттермен және компаниялармен серіктестікті кеңейту.
edX	Жаңа форматтағы оқыту курстарын енгізу; Әртүрлі салаларға бағытталған курстарды көбейту.
Udacity	Техникалық емес салаларға бағытталған курстарды кеңейту; Жаңа тақырыптарды қосу.
Stepik	Халықаралық аудиторияға қолжетімділікті арттыру; Университеттермен ынтымақтастықты кеңейту.
Skills enbek	Жаңа кәсіби курстарды енгізу; Халықаралық білім беру бастамаларымен интеграция.

Кесте 5 – Қауіптері (Threats). SWOT-талдау.

Платформа	Қауіптері
Coursera	Басқа платформалармен бәсекелестік; Баға кедергілері.
edX	Бәсекелестіктің күшеюі; Пайдаланушыларды жоғалту қаупі.
Udacity	Технологиялық өзгерістерге тез бейімделу қажеттілігі; Бәсекелестермен күресу.
Stepik	Халықаралық аудиторияға қызығушылықтың төмендеуі; Көптілділікті қамтамасыз етудегі қиындықтар.
Skills enbek	Мемлекеттік қолдаудың азаюы; Халықаралық аудиториямен байланыс орнату мүмкіндіктерінің азаюы.

Зерттеу көрсеткендей, MOOC платформалары формалды емес білім беруді дамытуда маңызды рөл атқарады, кең ауқымды білім беру ресурстарына қол жеткізуді қамтамасыз етеді. Coursera және edX жоғары сапасы мен жаһандық қамтылуының арқасында нарықтағы көшбасшы болып қала береді, бірақ олардың жетістігі ішінара сертификаттардың жоғары құнымен шектелген. Udacity IT-индустриясы үшін мамандандырылған бағдарламаларды ұсынады, бірақ оның пәндердің шектеулі ауқымы

платформаны кеңірек білім алғысы келетін студенттер үшін аз тартымды етеді. Stepik және Skills enbek аймақтық және локализацияланған платформалардың маңыздылығын көрсетеді, бірақ олардың одан әрі табысы ұсыныстарды кеңейту және халықаралық аудиторияны тарту қабілетіне байланысты болады [2; 3; 6; 8].

Барлық платформалар университеттермен интеграциялау, жаңа курстар құру және еңбек нарығының өзгеретін қажеттіліктеріне бейімделу есебінен өсу әлеуетіне ие. Дегенмен, олардың табысты дамуы үшін бәсекелестік сияқты сыртқы қауіптерді және білім беру бағдарламаларын жедел жаңарту қажеттілігін ескеру қажет [10].

### Қорытынды

Coursera, edX, Udacity, Stepik және Skills enbek MOOC платформаларына жүргізілген SWOT-талдау негізінде бұл платформалардың формалды емес білім беру жүйесінде маңызды рөл атқаратынын және қолжетімді, икемді және сапалы білім беруді дамытудағы рөлін растайтын бірнеше негізгі қорытындылар жасауға болады.

1 MOOC платформалары қазіргі білім беру саласында маңызды рөл атқарады, студенттер мен мамандарға әлемнің кез келген нүктесінен сапалы білім алуға мүмкіндік береді. Coursera және edX платформалары әлемдегі жетекші университеттер мен халықаралық ұйымдардың курстарына қолжетімділікті қамтамасыз етеді, бұл аудиторияның білім деңгейі мен дағдыларын арттыруға ықпал етеді. Udacity нақты жұмыста сұранысқа ие практикалық дағдыларды алуға бағытталған курстар ұсына отырып, техникалық салалардағы мамандарды даярлауға баса назар аударады [2; 3; 6].

2 MOOC платформаларының қолжетімділігі мен икемділігі олардың формалды емес оқыту үшін құндылығын растайды. Stepik және Skills enbek платформалары өздерінің аймақтық бағыттылығымен және ана тілдерінде қолжетімділігімен ерекшеленеді, бұл жергілікті аудиторияға тілдік кедергісіз білім алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл платформалардағы тегін және ішінара тегін курстар студенттерге қаржылық мүмкіндіктері шектеулі студенттер үшін білім алуды қолжетімді етеді. Бұл локализацияланған платформалардың кең аудиторияға қолжетімді білім беру саласындағы маңызды рөлін көрсетеді [8].

3 Сертификациялық бағдарламалардың құны MOOC платформаларын кеңінен пайдаланудағы кедергі болып табылады. Coursera, edX және Udacity сияқты платформалар жаһандық ауқымға ие болғанымен, олардың сертификаттарының жоғары құны табысы төмен елдердегі пайдаланушылар үшін бұл платформаларды пайдалануды шектейді. Бұл сертификацияның икемдірек баға модельдерін әзірлеу қажеттілігін растайды, бұл болашақ зерттеулер мен жетілдірулердің маңызды бағыты болуы мүмкін [2; 3; 4; 6].

4 Практикаға негізделген оқыту MOOC платформаларының маңызды артықшылығы болып табылады, әсіресе жоғары технологиялық салалардағы мамандарды даярлау тұрғысынан. Udacity теориялық білімді нақты жобалармен бекітетін табысты модельді көрсетеді, бұл түлектерді еңбек нарығында бәсекеге қабілетті етеді. Бұл тәжірибе Stepik және Skills enbek сияқты басқа платформалардың білім беру бағдарламаларын жетілдіру үшін қолданылуы мүмкін, практикалық тапсырмалар мен жобалардың санын көбейту арқылы студенттердің дағдыларын нығайтуға болады [6; 8].

5 Бәсекелестік және технологиялық өзгерістер MOOC платформалары үшін елеулі сынақтар тудырады. Технологиялар жылдам дамып жатқандықтан, платформалар өздерінің курстарын үнемі жаңартып отыруы керек, бұл әсіресе Udacity сияқты IT саласында жұмыс істейтін платформалар үшін маңызды. Платформалар осы өзгерістерге бейімделуі керек, осылайша студенттерге өзекті және тартымды білім беру ресурстарын ұсына отырып, өздерінің тиімділіктерін арттыра алады [4; 6; 8].

Болашақ зерттеулер мен жетілдірулер үшін ұсыныстар:

1 Баға модельдерінің икемділігін дамыту: Coursera және edX сияқты платформалар төмен табысты елдерден келген студенттер үшін аймақтық жеңілдіктер немесе тегін сертификаттар ұсына алады, бұл олардың танымалдығы мен қолжетімділігін арттырады [2; 3].

2 Дәстүрлі білім беру жүйелерімен интеграция: MOOC платформалары сертификаттарды ресми білім беру жүйелерінде мойындауды арттыру мақсатында университеттермен ынтымақтастықты нығайтуды қарастыруы мүмкін. Бұл олардың еңбек нарығындағы құндылығын арттырады [4].

3 Локализацияланған курстарды әзірлеу және тілдердің қолжетімділігін кеңейту: Stepik және Skills enbek сияқты платформалар курстарды көптілді қолдау арқылы халықаралық аудиторияға кеңейте алады. Бұл платформаларға әртүрлі елдерден келген студенттерді тартуға және жаһандық нарықтағы позицияларын нығайтуға мүмкіндік береді [8].

4 Практикалық бағдарламалар мен жобаларды жақсарту: Stepik және Skills enbek платформалары Udacity тәжірибесіне сүйене отырып, практикаға негізделген бағдарламаларды әзірлей алады. Бұл студенттерге теориялық білімді тәжірибеде қолдануға мүмкіндік береді және олардың жұмысқа орналасу мүмкіндігін арттырады [6; 8].

Зерттеу нәтижелері MOOC платформаларының формалды емес білім беру жүйесін дамытудағы маңызды рөлін растады, бірақ оларды жаһандық білім беру нарығының өсіп келе жатқан қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін одан әрі жетілдіру қажет. Осы саладағы зерттеулерді жалғастыру платформалардың қолжетімділігін, ресми білім беру жүйелерімен

интеграциясын жақсартуға және оларды тез өзгеретін технологиялық ортаға бейімдеуге бағытталуы керек.

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің мемлекеттік бюджеттік ғылыми зерттеу жұмысы шеңберінде орындалды (№AP23485289).

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Каирбаева, А. Қ., Куанышева, Р. С., Оспанова, Н. Н.** Формальды емес оқытуды дамыту мен қолжетімді білім беруді қамтамасыз етуге қатысты мәселелер // Академик Қаныш Сәтбаевтың 125 жылдығына арналған «XXIV Сәтбаев оқулары» атты Халықаралық ғылыми конференцияның материалдары. Павлодар: Торайғыров университеті. [Текст] – 2024. – Т. 16. – Б. 227–231.

2 Coursera. Ресми сайты. – [Электрондық ресурс]. – <https://www.coursera.org>.

3 edX. Ресми сайты. – [Электрондық ресурс]. – <https://www.edx.org>.

4 **Ashilova, M. S., Begalinov, A. S., Pushkarev, Yu. V., Pushkareva, I. Yu., Begalinova, K. K., Pushkareva, E. A.** Assessment Future Evolution of Massive Open Online Courses (MOOCs): SWOT Analysis (Global and Regional Measuring) // Russian Journal of Regional Studies. [Текст] – 2024. – №32(1). – С. 144–162. – <https://doi.org/10.15507/2413-1407.126.032.202401.144-162>.

5 **Ospanova, N., Tokzhigitova, N., Jarassova, G., Karaca, C., Sadykova, A.** Methodology for organizing hidden assessment based on elements of gamification // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. [Текст] – 2024. – № 2 (408). – С. 293–306. – <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1467.723>.

6 Udacity. Ресми сайты. – [Электрондық ресурс]. – <https://www.udacity.com>.

7 Stepik. Ресми сайты. – [Электрондық ресурс]. – <https://stepik.org>.

8 Skills.enbek.kz. Ресми сайты. – [Электрондық ресурс]. – <https://skills.enbek.kz>

9 **Абросимова, Н. А., Вацковская, И. С.** Моок для переводчиков: современное состояние и перспективы развития в России // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. [Текст] – 2019. – № 192. – С. 153–159. – <https://cyberleninka.ru/article/n/mook-dlya-perevodchikov-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-v-rossii> (дата обращения: 24.09.2024)

10 **Кручинин, М. В., Кручинина, Г. А., Петрукович, Л. А.** Применение цифровых технологий обучения в высшей школе: проблемы и перспективы, swot-анализ // КПЖ. [Текст] – 2020. – № 3 (140). – С. 64–74. – <https://>

[cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tsifrovyyh-tehnologiy-obucheniya-v-vysshey-shkole-problemy-i-perspektivy-swot-analiz](https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tsifrovyyh-tehnologiy-obucheniya-v-vysshey-shkole-problemy-i-perspektivy-swot-analiz) (дата обращения: 24.09.2024)

## REFERENCES

1 **Kairbaeva, A. Q., Kuanyşeva, R. S., Ospanova, N. N.** Formäldy emes oqytudy damytu men qoljetimdi bilim berudi qamtamasyz etuge qatysty mäseleler [Problems related to the development of non-formal education and provision of accessible education] // Akademik Qanyş Sätbäevtyñ 125 jyldyğyna arnalğan «XXIV Sätbäev oqulary» atty Halyqaralyq ғылыми konferensianyñ materialdary. Pavlodar: Toraiğyrov universiteti. [Proceedings of the International Scientific Conference “XXIV Satbaev Readings” dedicated to the 125th anniversary of Academician Kanysh Satbaev. Pavlodar: Toraygyrov University.] [Text] – 2024. – Т. 16. – P. 227–231

2 Coursera. Official website. – [Electronic resource]. – <https://www.coursera.org>

3 edX. Official website. – [Electronic resource]. – <https://www.edx.org>

4 **Ashilova, M. S., Begalinov, A. S., Pushkarev, Yu. V., Pushkareva, I. Yu., Begalinova, K. K., Pushkareva, E. A.** Assessment Future Evolution of Massive Open Online Courses (MOOCs): SWOT Analysis (Global and Regional Measuring) // Russian Journal of Regional Studies. [Text] – 2024. – №32(1). – P. 144–162. – <https://doi.org/10.15507/2413-1407.126.032.202401.144-162>.

5 **Ospanova, N., Tokzhigitova, N., Jarassova, G., Karaca, C., Sadykova, A.** Methodology for Organizing Hidden Assessment Based on Elements of Gamification // Vestnik Natsionalnoy Akademii Nauk Respubliki Kazakhstan [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan]. [Text] – 2024. – №2(408). – P. 293–306. – <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1467.723>.

6 Udacity. Official website. – [Electronic resource]. – <https://www.udacity.com>

7 Stepik. Official website. – [Electronic resource]. – <https://stepik.org>

8 Skills.enbek.kz. Official website. – [Electronic resource]. – <https://skills.enbek.kz10>

9 **Abrosimova, N. A., Vaczkovskaya, I. S.** MOOC dlya perevodchikov: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya v Rossii [MOOCs for Translators: Current State and Prospects for Development in Russia] // Izvestiya RGPU im. A. I. Gertsena [Herzen State Pedagogical University of Russia Bulletin]. [Text] – 2019. – № 192. – P. 153–159. – <https://cyberleninka.ru/article/n/mook-dlya-perevodchikov-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-v-rossii> (accessed: 24.09.2024)

10 **Kruchinin, M. V., Kruchinina, G. A., Petrukovich, L. A.** Primeneniye tsifrovyykh tekhnologiy obucheniya v vysshey shkole: problemy i perspektivy, SWOT-analiz [Application of Digital Learning Technologies in Higher Education: Problems and Prospects, SWOT Analysis] // KPZh [Scientific and Technical Journal]. [Text] – 2020. – №3 (140). – P. 64–74. – <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tsifrovyyh-tehnologiy-obucheniya-v-vysshey-shkole-problemy-i-perspektivy-swot-analiz> (accessed: 24.09.2024)

26.01.24 ж. баспаға түсті.

25.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

17.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Н. Н. Оспанова<sup>1</sup>, \*А. Қ. Каурбаева<sup>2</sup>, Р. С. Куанышева<sup>3</sup>,**

**Н. К. Токжигитова<sup>4</sup>, С. Д. Байжуманов<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

26.01.24 ж. баспаға түсті.

25.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

17.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## SWOT-АНАЛИЗ МООС ПЛАТФОРМ В КОНТЕКСТЕ НЕФОРМАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*В данной статье представлен SWOT-анализ платформ Coursera, edX, Udacity, Stepik и Skills enbek в контексте неформального образования. MOOC (Massive Open Online Courses) платформы являются важным инструментом современного образования, поскольку предоставляют возможность многим людям обучаться самостоятельно. В ходе исследования были подробно рассмотрены сильные и слабые стороны каждой платформы, а также их возможности и угрозы. Глобальные платформы, такие как Coursera и edX, предлагают высококачественные курсы международного уровня, в то время как Stepik и Skills enbek ориентированы на региональную аудиторшу и поддержку местных языков. Платформа Udacity занимает особое место в подготовке технических специалистов и развитии практических навыков. SWOT-анализ позволил выявить влияние каждой платформы на процесс неформального обучения и определить их роль в этой сфере. Результаты исследования продемонстрировали важность доступности, качества контента и перспектив дальнейшего развития этих платформ в системе неформального образования. В статье также рассмотрены преимущества и недостатки использования MOOC платформ в неформальном обучении, что*

позволяет лучше понять их роль в образовательном процессе. Это исследование направлено на развитие цифровых технологий в образовании и совершенствование системы неформального обучения.

Ключевые слова: неформальное образование, массовый открытый курс, онлайн-образование, Coursera, edX, Udacity, Stepik, Skills enbek.

N. N. Ospanova<sup>1</sup>, \*A. K. Kairbaeva<sup>2</sup>, R. S. Kuanysheva<sup>3</sup>,

N. K. Tokzhigitova<sup>4</sup>, S. D. Baizhumanov<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 26.11.24.

Received in revised form 25.11.24.

Accepted for publication 17.03.24.

## SWOT ANALYSIS OF MOOC PLATFORMS IN THE CONTEXT OF NON-FORMAL EDUCATION

This article presents a SWOT analysis of the Coursera, edX, Udacity, Stepik, and Skills enbek platforms in the context of non-formal education. MOOC (Massive Open Online Courses) platforms are a significant tool in modern education, as they provide many people with the opportunity to learn independently. The study thoroughly examines the strengths and weaknesses of each platform, as well as their opportunities and threats. Global platforms such as Coursera and edX offer high-quality, international-level courses, while Stepik and Skills enbek focus on regional audiences and local language support. Udacity, in particular, plays a key role in technical training and developing practical skills. The SWOT analysis highlighted the impact of each platform on the non-formal learning process and identified their role in this field. The research results emphasize the importance of accessibility, content quality, and development prospects for these platforms within the non-formal education system. The article also explores the advantages and disadvantages of using MOOC platforms in non-formal education, helping to better understand their role in the educational process. This research contributes to the development of digital technologies in education and aims to improve the non-formal education system.

Keywords: non-formal education, massive open course, online education, Coursera, edX, Udacity, Stepik, Skills enbek.

МРНТИ 20.53.01

<https://doi.org/10.48081/HAJC3064>

**Н. К. Савченко<sup>1</sup>, Ю. К. \*Шакирова<sup>2</sup>,  
Г. Б. Абилдаева<sup>3</sup>, Н. А. Янке<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Некоммерческое Акционерное Общество Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда,

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3750-1012>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2583-1751>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-2552>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7478-5970>

\*e-mail: [uliya\\_sch@mail.ru](mailto:uliya_sch@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЦЕПТРОНА В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

В данной статье проводится исследование в целях изучения работы перцептрона и его возможностей в распознавании образов.

Задачи исследования:

Разработать две разные модели перцептрона и обучить их;

Проверить работу обеих моделей на исходных данных;

Проверить работу моделей на исходных данных с различными видами помех: удаление пикселей, добавление лишних пикселей, добавление лишней горизонтальной и вертикальной черт, удаление горизонтальной и вертикальной черт.

Входные данные представлены матрицами размером 7 на 5, заполненные нулями и единицами, где 1 – закрашенный пиксель, 0 – незакрашенный. Содержимое картинок – числа от 0 до 9. После обучения и проверки на обучающей выборке нейросети должны будут определить число на повреждённых изображениях.

В итоге модели смогли определить числа как на обучающей выборке, так и на поврежденных изображениях.

Данное исследование имеет следующие значения:

изучение способов распознавания образов с помощью перцептронов;

способствование более глубокому пониманию работы перцептронов;

в качестве основы для дальнейших исследований в области распознавания образов с применением нейросетей.

*Ключевые слова: перцептрон, нейронная сеть, глубокое обучение, распознавание образов, машинное обучение, наука о данных.*

## Введение

Распознавание образов на изображениях представляет собой одну из классических задач в области машинного обучения и искусственного интеллекта. Несмотря на множество достижений в этой области, существует постоянная потребность в разработке исследовательских подходов и методов, способных углубить наше понимание процессов обучения и повысить эффективность распознавания образов.

В данной статье обращается внимание на одну из таких задач - распознавание чисел на изображениях, и представлен исследовательский проект, ориентированный на изучение процесса обучения перцептрона в контексте этой задачи.

В последующих разделах этой статьи будут представлены методология и результаты экспериментов, а также обсуждение и выводы исследования.

Исследование проводится для того, чтобы понять принципы работы нейронных сетей и методы распознавания образов.

Гипотеза: нейронные сети довольно увлекательные и многофункциональные объекты, которые обладают многофункциональными способностями, возможностями и безграничными перспективами.

## Материалы и методы

Для работы с нейронными сетями были использованы язык программирования Python и фреймворк для машинного обучения TensorFlow.

Python – это высокоуровневый интерпретируемый язык программирования общего назначения, появившийся в 1991 году. Разработка Python ведется с упором на простое понимание для человека и быстрое освоение.

Tensorflow – это фреймворк для разработки приложений машинного обучения, в том числе и нейросетей. Например, Tensorflow позволяет работать с:

- многомерными массивами;
- использовать для вычислений не только процессор, но и видеокарты и системы распределенных вычислений;
- конструированием моделей, их обучения и экспортом [1].

Нейронные сети относятся к области машинного обучения и используются в глубоком обучении для решения различного рода задач. Человеческий мозг, состоит из нейронов, которые связаны между собой импульсами. В свою очередь сеть нейронов образуют нейронную сеть, для

обработки задач различных областей. Посредством синапсов от нейронов передаются импульсы по нейронной сети [2].

Нейрон представляет собой элемент, который принимает данные, производит по ним определенные действия, а затем отправляет далее для обработки. Нейроны бывают трёх основных типов, в зависимости от того, в каком слое они находятся: входной, скрытый и выходной. Нейрон действует, как бинарный элемент, он либо разряжается, либо нет. Посылает информацию вниз по аксону, либо не посылает. Нейрон имеет вход и выход для приема и передачи информации. В другом случае, нейрон на вход получает данные суммированные от других нейронов, затем используя функцию активации, значение порога, весовые коэффициенты, обрабатывает их и передает на выход.

Синапс – это связь между нейронами соседних слоев [3]. Синапс обладает одной единственной характеристикой – вес, определяющий силу связи. Данные из нейрона предыдущего слоя умножаются на вес синапса перед тем, как оказаться на входе нейрона следующего слоя.

Нам нужно смоделировать каким-то образом нелинейность нейрона. Для этого используется функция активации, где учитывается смещение. Данная функция определяет, дает ли нейрон действие, либо нет, т.е. некоторое значение порога, при котором нейрон становится активен.

На практике используют две функции активации – это сигмоидальная и гиперболический тангенс.

Различаются данные функции по количеству входной информации [4].

Сигмоидальная функция активации сейчас ее использование самое перспективное, принимает значения в диапазоне . Данную функцию называют еще логистической, большинство нейронных сетей построено, используя данную функцию.

Если значения могут принимать значения, например 2 или -1, следует использовать функции с гиперболическим тангенсом, потому что диапазон у функции .

Для обучения нейронных сетей необходим набор данных, называемый обучающей выборкой, с помеченными примерами. В процессе обучения сеть итеративно подстраивает свои веса, чтобы минимизировать ошибку [5].

Итерация – это повтор действий, который изменяется в сторону увеличения, каждый раз при одном обучении нейронной сети.

Нейронная сеть, пройдя определенное число обучающих выборок, обучится, это число и будет считаться итерацией [6].

Когда нейронная сеть начинает работать, задается начальное значение этой величины равно 0, максимальное значение мы задаем сами.

Натренированная нейронная сеть имеет наибольшее значение эпохи, а, следовательно, выдает нам наилучший результат. Увеличение эпохи происходит каждый раз, когда сеть прошла полностью обучение по выборкам [7].

Ошибка – это значение, которое показывает расхождения между результатом, который мы хотим получить и которым мы получили.

В случае ошибки, когда результат имеет отклонения от входного значения, нам необходимо корректировать весовые коэффициенты.

Обучение нейросети производится с учителем и без учителя [8].

Если мы используем обучение с учителем, алгоритм тренируется на наборе помеченных данных, что означает, что входные данные сопрягаются с правильным выходным сигналом или целью. Цель состоит в том, чтобы изучить соответствие между входными и выходными данными, что позволит модели делать прогнозы или классификации на новых, еще не полученных данных. К распространенным алгоритмам контролируемого обучения относятся: линейная регрессия, деревья решений, машины опорных векторов и нейронные сети. Приложения включают классификацию изображений, распознавание речи и обнаружение спама в электронной почте [9].

Обучение без учителя имеет дело с немаркированными данными, когда алгоритм пытается найти закономерности, структуры или взаимосвязи в данных без явного контроля. К распространенным методам обучения без учителя относятся: кластеризация (например, кластеризация K-means) и снижение размерности (например, анализ главных компонент). Области применения включают сегментацию потребителей, обнаружение аномалий и тематическое моделирование [10].

### Обсуждение

Для исследования было создано две модели со следующими характеристиками:

Входной слой – 35 нейронов, первый скрытый слой – 20 нейронов, выходной слой - 10 нейронов;

Входной слой – 35 нейронов, первый скрытый слой – 20 нейронов, второй скрытый слой – 15 нейронов, выходной слой – 10 нейронов.

Код создания моделей представлен на рисунке 1.

```
def make_one_layer_model(neurons_in_hidden_layer: int = 20):
    model_with_one_hidden_layer = keras.Sequential()

    model_with_one_hidden_layer.add(Flatten(input_shape=(35,)))
    model_with_one_hidden_layer.add(Dense(units=neurons_in_hidden_layer, activation="relu"))
    model_with_one_hidden_layer.add(Dense(units=10, activation="softmax"))
    model_with_one_hidden_layer.compile(optimizer="adam", loss="categorical_crossentropy", metrics=["accuracy",])

    return model_with_one_hidden_layer

def make_two_layer_model(neurons_in_first_layer: int = 20, neurons_in_second_layer: int = 15):
    model_with_two_hidden_layers = keras.Sequential()

    model_with_two_hidden_layers.add(Flatten(input_shape=(35,)))
    model_with_two_hidden_layers.add(Dense(units=neurons_in_first_layer, activation="relu"))
    model_with_two_hidden_layers.add(Dense(units=neurons_in_second_layer, activation="relu"))
    model_with_two_hidden_layers.add(Dense(units=10, activation="softmax"))
    model_with_two_hidden_layers.compile(optimizer="adam", loss="categorical_crossentropy", metrics=["accuracy",])

    return model_with_two_hidden_layers
```

Рисунок 1 – Функции создания моделей

С каждой нейросетью будут проведены следующие эксперименты:  
Удаление 1-3 пикселей из изображения;  
Добавление 1-3 лишних пикселей на изображение;  
Добавление и удаление 1-3 пикселей из изображения;  
Добавление 1 строки и столбца по отдельности на изображение.  
Обучающая выборка имеет следующий вид (рисунок 2).

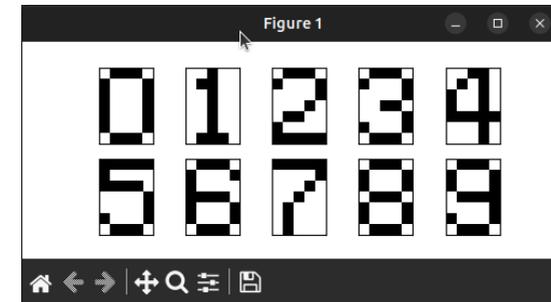


Рисунок 2 – Обучающая выборка

### Результаты и обсуждение

В качестве тестового изображения было выбрано с числом 7.

Результат работы на обучающей выборке можно увидеть на рисунке 3.

```
Тест моделей на обучающей выборке
Ожидаемый результат: 7
Текущая модель: Однослойная сеть
1/1 [=====] - 0s 73ms/step
Результат модели: 7
Текущая модель: Двуслойная сеть
1/1 [=====] - 0s 55ms/step
Результат модели: 7
```

Рисунок 3 – Результат работы на обучающей выборке

1 эксперимент. Получившиеся искажения можно увидеть на рисунке 4 (слева эталон, справа — поврежденное изображение).

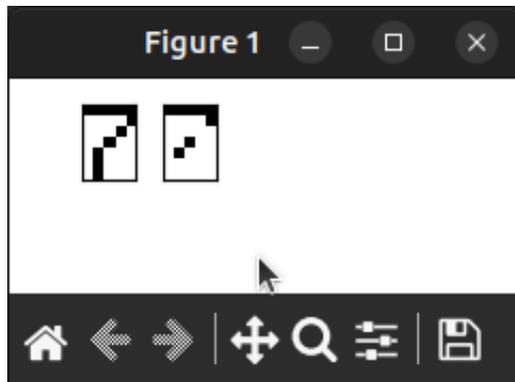


Рисунок 4 – Искажение в виде удаленных пикселей

Результат работы моделей отображен на рисунке 5.

```
Тест моделей на изображениях, где удален 1 или 3 пикселя
Будет повреждено 3
Текущая модель: Однослойная сеть
1/1 [=====] - 0s 24ms/step
Результат модели: 7
Текущая модель: Двуслойная сеть
1/1 [=====] - 0s 23ms/step
Результат модели: 7
```

Рисунок 5 – Тест моделей на изображении с удаленными пикселями

2 эксперимент. Получившиеся искажения показаны на рисунке 6.

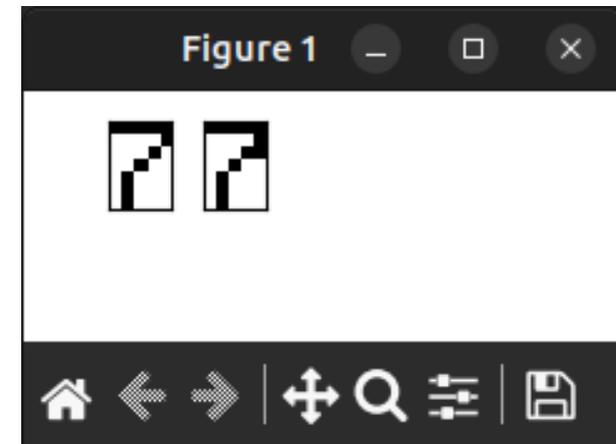


Рисунок 6 – Изображение с лишними пикселями

Результат работы моделей показан на рисунке 7.

```
Тест моделей на изображениях, где закрасены лишние 1 или 3 пикселя
Будет повреждено 1
Текущая модель: Однослойная сеть
1/1 [=====] - 0s 23ms/step
Результат модели: 7
Текущая модель: Двуслойная сеть
1/1 [=====] - 0s 22ms/step
Результат модели: 7
```

Рисунок 7 – Тест моделей на изображении с лишними пикселями

3 эксперимент. Искажения показаны на рисунке 8.

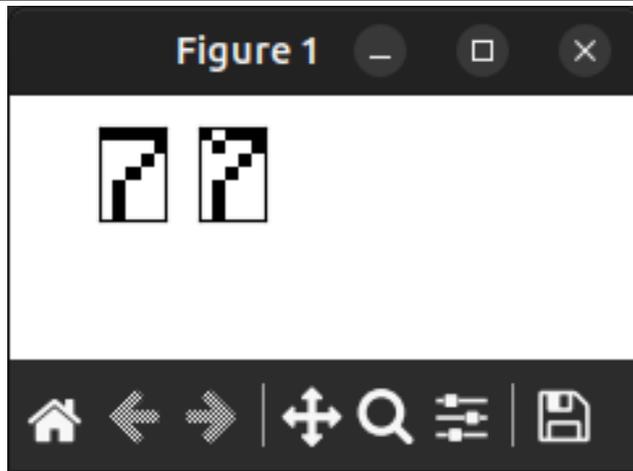


Рисунок 8 – Изображение с лишними и удаленными пикселями

Результат работы моделей ниже на рисунке 9.

```
Тест моделей на изображении, где есть как лишние, так и отсутствующие пиксели
Будет повреждено 2
Текущая модель: Однослойная сеть
1/1 [=====] - 0s 24ms/step
Результат модели: 7
Текущая модель: Двухслойная сеть
1/1 [=====] - 0s 23ms/step
Результат модели: 1
```

Рисунок 9 – Тест моделей на изображении с лишними и удаленными пикселями

Здесь можно увидеть, что модель с 2-мя скрытыми слоями ошиблась. 4 эксперимент. Добавленная лишняя строка показана на рисунке 10.

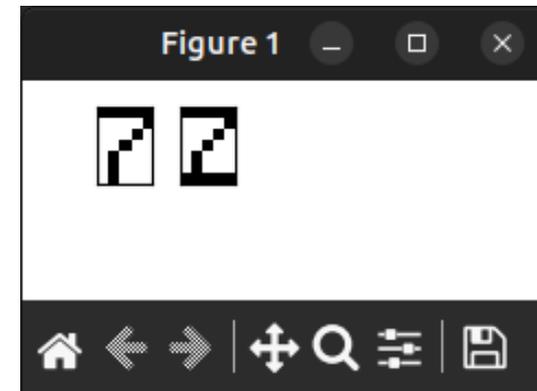


Рисунок 10 – Изображение с лишней черной строкой

### Выводы

Как можно увидеть на результатах экспериментов, обе модели верно за одним исключением распознают как изображения из тестовой выборки, так и с помехами.

В последнем эксперименте, где удалялась горизонтальная черта, и в эксперименте, где пиксели были и удалены, и добавлены, двухслойная модель могла ошибиться, поскольку именно горизонтальная черта у числа «7» могла стать ключевым признаком этого числа для нее, а для числа «1» – вертикальная, что и привело к ошибке. Для однослойной сети похоже, в таком случае, ключевым признаком была наклонная черта. При этом можно заметить, что в эксперименте с удалением пикселей, наклонная черта была практически стерта, что, однако не помешало ей верно распознать число. Отсюда можно сделать предположение, что как горизонтальная, так и наклонная черты являются для однослойной сети наиболее значимыми, и она не спутала ее, например, с числом «5», где также имеется горизонтальная черта, поскольку на ее изображении наклонных черт нет. Двухслойная сеть в данном случае может быть избыточной или же стоит изменить подход к ее обучению. Несмотря на успешное выполнение задачи, использование перцептрона на изображениях больших масштабов может оказаться проблематичным, поскольку размер изображения будет ограничен количеством нейронов во входном слое и, скорее всего, корректно работать такая модель будет лишь на изображениях с тем же соотношением сторон, что и в обучающей выборке, возможно даже, что соотношение сторон будет только одно. Для таких целей, скорее всего, лучше подойдут другие модели нейронных сетей.

Нейросети действительно представляют собой интересный объект. Они позволяют достаточно легко решать задачи, для которых видится сложным или невозможным решение обычными алгоритмами. В ходе исследования были изучены: принцип работы перцептрона, способ его обучения, пригодность для задачи распознавания образов. Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что перцептрон способен верно распознавать образы, в том числе с помехами в большинстве случаев, на небольших изображениях, однако он будет неэффективен в больших масштабах.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Николенко, С.** Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / Николенко С., Архангельская Е., Кадури А.; под общ. ред Гринчик Н. – Санкт–Петербург: Питер, 2020. – 480 с. – Текст : непосредственный.
- 2 **Andrew W.** Trask. Grokking Deep Learning / Andrew W. Trask. – Manning, 2019. – 336 p. – Текст: непосредственный.
- 3 **Иванько, А. Ф., Иванько, М. А., Колесникова О. Д.** Информационные нейронные сети // Научное обозрение. Технические науки. – 2019.
- 4 **Галушкин, А. И.** Нейронные сети: основы теории. / А. И. Галушкин. – М. : РиС, 2015. – 496 с.
- 5 **Каллан, Р.** Нейронные сети: Краткий справочник / Р. Каллан. – М. : Вильямс И. Д., 2017. – 288 с.
- 6 **Редько, В. Г.** Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В. Г. Редько. – М. : Ленанд, 2015. – 224 с.
- 7 **Хайкин, С.** Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М. : Диалектика, 2019. – 1104 с.
- 8 **Ширяев, В. И.** Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика / В. И. Ширяев. – М. : Ленанд, 2019. – 232 с.
- 9 **Ширяев, В. И.** Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика: Учебное пособие / В. И. Ширяев. – М. : КД Либроком, 2015. – 232 с.
- 10 **Рассел, С.** Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) / С. Рассел, П. Норвиг – 2–е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 1424 с.

#### REFERENCES

- 1 **Nikolenko, S.** Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir nejronnyh setej [Deep Learning. Diving into the world of neural networks] / Nikolenko S., Arhangel'skaya E., Kadurin A.; pod obsh. red Grinchik N. – Sankt–Peterburg : Piter, 2020. – 480 p. – Text : neposredstvennyj.
- 2 **Andrew, W.** [Trask. Grokking Deep Learning] / Andrew W. Trask. – Manning, 2019. – 336 p. – Text : neposredstvennyj.
- 3 **Ivanko A. F., Ivanko M. A., Kolesnikova O. D.** Informacionnye nejronnye seti [Information neural networks] // Nauchnoe obozrenie. Tehnicheskie nauki. – 2019.
- 4 **Galushkin, A. I.** Nejronnye seti : osnovy teorii [Neural networks: fundamentals of theory.] / A.I. Galushkin. – M. : RiS, 2015. – 496 c.
- 5 **Kallan, R.** Nejronnye seti : Kratkij spravochnik [Neural Networks: A Concise Handbook] / R. Kallan. – M. : Vilyams I. D., 2017. – 288 c.
- 6 **Redko, V. G.** Evolyuciya, nejronnye seti, intellekt: Modeli i koncepcii evolyucionnoj kibernetiki [Evolution, Neural Networks, Intelligence: Models and Concepts of Evolutionary Cybernetics] / V. G. Redko. – M. : Lenand, 2015. – 224 c.
- 7 **Hajkin, S.** Evolyuciya, nejronnye seti, intellekt: Modeli i koncepcii evolyucionnoj kibernetiki [Neural networks : a complete course] / S. Hajkin. – M. : Dialektika, 2019. – 1104 c.
- 8 **Shiryayev, V. I.** Finansovye rynki : Nejronnye seti, haos i nelinejnaya dinamika [Financial Markets: Neural Networks, Chaos and Nonlinear Dynamics] / V. I. Shiryayev. – M. : Lenand, 2019. – 232 c.
- 9 **Shiryayev, V. I.** Finansovye rynki : Nejronnye seti, haos i nelinejnaya dinamika: Uchebnoe posobie [Financial Markets: Neural Networks, Chaos and Nonlinear Dynamics : A Textbook] / V. I. Shiryayev. – M. : KD Librokom, 2015. – 232 c.
- 10 **Rassel, S.** Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod (AIMA) [Artificial intelligence: a modern approach (AIMA)] / S. Rassel, P. Norvig – 2–e izd.: Per. s angl. – M. : Izd. dom «Vilyams», 2005. – 1424 p.

Поступило в редакцию 12.12.23.

Поступило с исправлениями 08.10.24.

Принято в печать 17.13.24.

**Н. К. Савченко<sup>1</sup>, \*Ю. К. Шакирова<sup>2</sup>, Г. Б. Абилдаева<sup>3</sup>, Н. А. Янке<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.  
12.12.23 ж. баспаға түсті.  
08.10.24 ж. түзетулерімен түсті.  
17.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ҮЛГІНІ ТАҢУ ТАПСЫРМАСЫНДАҒЫ ПЕРЦЕПТРОННЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Зерттеу перцептронның жұмысын және оның үлгіні танудағы мүмкіндіктерін зерттеу үшін жүргізіледі.*

*Зерттеу мақсаттары:*

*Перцептронның екі түрлі моделін жасау және оларды жаттықтыру;*

*Бастапқы деректер бойынша екі үлгінің жұмысын тексеру;*

*Әртүрлі шуыл түрлері бар бастапқы деректерде үлгілердің жұмысын тексеріңіз: пикселдерді жою, қосымша пикселдерді қосу, қосымша көлденең және тік сызықтарды қосу, көлденең және тік сызықтарды жою.*

*Енгізілген деректер нөлдермен және бірліктермен толтырылған 7–ден 5–ке дейінгі матрицалармен ұсынылған, мұнда 1 толтырылған пиксель, 0 толтырылмаған пиксель болып табылады. Суреттердің мазмұны 0–ден 9–ға дейінгі сандардан тұрады. Жаттығу жиынында оқыту және тестілеуден кейін нейрондық желі бүлінген суреттердегі нөмірді анықтауы керек.*

*Нәтижесінде модельдер оқу жинағындағы да, зақымдалған суреттердегі де сандарды анықтай алды.*

*Бұл зерттеудің келесі салдары бар:*

*перцептрондардың көмегімен үлгіні тану әдістерін зерттеу;*

*перцептрондардың жұмысын тереңірек түсінуге ықпал ету;*

*нейрондық желілерді қолдану арқылы үлгіні тану саласындағы одан әрі зерттеулер үшін негіз ретінде.*

*Кілтті сөздер: перцептрон, нейрондық желі, терең оқыту, үлгіні тану, машиналық оқыту, деректер ғылымы.*

**N. K. Savchenko<sup>1</sup>, \*Y. K. Shakirova<sup>2</sup>, G. B. Abildaeva<sup>3</sup>, N. A. Yanke<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Non-profit Joint Stock Company Abylkas Saginov Karaganda Technical  
University, Republic of Kazakhstan, Karaganda  
Received 12.12.23.  
Received in revised form 08.10.24.  
Accepted for publication 17.03.24.

### STUDY OF PERCEPTRON CAPABILITIES IN PATTERN RECOGNITION TASK

*The study is conducted to investigate the performance of perceptron and its capabilities in pattern recognition.*

*The objectives of the study are:*

*To develop two different models of perceptron and train them;*

*To test the performance of both the models on raw data;*

*Test the performance of the models on the original data with different types of disturbances: deletion of pixels, addition of extra pixels, addition of extra horizontal and vertical features, deletion of horizontal and vertical features.*

*The input data are 7 by 5 matrices filled with zeros and ones, where 1 is a painted pixel, 0 is an unpainted pixel. The contents of the pictures are numbers from 0 to 9. After training and testing on a training sample, the neural networks would have to identify the number in the rotated images.*

*In the end, the models were able to determine the numbers on both the training sample and the corrupted images.*

*This research has the following implications:*

*exploring ways to recognize images using perceptrons;*

*contributing to a better understanding of how perceptrons work;*

*as a basis for further research in the field of pattern recognition using neural networks.*

*Keywords: perceptron, neural network, deep learning, pattern recognition, machine learning, data science.*

## **Celal Karaca**

Aksaray University, Turkey, Aksaray

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

e-mail: [karaca42@gmail.com](mailto:karaca42@gmail.com)

### **APPLICATION OF DATA ANALYSIS TOOLS IN PYTHON TO ASSESS THE STANDARD OF LIVING OF THE POPULATION: THE CASE OF KAZAKHSTAN**

*The article discusses the application of Python data analysis tools to assess the standard of living of the Kazakhstani population based on statistical data for the period 1991–2021. The main focus is using modern methods and technologies, such as linear regression, correlation analysis, and time series processing. The study uses Python libraries (Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn) and the PostgreSQL relational database to store and process large amounts of information.*

*The analysis revealed key trends, including a steady increase in per capita income and a decrease in unemployment. The constructed regression models showed that population incomes are closely related to the subsistence minimum and minimum wage. Forecasting for the coming years indicates a continued increase in living standards while maintaining current economic trends.*

*The results confirm that information technology can improve calculation accuracy, optimize data analysis, and present the results in an easy-to-interpret form. This work can be helpful for government agencies, analysts, and researchers involved in assessing socio-economic indicators. This article highlights the importance of information technologies in data analysis and forecasting and demonstrates their potential to solve urgent social policy problems.*

*Keywords: standard of living, data analysis, Python, regression analysis, forecasting, correlation analysis, time series.*

#### **Introduction**

In the context of global digitalization, information technologies play a key role in studying and solving socio-economic problems. One of these tasks is analyzing the standard of living of the population, which reflects the economic

well-being, social equality, and quality of life of citizens. Assessing these indicators makes it possible to identify socioeconomic policy problems and predict society's development direction.

Studies on the assessment of the population's standard of living in Kazakhstan emphasize the importance of integrating socio-economic indicators with spatial data for a more accurate assessment of living standards and strategic decision-making [1; 2]. Based on these studies, you can see the main aspects of the application:

1) Data integration: A spatial information base makes it possible to combine data on social security and living standards, which contributes to the formation of strategic development plans and improves the decision-making process.

2) Using GIS tools: Geographic information systems (GIS) process large amounts of geographical data and create a spatial environment in which socio-economic data are integrated. This allows you to visualize changes in living standards on the map.

3) Analysis of living standards: The study calculated important indicators such as the real income index, the depth and severity of poverty, and the index of social inequality. These indicators help monitor and compare the regions of Kazakhstan.

4) Process automation: Automating the conversion of data into a structured database and creating heat maps to visualize index changes by region is an important part of the research in this direction.

At the same time, the use of data analysis tools has become an important step in systematizing and interpreting large amounts of information. The Python programming language is particularly in demand, as it offers a wide range of libraries for data processing, visualization, and the application of statistical and machine learning methods.

As the review of scientific papers shows, using Python as a data analysis tool for assessing the population's standard of living includes several approaches and technologies used in various studies. For example, in a survey of large Russian cities, the Foursquare service and the folium library were used for data visualization, and the k-means clustering method was used to analyze the quality of life. The leading indicators included migration flows, housing prices, and environmental conditions. It was revealed that the high cost of housing is associated with population growth, and the low cost of housing is associated with a high level of pollution [3, pp. 1-10]. In another study, machine learning algorithms were used to analyze the digital footprints of users of the VKontakte social network. This made it possible to create an index of subjective quality of life, using Python to conduct computational experiments and configure models such as Rubert-tiny [4, pp. 87-97]. The methodology based on user activity in social networks was used to assess the quality of life in 83 regions of Russia. The study included an analysis

of 19 economic, social, and political parameters [5, pp. 182-189]. Also, research shows that using Python data analysis tools to assess the population's standard of living is reasonably practical and reasonable. Here are a few key reasons why Python is a powerful tool in this context:

1) A wide range of libraries. Python provides a variety of libraries for data analysis and machine learning, such as Pandas, NumPy, Scikit-learn, TensorFlow, and others. This allows for comprehensive data analysis, ranging from simple data processing to complex machine learning models [6, p. 2349].

2) Data visualization. Visualization libraries such as Matplotlib, Seaborn, and Folium allow you to create clear and informative graphs and maps. This is especially useful for presenting the environmental situation, migration flows, and other factors affecting the standard of living [3, pp. 1-10].

3) Machine learning. Python has powerful machine-learning tools that allow you to analyze large amounts of data and identify hidden patterns. This can be useful for evaluating the subjective quality of life index based on data from social networks such as VKontakte [4, pp. 87-97].

4) Statistical methods. Python supports various statistical techniques, including factor, cluster, and discriminant analysis. These methods allow for the automated assessment of living standards and the ranking of territories according to various indicators [7, pp. 6-7].

5) Application in various fields. Python can be used in various fields, such as healthcare, to analyze sensor data and assess patients' quality of life. The QVida+ project is an excellent example of this [8, pp. 446-455].

6) Accessibility and ease of use. Python is known for its simplicity and accessibility, which allows specialists from different fields to quickly master it and use it for data analysis [9, pp. 453-457]. Application examples:

- creation of interactive maps using the Folium library to visualize the environmental situation;
- analysis of digital footprints of social media users using machine learning models;
- a quick assessment of the standard of living using factor analysis methods.

Based on the above, using Python as a data analysis tool to assess the population's standard of living demonstrates a variety of approaches, from visualization and clustering to machine learning and social network analysis. These methods allow us to obtain valuable insights about migration flows, the environmental situation, and the subjective perception of the quality of life, contributing to more informed management decision-making.

Thus, the purpose of this work is to demonstrate the capabilities of Python for analyzing the standard of living of the population of Kazakhstan using statistical data for the period 1991-2021 obtained from open sources of the World Bank

[<https://www.worldbank.org/en/>] and from the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan [<https://stat.gov.kz/>]. The research covers key aspects of the analysis, such as regression and correlation methods, data visualization, and forecasting.

This article is aimed at specialists in information technology and data analysis who are interested in using modern tools to study socio-economic indicators.

#### Materials and methods

Data analysis has become integral to research in various fields, including socio-economic processes. Information technology significantly speeds up the processing, interpretation, and visualization of extensive data, providing more accurate and informative results. In this paper, the primary attention is paid to using Python and PostgreSQL tools to analyze the population's standard of living.

Python has become one of the most popular programming languages due to its simplicity, readability, and wide range of library capabilities for data analysis. This language is universal and suitable for solving problems of any complexity – from simple analysis to building complex machine-learning models. The following Python libraries are used in this work:

– Pandas: a library for working with structured data that provides convenient methods for processing tabular data (DataFrame). It allows you to filter, group, transform, and efficiently aggregate data.

– NumPy: Provides arrays and mathematical functions for working with large amounts of numeric data.

– Matplotlib and Seaborn: tools for data visualization, including plotting, scattering diagrams, and heat maps.

– Scikit-learn: a library for implementing machine learning methods, including regression, classification, and clustering. This study uses it to construct and evaluate linear regression models.

– Python provides integration with other tools and languages, which makes it particularly attractive for data analysis in multidisciplinary projects.

The PostgreSQL relational database was used in this study to store and manage large amounts of data. This tool performs well, supports complex queries, and can work with large datasets. PostgreSQL is used for:

– data structuring;

– execution of SQL queries for filtering and aggregating information;

– integration with Python via the psycopg2 library.

The integrated development environment (IDE) Visual Studio Code was chosen to implement the program. It provides a user-friendly interface, syntax highlighting, support for Python extensions, and debugging tools, which make writing code efficient and convenient.

The following data analysis methods were selected for the analysis:

1) Linear regression. Linear regression is one of the most popular and straightforward methods of statistical analysis used to study the relationship between variables.

Using linear regression in this work, we estimated:

- the impact of the wage level on the average per capita income of the population;
- the relationship between the cost of living and life expectancy.

The NumPy and Scikit-learn libraries, which provide functions for building and evaluating regression models, were used to implement regression analysis.

2) Correlation analysis. This method allows you to estimate the strength and direction of the relationship between two variables. The leading indicator is the correlation coefficient, which takes values from -1 to 1. A positive value indicates a direct relationship, a negative value indicates an inverse relationship and a value close to 0 indicates a lack of connection.

This study used the Pearson correlation coefficient since the analyzed data have an interval scale. To visualize the correlation, scattering diagrams constructed using the Seaborn library were used.

3) Time series. Time series are used to analyze changes in living standards (income, life expectancy, employment) from 1991 to 2021. Time series analysis includes:

- identification of trends;
- assessment of seasonality;
- forecasting future values based on historical data.

The functions of the Pandas library were used to analyze time series, and Matplotlib was used to plot graphs.

The initial data for the database were obtained from open sources such as the Bureau of National Statistics of Kazakhstan and the World Bank. In the first stage, the data was processed in Python and uploaded to the PostgreSQL database.

The creation of tables in PostgreSQL was carried out using SQL queries. For example:

```
CREATE TABLE income_data (  
    year INT,  
    average_income FLOAT,  
    minimum_wage FLOAT,  
    population INT  
);
```

After loading the data, queries were executed for filtering, sorting, and aggregation, which allowed them to be prepared for analysis in Python.

The psycopg2 library was used to connect Python to PostgreSQL. Sample code for connecting to a database:

```
import psycopg2  
connection = psycopg2.connect(  
    database="kazakhstan_data",  
    user="user",  
    password="password",  
    host="localhost",  
    port="5432"  
)  
cursor = connection.cursor()  
cursor.execute("SELECT * FROM income_data")  
data = cursor.fetchall()
```

The resulting data was then converted into a DataFrame using the Pandas library for further analysis and visualization.

Below is a description of the study.

Data from official sources were used to analyze the standard of living of Kazakhstan's population from 1991 to 2021. The primary attention was paid to studying key economic and social indicators affecting living standards.

The following primary sources were used for the study:

1) The Bureau of National Statistics of Kazakhstan – data on the average monthly salary, population, unemployment rate, subsistence level, and other indicators.

2) The World Bank – information on global economic indicators, including per capita income and life expectancy data.

The data was presented in tables and CSV files, which were preprocessed to eliminate omissions and errors. Special attention was paid to standardizing indicators to ensure their comparability over different time periods.

The following key indicators characterizing the standard of living were identified for the analysis:

1) The average per capita nominal monetary income of the population (Y) is the main indicator of the population's level of material well-being.

2) The average monthly nominal salary (X1) indicates the income of the working-age population.

3) The cost of living (X2) is the minimum level of income required to meet basic needs.

4) The minimum wage (X3) is the minimum wage established by the state.

5) Employed population (X4) – the number of economically active population.

6) Unemployed population (X5) — the number of people officially registered as unemployed.

7) The total population (X6) is a demographic indicator that affects the calculation per capita.

These indicators were selected based on their significance for assessing the standard of living and the availability of data for the entire study period.

The main stages of working with data:

1st stage: Data preparation. In the first stage, data from different sources were combined into a single database. Pandas and NumPy libraries were used for data processing, which allowed:

- delete omissions;
- handle incorrect values;
- standardize the units of measurement.

Special attention was paid to the analysis of time series, which included identifying trends and seasonal fluctuations.

Stage 2: Uploading data to the PostgreSQL database. After preprocessing, the data was uploaded to the PostgreSQL database. This enabled it to effectively manage large amounts of information and perform complex SQL queries for filtering and aggregating data.

Example of a database structure:

```
CREATE TABLE living_standards (  
  year INT,  
  average_income FLOAT,  
  min_wage FLOAT,  
  poverty_line FLOAT,  
  employed_population INT,  
  unemployed_population INT,  
  total_population INT  
);
```

Stage 3: Conducting a correlation analysis. A correlation analysis was carried out to identify the relationships between the indicators of living standards. The Pearson correlation coefficient was used, which allows us to estimate the strength and direction of the relationship between variables.

The analysis's results were presented as a correlation matrix and visualized using scattering diagrams. For example, a strong positive correlation was found between the average monthly salary and per capita income.

Stage 4: Application of regression analysis. Based on the identified relationships, linear regression models were built to predict changes in living standards. The Scikit-learn library, which provides tools for training models and evaluating their quality, was used.

An example of building a model:

```
From sklearn.linear_model import LinearRegression  
# Data preparation  
X = df[['min_wage', 'poverty_line', 'employed_population']]
```

```
y = df['average_income']  
# Creating a model  
model = LinearRegression()  
model.fit(X, y)  
# The coefficients of the model  
print("Intercept:", model.intercept_)  
print("Coefficients:", model.coef_)
```

Stage 5: Visualization of the results. The Matplotlib and Seaborn libraries were used to represent the data. Were built:

- graphs of the dynamics of living standards (income, subsistence level, employment);
- scatter plots for correlation analysis;
- forecasts of changes in income and life expectancy.

Visualization example:

```
import seaborn as sns  
sns.reg_platt(x='poverty_line', y='average_income', data=df)  
plt.title("Regression between the subsistence minimum and average per  
capita income")  
plt.show()
```

The study showed that the standard of living of Kazakhstan's population is determined by many factors, including income, employment, and demographic situation. Using Python and PostgreSQL tools made it possible to work effectively with large amounts of data, identify patterns, and make predictions.

### Results and discussion

The analysis of the standard of living of Kazakhstan's population for the period 1991-2021 made it possible to identify key trends, interrelations, and forecasts based on statistical data. This section presents the results obtained using Python and PostgreSQL tools, including data visualization, regression and correlation analysis conclusions, and forecasting of key indicators.

1) The dynamics of living standards:

a) Average per capita income and the cost of living. An analysis of the dynamics of per capita income showed stable growth over 30 years with minor declines associated with economic crises (1998, 2008, 2020). The cost of living also showed an upward trend, following changes in household incomes.

The program code for displaying a graph of a time series of data:

```
plt.plot(df['year'], df['average_income'], label='Average per capita income')  
plt.plot(df['year'], df['poverty_line'], label='The cost of living')  
plt.legend()  
plt.title("Dynamics of income and living wage (1991–2021)")  
plt.xlabel("Year")
```

plt.label(«Tenge»)  
 plt.show()

The graph below shows the time series of data (Figure 1):

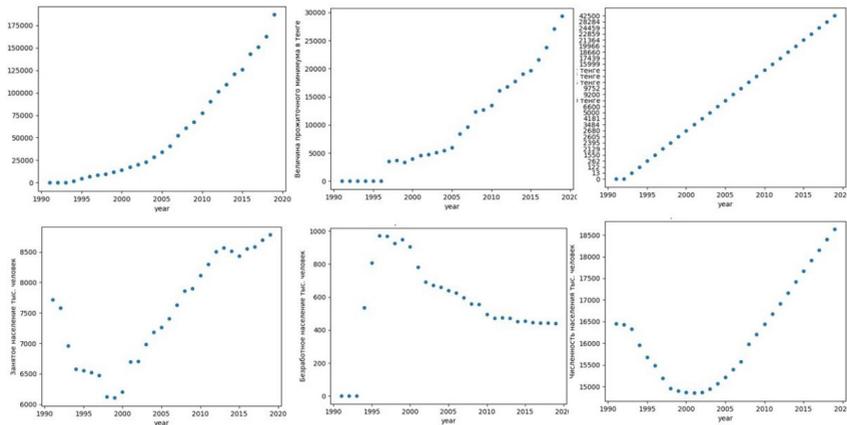


Figure 1 – Time series based on the values of indicators of the standard of living of the population

The results demonstrate that income growth rates in recent years have exceeded the increase in the subsistence minimum, which indicates an improvement in material well-being.

b) The unemployment rate. The dynamics of unemployment indicate a decrease in the share of the unemployed in the total population. The highest unemployment rate was recorded in the 1990s, when economic reforms led to job cuts. In recent years, the indicator has stabilized at 4-5%.

2) Correlation analysis has confirmed the existence of strong relationships between the leading economic indicators. The table below shows the correlation coefficients (Table 1):

Table 1 – Correlation coefficients

Parameters	Correlation coefficient (r)
Average per capita income and living wage	0.94
Average per capita income and minimum wage	0.89
Per capita income and employed population	0.81
Per capita income and unemployment	-0.68

The results show that an increase in income is closely related to the rise in the minimum wage and the number of employed people. The negative correlation with unemployment confirms that a decreased unemployment rate contributes to income growth.

### 3) Regression analysis:

a) A model of income dependence on the subsistence level and minimum wage. Regression analysis has shown that the cost of living and the minimum wage significantly affect the population's income. The constructed model has the following form:

$$Y=1500+2,4*X_2+1,8*X_3$$

Y is the average per capita income, X2 is the cost of living, and X3 is the minimum wage.

The coefficient of determination R2=0.89 indicates the high accuracy of the model.

Sample code for building a regression:

```
From sklearn.linear_model import LinearRegression
X = df[['poverty_line', 'min_wage']]
y = df['average_income']
model = LinearRegression()
model.fit(X, y)
print(«Intercept:», model.intercept_)
print(«Coefficients:», model.coef_)
```

b) Life expectancy forecast. Forecasting the population's life expectancy has shown that this indicator will continue to grow based on improving economic conditions. Linear regression was used to analyze the relationship between life expectancy and the population's income.

The results showed that an increase in income by 10 thousand tenge increases life expectancy by 0.5 years.

The main conclusions of the analysis were presented using graphs and diagrams. Example of a bar chart for comparing income and minimum wage:

```
df[['year', 'average_income', 'min_wage']].plot
```

```
kind='bar',  
x='year',  
figsize=(12, 6),  
title=» Comparison of income and minimum wage «  
)
```

```
plt.show()
```

Scatter plots were used to show correlations. Example:

```
sns.scatterplot(x='poverty_line', y='average_income', data=df)  
plt.title(«Dependence of income on the subsistence minimum»)  
plt.show()
```

Based on the results obtained, it is possible to make forward-looking estimates.

Forecasting key indicators of living standards for the next 5-10 years showed:

– growth of average per capita income by 15-20% while maintaining current economic trends;

– reduction of the unemployment rate to 3.5–4 %;

– an increase in life expectancy by 2–3 years.

The analysis's results confirm that economic reforms and policies aimed at improving well-being have led to positive changes in Kazakhstan's standard of living. The use of Python and data analysis methods made it possible to identify key patterns and build forecasts that can be used to make decisions in the field of social policy.

The use of Python data analysis tools has demonstrated its effectiveness in studying the standard of living of the Kazakhstani population. Modern technologies, such as programming languages, databases, and statistical analysis methods, make it possible to optimize research processes, obtain more accurate results, and make reliable forecasts.

Python is central to data analysis due to its wide range of libraries and tools. Within the framework of this study, the primary attention was paid to the following aspects:

1) Data processing: Pandas and NumPy libraries have made working with tables and arrays of data convenient. Their use has accelerated data cleaning, transformation, and preliminary analysis.

2) Visualization: Matplotlib and Seaborn made it possible to create informative graphs that simplified the interpretation of the results. Time series and correlation graphs clearly showed the changes and dependencies between key indicators.

3) Forecasting: Scikit-learn has provided powerful tools for implementing regression analysis and model evaluation. Linear regression has been successfully applied to predict income and life expectancy changes.

Python also has a high degree of integration with other technologies. Using PostgreSQL to store and manage data has demonstrated the benefits of working

with large amounts of information. In conjunction with the psycpg2 library, Python has become a universal tool that covers the entire analysis process – from data collection to visualization of results.

The use of information technology in the analysis of the standard of living of the population provides many advantages:

1) Efficiency and accuracy: Automating calculations and model building minimizes human errors and improves the quality of results.

2) Scalability: Data analysis tools allow you to work with large amounts of information, which is especially important when processing long-term statistical data.

3) Flexibility and adaptability: Python and its libraries are easily adapted to specific tasks. For example, you can switch between analysis methods (regression, clustering, etc.) depending on the study's goals.

4) Data visualization: Modern graphical libraries allow you to present complex results in a simple and understandable form, facilitating their interpretation for a broad audience.

Despite the apparent advantages, the use of information technology in data analysis is associated with several limitations:

1) The quality of the source data: Incorrect or incomplete data may affect the analysis's results. During the study, data from various sources had to be manually refined.

2) Complexity of big data processing: Although Python is good at analyzing tasks, working with massive datasets may require more powerful technologies such as Hadoop or Spark.

3) Limitations of the models: The linear regression used in this study has its assumptions (linearity of communication, lack of multicollinearity, etc.), which may only sometimes be fulfilled. This may reduce the accuracy of forecasts.

The results of this work open up new opportunities for the use of IT in the analysis of living standards. In the future, you can:

1) Use more sophisticated forecasting methods: For more accurate forecasting, include machine learning models (decision trees, random forests) or neural networks in the study.

2) Integrate additional data: Adding data on climate, education, and health status can allow more comprehensive models to be built.

3) Develop data visualization: Using interactive dashboards (for example, through the Dash library) to provide research results to a broad audience.

4) Create a web application for analysis: Based on this work, you can develop an application that analyzes and visualizes data on living standards in real time.

The use of Python in combination with statistical analysis methods has revealed essential trends in the standard of living of the population of Kazakhstan. This research may be helpful for:

- state bodies in the development of social policy;
- analysts involved in the assessment of economic and demographic indicators;
- scientists studying the impact of social and economic factors on the population's well-being.

The results demonstrate that information technology is integral to modern socio-economic analysis. Its use allows for more informed and effective decisions aimed at improving the population's quality of life.

### Conclusions

In this paper, we consider using Python data analysis tools to assess the standard of living of Kazakhstan's population for the period 1991–2021. The analysis confirms the effectiveness of using modern information technologies for processing large amounts of data, identifying patterns, and making forecasts.

The main conclusions:

1) Python has proven to be a powerful tool for processing, visualizing, and predicting data. Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, and Scikit-learn libraries made it possible to conduct a comprehensive analysis and present the results in an easy-to-interpret form.

2) The average per capita income of the population has a strong positive correlation with the subsistence minimum and the minimum wage, which indicates an improvement in the population's well-being.

3) The unemployment rate has stabilized at a low level, contributing to increased income.

4) Forecasts show that current economic trends will contribute to a further increase in living standards.

Advantages of using IT: Information technologies ensure the accuracy of calculations, scalability, and the ability to integrate data from various sources. This makes them indispensable in research and analytical processes.

Prospects for further research: The results of this study can be expanded and deepened. In the future, it is possible to:

- use more complex machine learning algorithms to build predictive models;
- study of the relationship of additional factors, such as health, educational level, and environmental conditions, with the standard of living of the population;
- development of interactive platforms for data visualization, which will simplify access to analytics for a broad audience.

Thus, using Python data analysis tools opens up broad prospects for studying social and economic processes. This study demonstrates how modern technologies

can be applied to solve significant problems related to assessing living standards. The results obtained not only provide an understanding of the current situation in Kazakhstan but also serve as a basis for the development of effective measures aimed at improving the well-being of the population.

### REFERENCES

- 1 **Ospan, A., Mansurova, M., Kakimzhanov, Y., Ixanov, S., Barakhnin, V.** Development of a program for the integration of socio-economic indicators with spatial data to analyze the standard of living of the population of Kazakhstan [Text]. Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan. – № 3 (85). – P. 67–78. – 2022. – <https://doi.org/10.47533/2020.1606-146x.170>.
- 2 **Rakhmetova, A., Budeshov, Ye.** Quality of life as an indicator of public management performance in the Republic of Kazakhstan [Text]. Economic Annals-XXI. – № 184 (7–8). – P. 133–153. – 2020. – <https://doi.org/10.21003/ea.V184-12>.
- 3 **Karmanova, E. V.** Vizualizaciya analiticheskikh dannyh dlya ocenki kachestva zhizni naseleniya v bol'shikh rossijskikh gorodah [Visualization of analytical data for assessing the quality of life of the population in large Russian cities][Text]. Othody i resursy. – T 7. – № 1. – P. 1–10. – 2020. – <https://doi.org/10.15862/14INOR120>.
- 4 **Zhadrenova, M. B.** Predicting and making decisions regarding providing public services for citizens proactively by implementing big data analytics technologies via e-government of Kazakhstan // Bulletin of Toraigyrov University Series: Physics, Mathematics and Computer Science. – 2022. – № 2 – <https://doi.org/10.48081/dvjy9039>.
- 5 **Shchekotin, E., Goiko, V., Myagkov, M., Dunaeva, D.** Assessment of quality of life in regions of Russia based on social media data [Text]. Journal of Eurasian Studies. – № 12. – P. 182–198. – 2021. – <https://doi.org/10.1177/18793665211034185>.
- 6 **Demšar, J., Curk, T., Erjavec, A.** Orange: data mining toolbox in Python [Text]. J. Mach. Learn. Res. – № 14. – P. 2349–2353. – 2013.
- 7 **Abdullaev, E. A.** Analiz dannyh na Python [Data analysis in Python][Text]. neposredstvennyj // Molodoj uchenyj. – № 4 (503). – P. 6–7. – 2024. – URL : <https://moluch.ru/archive/503/110766>.
- 8 **Urbano, J., Nogueira, P., Rocha, A. P., Cardoso, H. L.** Analysis of Data Science Tools for Sensor-Based Assessment of Quality of Life in Health Care [Text]. Recent Advances in Information Systems and Technologies. – № 569. – P. 446–455. – 2017. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56535-4\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56535-4_45).
- 9 **Qi, S., Sun, W., Greiner, R.** Survival EVAL: A Comprehensive Open-Source Python Package for Evaluating Individual Survival Distributions [Text].

Proceedings of the AAAI Symposium Series. – №2(1). – P. 453–457. – 2024.  
<https://doi.org/10.1609/aaais.v2i1.27713>.

10 Alimova, Zh. S., Muazzam, Ali Khan Khattak, Baibusinova, M. S., Mataeva, G. K. Fundamentals of agency modeling in the Anilologic environment// Bulletin Toraigyrov University Series: Physics, mathematics and computer science. – 2024. – № 1. – <https://doi.org/10.48081/ZBNH6773>.

11 Oficial'nyj sajt Byuro nacional'noj statistiki agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan [Official website of the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan]. – [Electronic resource]. – <https://stat.gov.kz>.

Received 15.11.24.

Received in revised form 15.11.24.

Accepted for publication 17.12.24.

### **Джелал Караджа**

Ақсарай университеті, Түркия, Ақсарай қ.

15.11.24 ж. баспаға түсті.

15.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

17.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ХАЛЫҚТЫҢ ТҮРМЫС ДЕҢГЕЙІН БАҒАЛАУ ҮШІН PYTHON-ДА ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ҚҰРАЛДАРЫН ҚОЛДАНУ: ҚАЗАҚСТАН МЫСАЛЫНДА**

Мақалада 1991–2021 жылдар аралығындағы статистикалық деректер негізінде Қазақстан халқының өмір сүру деңгейін бағалау үшін Python тіліндегі деректерді талдау құралдарын пайдалану талқыланады. Негізгі назар сызықтық регрессия, корреляциялық талдау және уақыттық қатарларды өңдеу сияқты заманауи әдістер мен технологияларды қолдануға бағытталған. Зерттеу барысында Python кітапханалары (Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn), сондай-ақ үлкен көлемдегі ақпаратты сақтау және өңдеу үшін PostgreSQL реляциялық деректер базасы пайдаланылды.

Талдау жан басына шаққандағы табыстың тұрақты өсуін және жұмыссыздық деңгейінің төмендеуін қамтитын негізгі тенденцияларды анықтады. Құрылған регрессиялық модельдер халықтың табысы күнкөріс минимумымен және ең төменгі жалақымен тығыз байланысты екенін көрсетті. Алдағы жылдарға арналған болжамдар қазіргі экономикалық тенденциялар сақталса, өмір сүру деңгейінің өсуін көрсетеді.

Нәтижелер ақпараттық технологияларды пайдалану есептеулердің дәлдігін арттыруға, деректерді талдауды оңтайландыруға және нәтижелерді түсіндіруге оңай формада ұсынуға болатындығын растайды. Жұмыс әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерді бағалаумен айналысатын мемлекеттік органдар, талдаушылар мен зерттеушілер үшін пайдалы болуы мүмкін.

Бұл мақалада мәліметтерді талдау мен болжауда ақпараттық технологиялардың маңыздылығына баса назар аударылады, сонымен қатар олардың әлеуметтік саясаттың өзекті мәселелерін шешудегі әлеуеті көрсетіледі.

Кілтті сөздер: халықтың өмір сүру деңгейі, деректерді талдау, Python, регрессиялық талдау, болжау, корреляциялық талдау, уақыттық қатарлар.

### **Джелал Караджа**

Ақсарай университет, Турция, г. Ақсарай

Поступило в редакцию 15.11.24.

Поступило с исправлениями 15.11.24.

Принято в печать 17.12.2024.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА PYTHON ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ: ПРИМЕР КАЗАХСТАНА**

В статье рассматривается применение инструментов анализа данных на Python для оценки уровня жизни населения Казахстана на основе статистических данных за период 1991–2021 гг. Основное внимание уделено использованию современных методов и технологий, таких как линейная регрессия, корреляционный анализ и обработка временных рядов. В исследовании применены библиотеки Python (Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn), а также реляционная база данных PostgreSQL для хранения и обработки больших объемов информации.

Анализ выявил ключевые тенденции, включая стабильный рост среднедушевых доходов и снижение уровня безработицы. Построенные регрессионные модели показали, что доходы населения тесно связаны с прожиточным минимумом и минимальной заработной платой. Прогнозирование на ближайшие годы указывает на продолжение роста уровня жизни при сохранении текущих экономических тенденций.

Результаты подтверждают, что использование информационных технологий позволяет повысить точность расчетов, оптимизировать анализ данных и представить результаты в удобной для интерпретации форме. Работа может быть полезна для государственных органов, аналитиков и исследователей, занимающихся оценкой социально-экономических показателей.

Настоящая статья подчеркивает значимость информационных технологий в анализе данных и прогнозировании, а также демонстрирует их потенциал в решении актуальных задач социальной политики.

Ключевые слова: уровень жизни населения, анализ данных, Python, регрессионный анализ, прогнозирование, корреляционный анализ, временные ряды.

SRSTI 43.01

<https://doi.org/10.48081/EBSC9002>

**\*G. M. Tkach<sup>1</sup>, O. S. Li<sup>2</sup>, V. D. Saponov<sup>3</sup>, Sh. Beket<sup>4</sup>**

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9781-2927>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9918-6032>

\*e-mail.ru: [galina\\_tkasch\\_83@mail.ru](mailto:galina_tkasch_83@mail.ru)

## **ISSUES OF DEVELOPING 3D MODELS OF A 3D PRINTER SIMULATOR FOR USE IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

*This article discusses a topical issue in the field of developing 3D models for a simulator for assembling 3D printers and their impact on the formation of professional skills among students. The purpose of the article is to analyze the main trends in the development of 3D models for 3D printer assembly simulators using modern technologies. The authors of the article consider the concept of 3D models of a 3D printer simulator, analyze the advantages and disadvantages of using 3D technologies in the field of education.*

*The study examines 3D models as a key tool in the process of simulating the assembly of 3D printers, their impact on the effectiveness of training and the formation of skills among students. The developed 3D model for the 3D printer assembly simulator emphasizes the importance of integrating 3D technologies into the educational process in order to teach students how to assemble and maintain 3D printers.*

*The value of this research lies in the development and implementation of 3D models of the 3D printer simulator in the educational process, which contributes to improving the effectiveness of learning and the formation of practical skills among students.*

*Keywords: 3D modeling, 3D printer, information competence, learning process, simulator.*

### **Introduction**

In today's world of technology, 3D printing has become an integral part of engineering and industrial activities. However, in addition to technical skills, the successful use of 3D printers requires the ability to effectively manage the process

and professionally configure the equipment. For students studying automation and robotics, as well as other related industries, experience with 3D printers is a necessary component of their future careers. This article discusses the role of simulators for assembling 3D printers in the formation of students' professional skills.

As part of the study, it is necessary to develop 3D models for a program to simulate the process of assembling a 3D printer used for teaching students, as well as training centers.

Creating models for implementation in software will allow you to:

To improve the quality and speed of training students in the field of "additive production technologies";

Gain practical skills in working with equipment;

It will allow you to purchase less equipment;

Reduce wear and tear on existing equipment.

In the simulator, students will be able to find information about the rules of assembly and the principles of operation of 3D printers, as well as consolidate practical assembly skills.

In the context of a study by Spanish scientists Quintana-Ordorika, A., Camino-Esturo, E., Portillo-Berasaluze, J. et al. An example of conducting classes on the basis of a makerspace, which offers digital production equipment, such as 3D printers, a laser cutter, robotics kits, as well as a number of other tools and materials, is considered. In the makerspace, participants had the opportunity to design and produce 3D models, create prototypes with electronics, learn programming, including basic programming of embedded systems, as well as use available tools and gadgets. Main The goal of a university makerspace is to bring students together in a space specifically designed to give them the opportunity to collaborate and solve problems that are of interest to them. The article dedicated to this study also highlights the high level of adoption of the technology. These results highlight the positive impact of creativity-based teaching methods and suggest higher student motivation. In light of these findings, the integration of the use of makerspace equipment into the training of future professionals is useful, as high levels of acceptance and motivation indicate its potential to build students with the essential skills of the 21st century [1].

Scientists Anđić, B., Maričić, M., Weinhandl, R. et al. believe that changes in digital technology over time are critical to understanding the factors that shape educators' perceptions of technology and influence its use in the classroom. The researchers concluded that numerous studies support the need for 3D modeling and printing, as well as contribute to the modernization of teaching and better achievement of student learning outcomes [2].

Prototyping is a critical step in assessing usability in product design. In a study by Wang, Y., Tian, Y., Liu, F. et al. A flexible solution for creating a mixed reality prototype for a handheld product using 3D printing, interactive 3D modeling, an electronic prototyping platform, and Microsoft HoloLens was studied. This study provides an important theoretical framework for evaluating product design using mixed prototypes, as well as providing practical recommendations for designers and developers to evaluate the usability of a product using mixed prototypes. prototypes in 3D modeling [3].

3D printers are becoming very popular in medicine, which confirms the relevance of training specialists in the field of 3D technologies. Works [4], [5], [6] show the importance of using this technology and the relevance of the research topic.

In the context of the study, we can consider the work of Shankhwar, K., Smith, S., which show how augmented reality (XR) technology has proven to be effective as a tool for human-computer interaction to improve the perception of presence. The authors reviewed the process of using an interactive XR-based welding training system to improve the training and practical skills of novice welders. An experiment was conducted to assess the learning ability of workload and usability of the system. The results of the experiment show that users experienced significantly higher productivity when using the XR-based welding training system compared to those who were trained using the traditional classroom training method [7].

In a study by Chen, Y., Cao, L. & Zhang, Y., based on the teaching approach, examined the characteristics of lessons based on 3D models that teachers developed for use in professional activities. The data included 3D models and lesson plans from 162 teachers. The results of quantitative and qualitative data analysis show that teachers applied different ways to incorporate 3D models/modeling into teaching, sought different learning outcomes through lessons based on 3D models, and chose different strategies to facilitate learner-centred teaching and learning [8].

Educational communities have expanded 3D printing in education, emphasizing the educational value of "creativity" to develop the competencies needed in the future. In the work of the authors Lee, D., Kwon, H. A study was conducted to determine the size of the effect by synthesizing previous studies on the impact of 3D printing on the educational process. To achieve this goal, 26 research papers on 3D printing in education conducted in South Korea from 2014 to 2021 were selected and a meta-analysis was conducted. The meta-analysis showed different coefficients of the effect of 3D printing, which are extensively considered in the authors' article. The result of the study is of great importance for instructional design, which can enhance the effect of 3D printing in education [9].

3D printing is a new educational technology that prepares students for a more technologically advanced world. In the review of the article Pearson, H.A.,

Dubé, A.K. Research in the field of 3D printing is analyzed in order to identify the dominant theoretical approaches and learning outcomes related to 3D printing in education. Five theories stand out, including situational learning, experiential learning, and critical creation, and the concepts of constructionism and self-directed learning are common to all approaches. Learning outcomes related to 3D printing include critical thinking, creativity, design thinking, and collaboration. Proponents of which argue that the overall results go beyond just knowing how to use a 3D printer. Taking into account the identified theoretical approaches, results and common barriers to their use, recommendations are given on the approach of teachers to the implementation of 3D printing in education [10].

3D printing technology has an impact on various industries such as automotive, engineering, medical, aerospace, sports, fashion, education, and more. In education, 3D printing is used in many different fields, such as pharmaceuticals, mathematics, biology, chemistry, art education, graphic design, engineering, and even early childhood and special education. In this case study, the perceptions of future teachers were explored information and communication technologies on the integration of 3D printing into teaching and learning, as well as their evaluation of the proposed course on 3D modeling and printing. Results of the study by Üçgül, M., Altıok, S. showed that the majority of future teachers were satisfied with the course and felt competent enough in the processes of 3D printing and the integration of 3D printing into educational activities. They speak positively about the use of 3D printers for educational purposes, as they provide concretization of the subject, increase the motivation of students, and are very useful in the production of educational materials. In accordance with the results of the study, implementation courses were offered 3D printing technologies in teacher education programs [11].

With the constant development of technology, 3D printers are becoming an integral part of modern industry and scientific research. In this context, teaching students how to assemble and configure such devices becomes a key component of their professional training.

However, traditional training methods are often limited by access to equipment, and are also at risk of damaging expensive devices during the training process. The introduction of 3D printer assembly simulators offers a solution to these problems, providing students with the opportunity for hands-on experience without the risk and expense of real-world equipment.

The purpose of this study is to identify the main aspects of the development of 3D models for the creation of a 3D printer simulator. The use of simulators in the educational process contributes to the formation of professional skills in students. To achieve this goal, it is necessary to consider the advantages of simulators over traditional teaching methods, as well as to assess their impact on

the level of training of students and their readiness for professional activities in the field of 3D printing.

As a result of the study, it is expected to receive useful recommendations for educational institutions and teachers on the development of simulators for the assembly of 3D printers for use in the educational process in order to maximize the effectiveness of education and training of future specialists.

#### Material and methods

The use of simulators of various technological equipment in the educational process at the university allows the teacher to expand the boundaries of the traditional use of technical means of teaching, to develop the skills of independent work and self-education of students, to form the professional skills of future specialists. The use of the simulator allows you to simulate the real process of working with a 3D printer, thereby increasing the interest of students and motivating them to create their own projects. Thus, by systematically implementing various projects in the teaching of disciplines, we can achieve high results in the study of disciplines by students.

As a training tool, it was decided to develop 3D models for a 3D printer assembly simulator. A 3D printer is a numerically controlled machine that implements only additive operations, that is, only adds portions of material to the workpiece.

A 3D printer consists of the following components: a frame; two axles; extruder; table; power supply unit; fee; LCD screen.

At the first stage, a model of the frame of the 3D printer was created. For this purpose, guide rails and hexagonal bolts were developed to hold the frame together. The finished 3D model of the 3D printer frame is shown in Figure 1.

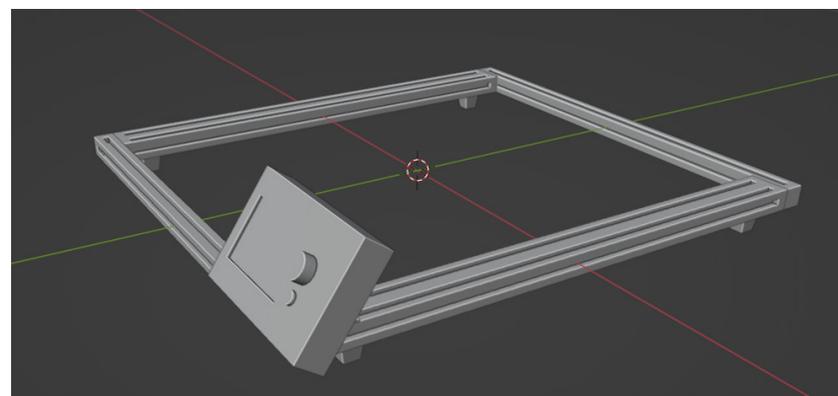


Figure 1 – 3D model of the finished frame for the 3D printer

The next stage is the stage of developing the mechanism of the printing table and the printing table itself. For this purpose, the table guide axle fastening, the axle and the bearing are created. The bearing needs to make holes, chamfer and set the dimensions to fit the size of the axle mount. Next, a belt roller and a stepper motor are created. A crosspiece is needed to secure the table. To create a spider, you will need bolts, a spider, and springs. The last step is to create a print bed. Vertical frames will be required for the following parts. Next, a 3D model of the «Z» axis is created, which is attached to the frame of the 3D printer. The axle consists of a stepper motor, two guides, a bearing, fasteners and bolts. The next step was to create the «X» axis. The axle is composed of guide rails, linear bearings, belt, stepper motor, guide bearings and fasteners. A drawing was used to create the axle fasteners. Next, you need to create an extruder, a printer board, and a power supply. The extruder consists of a cooler, a drive, a platform, a roller, a gear, bolts, a nozzle and a thermal brake. The same principle is used to create a gear. Then, a fixture is created for the rest of the parts. In the next step, the nozzle, thermal barrier, nut, roller and stepper motor are created. The final step is to UV-Unfold the object (Figure 2).

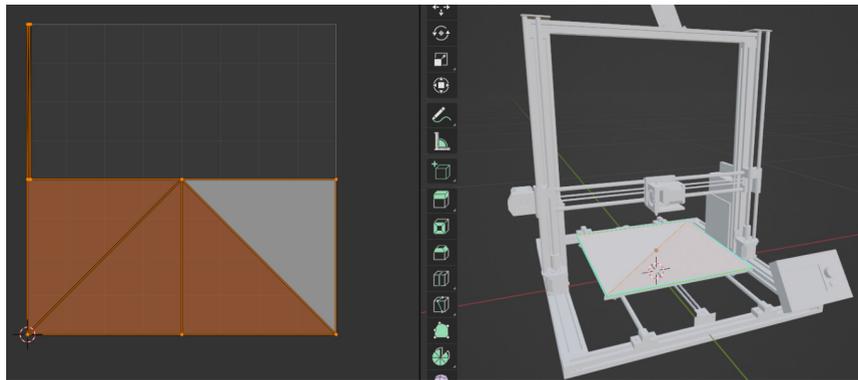


Figure 2 – UV Unfolding the Printer Table

### Results and discussion

In the course of the study, 3D models were developed to assemble a 3D printer simulator. The developed 3D models are planned to be used in the development of a training application. The application will be a learning system that is able to implement various types of exercises in the classroom. Students will be able to provide basic assembly training, interactive lessons, maintenance training, and knowledge testing, which will increase the effectiveness of training. This

application will allow students to practice assembling a 3D printer without harming existing equipment, exchange experience, and optimize work.

3D printer assembly simulator model development algorithms can be integrated into the curricula of various disciplines related to technology and engineering. The use of a simulator in education is not only useful for students to develop the necessary skills, but also convenient for the teacher, since the assessment is objective. When students learn how to assemble and maintain 3D printers in a safe virtual environment, it reduces the risk of injury and damage to real equipment. The simulator provides multiple training opportunities without the cost of materials and consumables, which optimizes the use of resources. Visual models and animations allow students to gain a deeper understanding of the structure and interaction of 3D printer components, while interactive lessons make learning more fun and effective. The simulator can be used both in the classroom and for online training, providing flexibility in choosing the training format.

### Conclusions

In conclusion, the use of 3D printer assembly simulators demonstrates the potential in equipping students with the professional skills needed for a successful career in engineering and design. Not only do these simulators provide hands-on training without the need for access to real-world equipment, but they also promote critical thinking, management skills, and creative problem-solving. Through such training, students can gain confidence in their own abilities and a willingness to apply their knowledge in practice. Thus, the integration of 3D printer assembly simulators into the educational process is an important step towards the formation of highly qualified specialists who are able to work effectively in the modern technological environment.

The introduction of a 3D printer assembly simulator into the educational process is an innovative and promising approach to teaching students. This tool provides a unique experience that combines virtual simulation and hands-on training. The simulator allows students to acquire the necessary skills and knowledge related to the assembly and maintenance of 3D printers.

It is important to note that the simulator is becoming an important tool in the context of rapid technological development, where the 3D printing industry is becoming increasingly important. Simulator training gives students the opportunity to familiarize themselves with the latest trends and innovations in the field, which helps prepare them for real-world professional challenges.

When implementing a simulator, it is necessary to take into account the individual needs of students, as well as customize the training program taking into account the specifics of each educational institution. In addition, making the simulator available for online learning expands its application and allows students to learn at a time and place that is convenient for them.

Thus, the 3D printer assembly simulator is an important tool that contributes to the formation of students' up-to-date skills in the field of 3D technologies and preparation for modern requirements of the labor market.

## REFERENCES

- 1 **Quintana-Ordorika, A., Camino-Esturo, E., Portillo-Berasaluca, J. et al.** Integrating the Maker pedagogical approach in teacher training: the acceptance level and motivational attitudes. *Educ Inf Technol* 29, 815–841 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12293-4>
- 2 **Andić, B., Maričić, M., Weinhandl, R. et al.** Metaphorical evolution: A longitudinal study of secondary school teachers' concepts of 3D modelling and printing in education. *Educ Inf Technol* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12408-x>
- 3 **Wang, Y., Tian, Y., Liu, F. et al.** Mixed reality prototyping for usability evaluation in product design: a case study of a handheld printer. *Virtual Reality* 28, 6 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00895-9>
- 4 **Kabuye, E., LeDuc, P. & Cagan, J.** A mixed reality system combining augmented reality, 3D bio-printed physical environments and inertial measurement unit sensors for task planning. *Virtual Reality* 27, 1845–1858 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00777-0>
- 5 **Kabuye, E., LeDuc, P. & Cagan, J.** A mixed reality system combining augmented reality, 3D bio-printed physical environments and inertial measurement unit sensors for task planning. *Virtual Reality* 27, 1845–1858 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00777-0>
- 6 **Hong, D., Kim, H., Kim, T. et al.** Development of patient specific, realistic, and reusable video assisted thoracoscopic surgery simulator using 3D printing and pediatric computed tomography images. *Sci Rep* 11, 6191 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85738-w>
- 7 **Shankhwar, K., Smith, S.** An interactive extended reality-based tutorial system for fundamental manual metal arc welding training. *Virtual Reality* 26, 1173–1192 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00626-6>
- 8 **Chen, Y., Cao, L. & Zhang, Y.** Teachers as makers: How K-12 teachers design 3D making lessons for classroom teaching. *Educ Inf Technol* 28, 6947–6975 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11475-w>
- 9 **Lee, D., Kwon, H.** Meta analysis on effects of using 3D printing in South Korea K-12 classrooms. *Educ Inf Technol* 28, 11733–11758 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11644-5>
- 10 **Pearson, H.A., Dubé, A.K.** 3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice.

*Educ Inf Technol* 27, 3037–3064 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7>

11 **Üçgül, M., Altok, S.** The perceptions of prospective ICT teachers towards the integration of 3D printing into education and their views on the 3D modeling and printing course. *Educ Inf Technol* 28, 10151–10181 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11593-z>

\***Г. М. Ткач, О. С. Лу, В. Д. Сапонов, Ш. Бекет**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

## ОҚУ ПРОЦЕСІНДЕ ПАЙДАЛАНУ ҮШІН 3D ПРИНТЕР ТРЕНАЖЕРЫНЫҢ 3D МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

*Бұл мақалада 3D принтерлерді құрастыру тренажерына арналған 3D-модельдерді әзірлеу саласындағы өзекті мәселе және олардың оқушылар арасында кәсіби дағдыларды қалыптастыруға әсері талқыланады. Мақаланың мақсаты қазіргі заманғы технологияларды пайдалана отырып, 3D принтерді құрастыру тренажерларына арналған 3D-модельдерді әзірлеудің негізгі үрдістерін талдау болып табылады. Мақала авторлары 3D принтер тренажерының 3D-модельдерінің тұжырымдамасын қарастырады, білім беру саласында 3D-технологияларды қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктерін талдайды.*

*Зерттеу барысында 3D-принтерлерді құрастыруды модельдеу процесінде негізгі құрал ретінде 3D-модельдер, олардың оқытудың тиімділігіне және оқушылар арасында дағдыларды қалыптастыруға әсері зерттелінеді. 3D принтерді құрастыру тренажерына арналған әзірленген 3D-модель оқушыларды 3D принтерлерді құрастыру және қызмет көрсету тәсілдеріне үйрету мақсатында 3D-технологияларды оқу процесіне кіріктірудің маңыздылығын атап көрсетті.*

*Бұл зерттеулердің мәні оқу процесінде 3D принтер тренажерының 3D-модельдерін әзірлеу мен енгізуде жатыр, бұл оқудың тиімділігін арттыруға және оқушылар арасында практикалық дағдыларды қалыптастыруға ықпал етеді.*

*Ключевые слова: 3D моделирование, 3D принтер, информационная компетентность, процесс обучения, симулятор.*

### ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ 3D МОДЕЛЕЙ СИМУЛЯТОРА 3D ПРИНТЕРА С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В данной статье рассматривается актуальный вопрос в области разработки 3D моделей для симулятора сборки 3D принтеров и их влияния на формирование профессиональных навыков у обучающихся. Целью статьи является анализ основных тенденций в разработке 3D моделей для симуляторов сборки 3D принтеров с использованием современных технологий. Авторы статьи рассматривают понятие 3D моделей симулятора 3D принтеров, проводят анализ преимуществ и недостатков использования 3D технологий в сфере образования.

В рамках исследования рассматриваются 3D модели как ключевой инструмент в процессе симуляции сборки 3D принтеров, их влияние на эффективность обучения и формирование навыков среди обучающихся. Разработанная 3D модель для симулятора сборки 3D принтеров, подчеркивает значимость интеграции 3D технологий в учебный процесс с целью обучения студентов сборке и техническому обслуживанию 3D принтеров.

Ценность данного исследования заключается в разработке и внедрении 3D моделей симулятора 3D принтера в образовательный процесс, что способствует повышению эффективности обучения и формированию практических навыков среди студентов.

Ключевые слова: 3D моделирование, 3D принтер, информационная компетентность, процесс обучения, симулятор.

\*A. A. Baratova<sup>1</sup>, K. Zh. Bekmyrza<sup>2</sup>, A. M. Kabyshev<sup>3</sup>,  
N. K. Aidarbekov<sup>4</sup>, A. A. Shorman<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University,  
Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7015-3657>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3776-6501>

\*e-mail: [aa.baratova@yandex.kz](mailto:aa.baratova@yandex.kz), [baratova\\_aa@enu.kz](mailto:baratova_aa@enu.kz)

### INFLUENCE OF NANOCOMPOSITE FILMS FRACTALITY ON POLYETHYLENE ABSORPTION WITH FULLERENE C<sub>60</sub>

In this article the results of experimental studies of fractal nature influence of the carbon nano-additives of fullerene C<sub>60</sub> on the structure and properties of a low-density polyethylene (LDPE) are presented. The introduction of fullerene nano-additives into the LDPE matrix leads to an increase in the absorption properties, particularly the optical density of the system. The different electronic structure of the matrix of polyethylene and fullerene C<sub>60</sub> shows different contribution of absorption abilities of one or another sample either in the short-wave or long-wave regions of the spectra presented in this work. Meanwhile, the low degree of conjugation in the low-density polyethylene matrix may affect absorption in the shorter-wavelength region of the spectrum at higher energies, while the absorption in the long-wavelength region may be due to allowed optical transitions in the C<sub>60</sub> fullerene molecule. The intermolecular interaction in the considered sample system, occurring as a result of mutual exchange between the highest occupied molecular orbital of the donor (LDPE) and the lowest unoccupied molecular orbital of the acceptor (fullerene C<sub>60</sub> molecule), arising due to the overlapping  $\pi$ -orbitals of the molecules of both reacting substances in the studied matrix, influences on the character of the investigated spectral features.

*The red shift of the absorption peaks in the corresponding spectra may be due to the change in the electronic structure of polyethylene caused by the interaction between fullerene and the aromatic ring of the polymer matrix of polyethylene. The analysis of the dynamics of changes in the fractal dimension of the low-density polyethylene-fullerene  $C_{60}$  system showed a possible gradual aggregation of fullerene molecules in the polyethylene matrix. The increase of fractal dimension of the studied samples with increasing concentration of fullerene nano-additives leads to a possible connection of interaction, subsequent aggregation of  $C_{60}$  molecules with electronic transformations in the spectral dependences.*

*Keywords: low-density polyethylene, fullerenes, fractal dimension, aggregation.*

### Introduction

Recently, polymer nanocomposites containing carbon nanoparticles as fillers have taken an important place in various research laboratories for studying their various properties, as they are next-generation smart materials with improved performance characteristics [1, p. 434–440; 2, p. 1349–1353]. Due to their resistance to aggressive environments, strong adhesion to reinforcing elements, lightweight, ease of manufacturing, and excellent mechanical properties, polymer matrices have proven to be suitable matrices for the development of structural composites [3, p. 1145–1146].

At the same time, the incorporation of nanofillers, including carbon nanoparticles, into a polymer matrix can significantly enhance the mechanical, thermophysical, and physical and chemical properties of these matrices. For example, the inclusion of fullerene and nanotubes in the chemical composition of polymers opens up additional opportunities for their study and application as composite materials with valuable performance properties, as well as films and fibers for various purposes [4, p. 532-538].

The uniqueness of the structural, electronic, and spectroscopic properties of polymer matrices with fullerene fillers enables their application in chemistry, biology, and nanoscience [5, p. 1176-1184].

Among the large number of high-molecular compounds low-density polyethylene (LDPE) can be distinguished, characterized by an amorphous crystalline state characteristic of cross-linked polymers with a well-developed hierarchy of elements and their spherulitic morphological shape of the supramolecular structure.

At low doses of irradiation, LDPE exhibits enhanced strength properties, due to the interfacial interaction allowing for significant improvements in the nanocomposite coating's characteristics—such as electrical, photoelectric,

capacitive, thermal, mechanical, and physical properties—through interfacial interactions between fullerene fillers and the polymer matrix.

At the same time, the formation of charge transfers paths and the main characteristics of the material can also be influenced by the nanoscale morphology of the nanocomposite coating.

As is known, the molecules of LDPE polymer have an amorphous-crystalline structure and exhibit a developed morphology [6, p. 2763–2766; 7, p. 34711–34715; 8, p. 4642-4651]. In this regard, it is of great interest to explore what structural changes leading to modifications in the mechanical behavior of samples, might be induced by the incorporation of fullerene into the matrix structure. In this paper, the effect of carbon nano-additives on the properties of the LDPE-C60 matrix is considered.

### Materials and methods

The samples for the research were prepared using LDPE and fullerene  $C_{60}$  powders with a chemical purity of 99.7 %. Brombenzene of the «pure for analysis» grade was used as the solvent, which was subjected to double distillation. Initially, LDPE and  $C_{60}$  were dissolved separately in bromobenzene, and then a solution of  $C_{60}$  was added to LDPE solutions to obtain a mixture of polymer solutions with concentrations of 0; 1; 3; 5 and 10 % by weight. Then films with a thickness of about 0.03-0.06 mm were cast from these solutions.

The optical properties of the samples were measured using a high-end, unique Cary 60 UV-Vis spectrophotometer (Agilent Technologies), which has a scanning wavelength range of 190–1100 nm in less than three seconds.

The uniqueness of this device lies in its extremely high accuracy; it requires no warm-up and does not cause photodegradation of samples. Fast reactions can be recorded at a frequency of 80 data points per second. A pulsed xenon lamp is used as the source, featuring a dual-beam optical system with a Czerny-Turner monochromator. The detectors are two silicon diodes used for simultaneous measurement of the sample and reference beam light.

Fractal analysis of samples imaged by atomic force microscopy (AFM) was conducted using the Gwyddion software [9, p. 570–573] through the cube-counting method. This method involves counting blocks within a cubic lattice with a constant lattice parameter  $l$ , which overlays the sample surface. The lattice constant  $l$  can be set as half the length of the edge of the surface, resulting in a lattice with  $N(l)$  the number of possible cubes per pixel of the image.

In this case, the lattice constant is reduced by half and the process is repeated until the distance between adjacent pixels becomes equal to the lattice constant. In this case, the fractal dimension  $D$  can be determined by the slope of the graph  $\log(N(l))$  or  $\log(1/l)$ .

## Results and discussion

The absorption properties of nanocomposite materials can provide information about the electronic properties of the composite material, including energy levels and electronic transitions of the fullerene molecule within the polymer matrix.

As is known, in the  $C_{60}$  fullerene molecule, carbon is in the  $sp^2$ -hybridized state [10, p. 25], while the three valence electrons of each carbon atom in the hybridized state form  $\sigma$ -bonds that are sufficiently strong.

They form the framework of the  $C_{60}$  fullerene. The fourth valence electron, known as a  $\pi$ -electron, is located in an unhybridized p-orbital that is perpendicular to the molecular framework plane (figure 1). Unlike  $\sigma$ -electrons, which are situated relatively deeper in relation to the  $\pi$ -electrons, the  $\pi$ -electrons can jump from one carbon atom to another within the fullerene structure. In the Hückel model [11, p. 430–445], this is explained by the fact that these  $\pi$ -electron jumps are associated with weak interactions between them. Therefore, it is considered that the  $\pi$ -electrons primarily determine both the electronic and chemical properties of fullerenes.

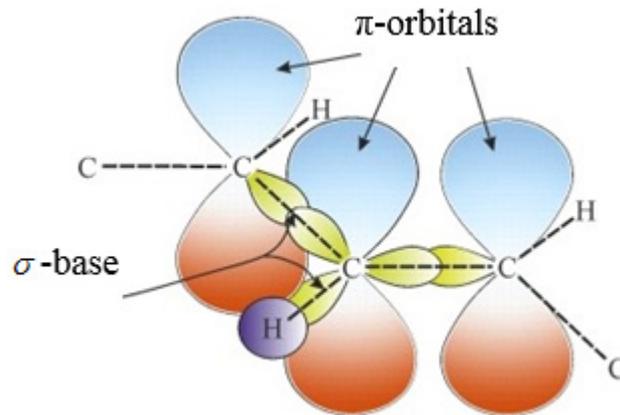


Figure 1 - Diagram of the formation of the conjugated system of fullerene  $C_{60}$

For more than fifty years, the Hubbard model [12, p. 245-250] has been used to study the physical properties of such systems. Unlike the Hückel model, it takes into account the interaction between electrons with different spins located on the same site.

The absorption spectra obtained in the work of the studied samples of the LDPE- $C_{60}$  system showed that the addition of fullerene  $C_{60}$  to the polymer matrix leads to an increase in the absorption of the resulting composite material at all concentrations of fullerene  $C_{60}$  (figure 2). At the same time, the absorption spectra are characterized by insignificant absorption peaks in the short-wavelength region up to 300 nm, then all samples are characterized by a sharp increase in absorption intensity with the release of two obvious peaks at wavelengths of 360–420 nm, then there is a gradual decrease in the intensity of absorption capacity for all fullerene concentrations.

The absorption spectra are characterized by minor absorption peaks in the short-wavelength region up to 300 nm. Then, for all samples, a sharp increase in absorption intensity is observed, with two distinct peaks appearing at wavelengths of 360–420 nm. Afterward, a gradual decrease in absorption intensity is noted for all fullerene concentrations (figure 2).

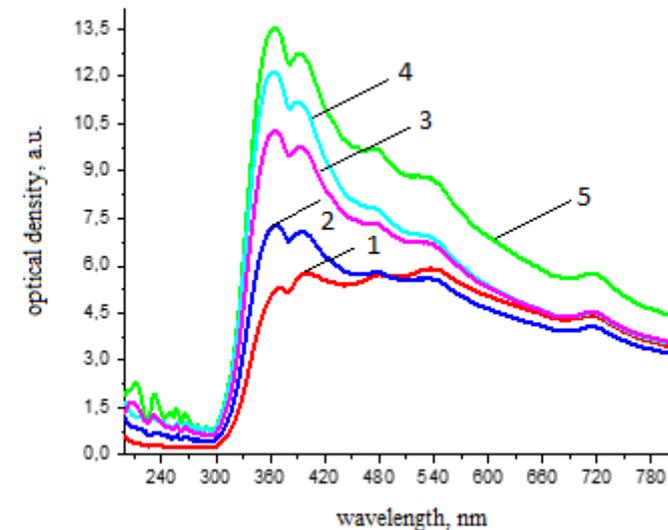


Figure 2 – Normalized absorption spectra of LDPE+C60 at different concentrations of fullerene  $C_{60}$ : 1) LDPE; 2) LDPE+1%  $C_{60}$ ; 3) LDPE +3%  $C_{60}$ ; 4) LDPE +5%  $C_{60}$ , 5) LDPE +10%  $C_{60}$

The different electronic structures of LDPE and  $C_{60}$  can lead to a predominance of the absorption capacity of particular sample in the studied matrix, either in the short-wavelength or long-wavelength regions of the provided spectra.

Obviously, the absorption in the ultraviolet (UV) part of the spectra is related to the high absorbance of LDPE at higher energies due to its lower degree of conjugation. Additionally, the UV peaks observed in the longer wavelength region in the LDPE-C<sub>60</sub> system may be associated with symmetry-allowed optical transitions in the C<sub>60</sub> molecules that form these bands. The absorption spectra of LDPE mixed with fullerene showed a sharp peak in the region of 360–420 nm (figure 2), which is characteristic of the electronic  $\pi$ - $\pi^*$  transition of LDPE. Furthermore, there was a broad absorption plateau with characteristic peaks in the longer wavelength region from 440 nm, which may be related to the electronic transitions of fullerene C<sub>60</sub>. As the weight percentage of fullerene in the composite increased, a red shift in the absorption peak was observed. This red shift may be due to the interaction of fullerene with the aromatic ring in the LDPE matrix, which alters the polymer's electronic structure.

A similar dependence was observed in the absorption spectrum of solid C<sub>60</sub> in the range of 2.3–3 eV (corresponding to the observed wavelengths of 420–540 nm) in study [13, p. 240-246], which is absent in the spectra of molecular C<sub>60</sub>. This characteristic absorption for fullerite is associated by the authors of study [14, p. 11667–11668] with the crystalline state of C<sub>60</sub> and is explained by intermolecular excitations (HOMO–highest occupied molecular orbital, LUMO–lowest unoccupied molecular orbital) leading to the formation of charge-transfer excitons (CT- excitons), where two charges are located on different molecules [15, p. 260–272] (figure 3).

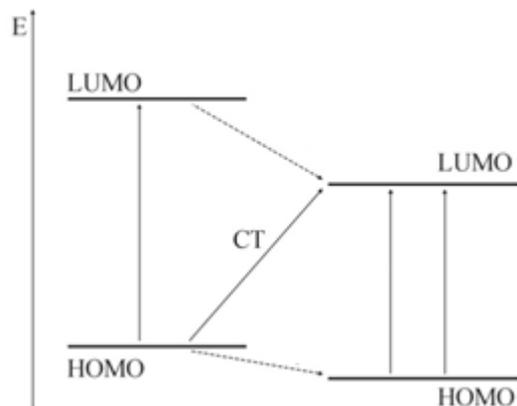


Figure 3 – Diagram of possible electronic transitions in molecular complexes based on fullerene C<sub>60</sub>

The most likely outcome of mutual exchange between the HOMO and LUMO orbitals of two molecules is a direct intermolecular charge transfer from the HOMO of the donor (LDPE) to the LUMO of fullerene (the «CT» process in figure 3) due to the overlap of the  $\pi$ -orbitals of both molecules. In the studied complexes, the electron density of the HOMO is almost entirely localized on the donor molecule, while the LUMO is on the fullerene C<sub>60</sub> framework [16, p. 11666–11667; 17, p. 282–284]. The energy level difference between the molecular orbitals of the donor (LDPE) and the acceptor (C<sub>60</sub>) provides the driving force for the elementary charge transfer. Since the HOMO-LUMO energy gap is larger than the exciton binding energy, sub-picosecond charge transfer occurs from the donor to the acceptor, forming a neutral excitonic state with charge transfer. It should be noted that, according to calculations of the excited states of fullerene molecular complexes, CT formation results not only from HOMO-LUMO transitions but also from several nearby orbitals [18, p. 1387–1388; 19, p. 117–118].

As the concentration of C<sub>60</sub> increases in the LDPE matrix, the overall transmittance coefficient of the LDPE-C<sub>60</sub> composite decreases (figure 4). This indicates that higher concentrations of C<sub>60</sub> result in a more opaque material that transmits less light, possibly due to increased absorption by the C<sub>60</sub> molecules.

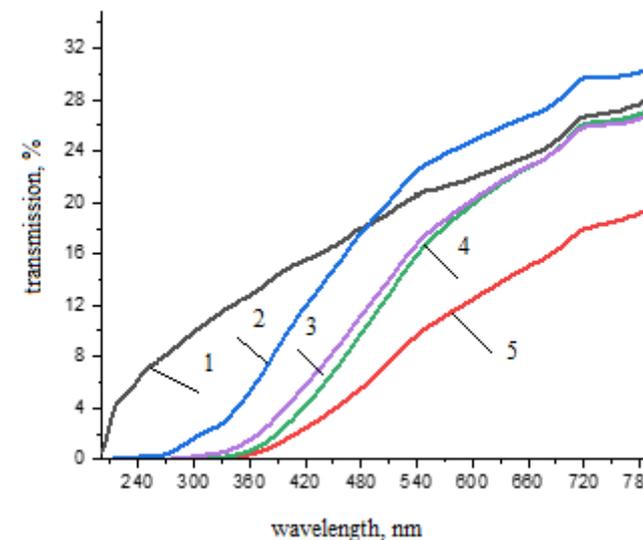


Figure 4 – Transmission spectra of LDPE+C<sub>60</sub> at different concentrations of fullerene C<sub>60</sub>: 1) LDPE; 2) LDPE+1% C<sub>60</sub>; 3) LDPE +3% C<sub>60</sub>; 4) LDPE +5% C<sub>60</sub>, 5) LDPE +10% C<sub>60</sub>

As shown in figure 4, small characteristic peaks are observed in the transmission spectra at a wavelength of 720 nm, which may be associated with specific absorption by either the C<sub>60</sub> molecules or the LDPE matrix. Notably, the transmittance coefficient of the original LDPE at a wavelength of 490 nm is lower than that of the sample containing LDPE with 1% C<sub>60</sub> (curves 1 and 2 in figure 4). This may be related to the influence of molecular structure, orientation, and the nature of the fullerene distribution, as well as interactions between the LDPE and C<sub>60</sub> molecules within the LDPE polymer matrix.

In the longer-wavelength region, the peaks may be attributed to forbidden transitions of C<sub>60</sub>, which shape the spectrum in the visible and near-infrared wavelength range (figure 4), as well as to its highly conjugated π-electron system, enabling it to absorb light at low energies. This manifestation can be observed in the absorption spectra of LDPE-C<sub>60</sub> as a so-called «shoulder» at 720 nm (figure 4), potentially associated with the presence of C<sub>60</sub> aggregates in the sample, leading to a red shift in the absorption spectrum. This effect may be due to interactions between the LDPE polymer matrix and C<sub>60</sub> molecules, which can alter electronic transitions within the composite. As the concentration of C<sub>60</sub> increases, the number of interactions between composite molecules and fullerene may also increase, playing a significant role in determining the composite's properties.

At a wavelength of 490 nm, the transmission spectra of pure LDPE and LDPE+1% C<sub>60</sub> intersect (figure 4). Beyond this point, the sample containing 1% fullerene (curve 2 in figure 4) is characterized by a higher transmission coefficient, which may be attributed to the interaction between LDPE and fullerene. This interaction may be complex, involving factors such as molecular structure and the distribution of C<sub>60</sub> molecules within the LDPE polymer matrix. The nonlinear nature of the transmission curves in figure 4 could be related to factors such as the distribution pattern of fullerene molecules in the polymer matrix, the possible presence of impurities or additives, and the interactions between LDPE and C<sub>60</sub>.

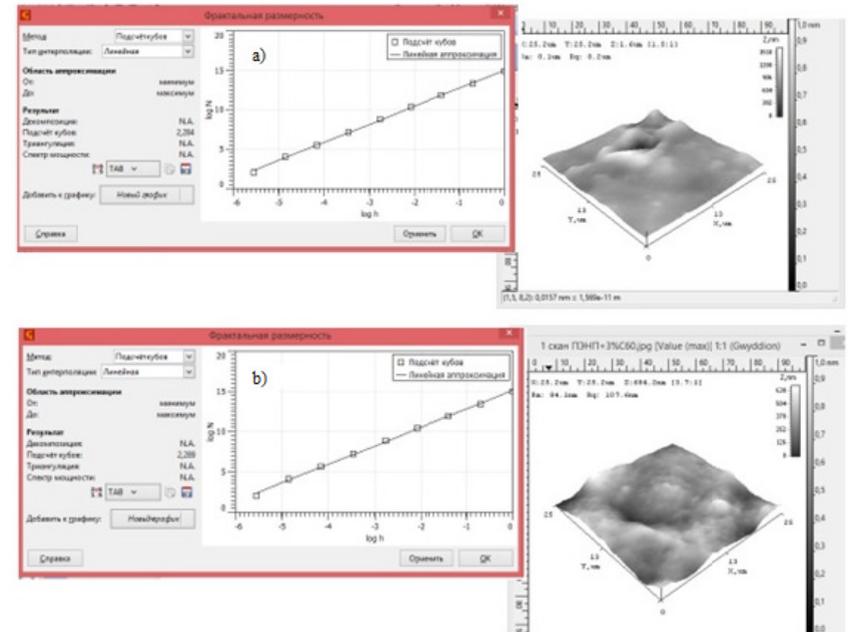
In this work, the fractal dimension D of the studied samples was calculated using the grid covering method. This method involves overlaying a square grid on the image under study, followed by counting the number of possible cells N(l) with a constant grid size l that fit within a single pixel of the image. The fractal dimension was determined from the slope of the graph of log(N(l)) versus log(1/l) and is calculated using the formula:

$$D = \lim_{l \rightarrow 0} \frac{\ln N(l)}{\ln(1/l)} \quad (1)$$

where N(l) is the number of cells, l is the cell size, lattice constant.

The calculated results of fractal dimension D are presented in figure 5.

The calculations showed that the fractal dimension of the obtained samples increases with the increasing concentration of fullerene C<sub>60</sub>. For pure LDPE (figure 5a), the calculated fractal dimension D is 2.284.



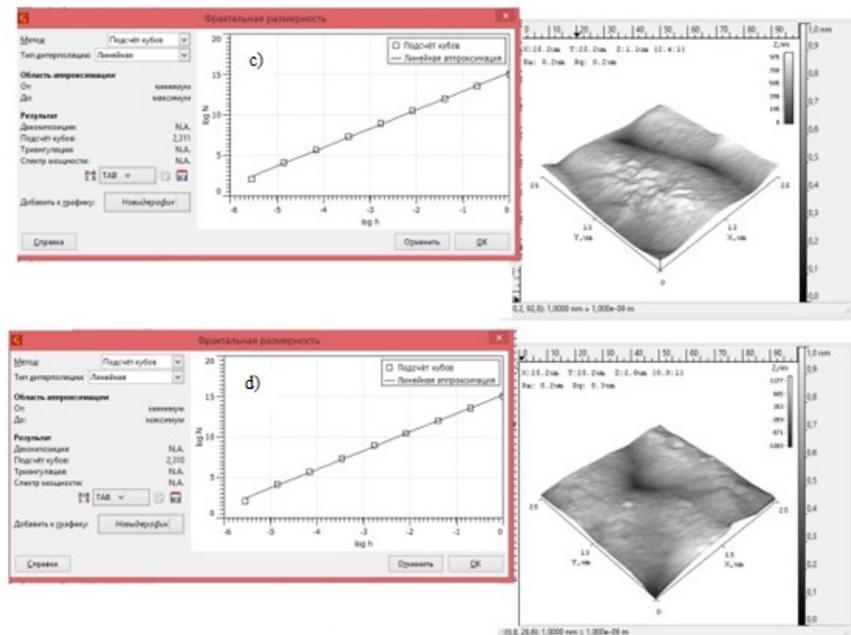


Figure 5 – Calculated fractal dimensions (D) based on AFM images of the LDPE-C<sub>60</sub> system at different fullerene C<sub>60</sub> concentrations: a) LDPE; b) LDPE + 3% C<sub>60</sub>; c) LDPE + 5% C<sub>60</sub>; d) LDPE + 10% C<sub>60</sub>

For the LDPE sample with a 3 % fullerene C<sub>60</sub> content, the fractal dimension is 2.289 (figure 5b), and with an increase in the nano-additive concentration to 5 % and 10 %, the fractal dimension increases to 2.310 and 2.311, respectively (figures 5c and 5d).

The varying values of fractal dimensions with an increase in the fullerene C<sub>60</sub> nanofiller content can be explained by the fact that fullerene C<sub>60</sub> molecules can form clusters, meaning they exhibit aggregation behavior.

This phenomenon can be described within the framework of the aggregation approach and the equilibrium distribution of fullerene C<sub>60</sub> clusters. Moreover, aggregated forms of fullerene can interact with polymers and biopolymers. Fullerene C<sub>60</sub> solutions may exhibit both «fast» and «slow» kinetics of cluster formation.

The «fast» regime resembles the process of equilibrium aggregation of small molecules in solution on a typical diffusion time scale.

In work [20, p. 6779-6781], it was noted that the equilibrium aggregation of fullerene can be considered as a process of hetero-association of fullerene aggregates with its non-aggregated molecules using the diffusion-ordered nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy method. The aggregation of fullerene nano-additives in a polymer matrix can occur both through the diffusion of fullerene molecules and their subsequent clustering, as well as during the preparation of the LDPE-C<sub>60</sub> composite itself and during diffusion throughout the volume of the polymer matrix. This aggregation process influences the properties of the resulting polymer composite, which is observed in the analysis of the dynamics of fractal dimensionality changes (figure 5). An increase in fractal dimensionality D with an increase in the concentration of fullerene C<sub>60</sub> in the LDPE matrix also indicates possible gradual aggregation of fullerene in the composite, as during diffusion processes, fullerene nanofiller molecules may encounter, bond, and form clusters of several molecules, or they may join other clusters. The increase in the fractal dimensionality of the LDPE-C<sub>60</sub> composite samples (figure 5) also confirms the possible correlation of electronic transitions observed in the absorption spectra at 440 nm with the interaction and subsequent aggregation of C<sub>60</sub> fullerene molecules within the matrix. This interaction could evidently lead to a restructuring of the electronic structure of the LDPE polymer.

### Conclusions

The results presented in this article on the study of the influence of the fractal structure of carbon nano-additives, specifically fullerene C<sub>60</sub>, on various properties and the structure of the LDPE matrix show that the introduction of fullerene into the polymer matrix enhances its absorptive characteristics. The differences in the electronic structure of LDPE and fullerene C<sub>60</sub> have varying effects on the optical properties of the samples across different spectral regions. The low degree of conjugation in the LDPE matrix affects absorption in the short-wavelength region, while absorption in the long-wavelength region is likely due to allowed optical transitions in the fullerene C<sub>60</sub> molecule. Intermolecular interactions in this system are driven by the overlap of  $\pi$ -orbitals of both reagents. The red shift of absorption peaks in the spectra may be caused by changes in the electronic structure of LDPE, resulting from interactions with fullerene and the aromatic ring of the polymer matrix. Analysis of the dynamics of changes in the fractal dimension of the LDPE-fullerene C<sub>60</sub> system showed that as the concentration of the nano-additive increases, fullerene molecules gradually aggregate within the matrix. The increase in fractal dimension of the samples with increasing fullerene concentration may indicate a relationship between molecular interactions and aggregation of C<sub>60</sub> molecules, as well as electronic transitions reflected in the spectral dependencies.

REFERENCES

- 1 **Wang Y., Desroches G. J., Macfarlane R. J.** Ordered polymer materials: challenges and opportunities. // *Nanoscale*. – 2021. – № 13. – P. 426–443. – <https://doi.org/10.1039/D0NR07547G>.
- 2 **Ma Peng Cheng et al.** Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites. // *A review. Composites Part A-applied Science and Manufacturing*. – 2010. – № 41. – P. 1345–1367. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2010.07.003>.
- 3 **Erofeev V.** Frame construction composites for buildings and structures in aggressive Environments. // *Procedia Engineering*. – 2016. – № 165. – P. 1444–1447. – <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.877>.
- 4 **Penkova, A. V., Acquah, S. F. A., Piotrovskiy, L. B., Markelov, D. A., Semisalova, A. S., Kroto, H. W.** Fullerene derivatives as nano-additives in polymer composites. // *Russ. Chem. Rev.* – 2017. Vol. 86. – № 6. – P. 530–566. – <https://doi.org/10.1070/RCR4712>.
- 5 **Ravi, P., Dai, S., Wang, S., Tam, K. C.** Fullerene containing polymers: a review on their synthesis and supramolecular behavior in solution. // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. – 2007. – № 7(4–5). – P. 1176–1196. – <https://doi.org/10.1166/jnn.2007.456>.
- 6 **Branciforti, M. C., Guerrini, L. M., Machado, R., Bretas, R. E. S.** Correlations between processing parameters, morphology, and properties of blown films of LLDPE/LDPE blends, Part 2: crystalline and amorphous biaxial orientation by WAXD pole figures. // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2006. – № 102(3). – P. 2760–2767. – <https://doi.org/10.1002/app.24403>.
- 7 **Heeley E. L., Hughes D.J., Taylor P.G., Bassindale A. R.** Crystallization and morphology development in polyethylene-ostakis (n-octadecyldimethylsiloxy)-octasilsesquioxane nanocomposite blends. // *RCS Adv.* – 2015. – № 5. – P. 34709–34719. – <https://doi.org/10.1039/c5ra03267a>.
- 8 **Androsch, R. et al.** Mesophases in polyethylene, polypropylene, and poly(1-butene). // *Polymer*. – 2010. – № 51. – P. 4639–4662. – <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.07.033>.
- 9 **Sobola, D., Talu, S., Sadovsky, P., Papez, N., Grmela, L.** Application of AFM measurement and fractal analysis to study the surface of natural optical structures. // *Advances in Electrical and Electronic Engineering*. – 2017. – Vol. 15. № 3. – P. 569–576. – <https://doi.org/10.15598/aeec.v15i3.2242>.
- 10 **Dresselhaus, M. S., Dresselhaus, G., Eklund, P. C.** *Science of fullerenes and Carbon Nanotubes*. San Diego: Academic Press, 1996. – 965 p.
- 11 **Hückel, E.** Zur Quantentheorie der Doppelbindung // *Z. Physik*. – 1930. – Vol. 60. – P. 423–456. – <https://doi.org/10.1007/BF01341254>.

- 12 **Hubbard, J.** Electron correlations in narrow energy bands // *Proc. Roy.Soc.London A*. 1963. – Vol. 276. – P. 238–257. – <https://doi.org/10.1098/rspa.1963/0204>.
- 13 **Krätschmer, W., Lamb, L. D., Fostiropoulos, K., Huffman, D. R.** Solid electron correlations in narrow energy bands // *Proc. Roy.Soc.London A*. 1963. – Vol. 276. – P. 238–257. – <https://doi.org/10.1098/rspa.1963/0204>.
- 14 **Kazaoui, S., Ross, R., Minami, N.** Intermolecular charge - transfer excitation in C60 films: Evidence from luminescence and photoconductivity. // *Physical Review B*. – 1995. – Vol. 52. – № 16. – P. 11665–11668. – <https://doi.org/10.1103/physrevb.52.r1166>.
- 15 **Makarova, T. L.** Electrical and Optical Properties of Monomeric and Polymerized Fullerenes. // *Semiconductors*. – 2001. – Vol. 35. – № 3. – P. 257–293.
- 16 **Kazaoui, S., Ross, R., Minami, N.** Intermolecular charge - transfer excitation in C60 films: Evidence from luminescence and photoconductivity. // *Physical Review B*. – 1995. – Vol. 52. – № 16. – P. 11665–11668. – <https://doi.org/10.1103/physrevb.52.r1166>.
- 17 **Lopatin, D. V.** Electronic Structures of Fullerene C60 Derivative: DFT Modeling // *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems*. – 2011. – Vol. 2. – P. 281–286. – [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0899-0\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0899-0_23).
- 18 **Lopatin, D. V.** Defect structure of molecular complexes of fullerene C60 // *Tambov University Reports. Ser.: Natural and Technical Sciences*. – 2012. – Vol. 17. – № 5. – P. 1386–1389.
- 19 **Lopatin, D. V., Dmitrievskiy, A. A., Zheltov, M. A.** Defect structures of fullerene C60 molecular complexes with organic and metal-organic donors // *Tambov University Reports. Ser.: Natural and Technical Sciences. Tambov*, 2012. – Vol. 17. – № 1. – P. 116–119.
- 20 **Mosunov, A. A., Mosunov, A. A., Pashkova, I. S., Sidorova, M.** Determination of the equilibrium constant of C60 fullerene binding with drug molecules. // *Phys. Chem. Chem. Phys.* – 2017. – Vol. 19. – № 9. – P. 6777–6784. <https://doi.org/10.1039/c6cp07140f>.

Received 10.11.24.

Received in revised form 1.11.24.

Accepted for publication 20.12.24.

\*А. А. Баратова<sup>1</sup>, К. Ж. Бекмырза<sup>2</sup>, А. М. Кабышев<sup>3</sup>,  
Н. К. Айдарбеков<sup>4</sup>, А. А. Шорман<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.  
10.11.24 ж. баспаға түсті.  
11.11.24 ж. түзетулерімен түсті.  
20.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ФУЛЛЕРЕН $C_{60}$ ҚОСЫЛҒАН ПОЛИЭТИЛЕННІҢ СІңІРУ ҚАСИЕТТЕРІНЕ НАНОКМОПОЗИТТІ ПЛЕНКАЛАР ФРАКТАЛДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ

Бұл мақалада төмен тығыздықтағы полиэтилен (ТПЭ) құрылымы мен қасиеттеріне фуллерен  $C_{60}$  көміртекті нано қоспаларының фракталдық табиғатының әсері туралы эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Төмен тығыздықтағы полиэтилен матрицасына фуллерен нано қоспаларын енгізу сiңіру қабілетінің жоғарылауына, атап айтқанда жүйенің оптикалық тығыздығына әкеледі. Полиэтилен мен фуллерен  $C_{60}$  әртүрлі электрондық құрылымы жұмыста ұсынылған спектрлердің қысқа толқынды немесе ұзын толқынды аймақтарында белгілі бір үлгінің сiңіру қабілеттерінің әртүрлі үлестерін көрсете алады. Бұл ретте төмен тығыздықтағы полиэтилен матрицасындағы түйіндесудің төмен дәрежесі жоғары энергияларда спектрдің қысқа толқынды аймағында жұтылуға әсер етуі мүмкін, ал ұзын толқынды аймақта жұтылу фуллерен  $C_{60}$  молекуласындағы рұқсат етілген оптикалық ауысуларға байланысты болуы мүмкін. Қарастырылып отырған үлгі жүйесіндегі молекулааралық өзара әрекеттесу, донордың жоғары орналасқан молекулалық орбиталы (ТПЭ) мен акцептордың төменгі толтырылмаған молекулалық орбиталы (фуллерен  $C_{60}$  молекуласы) арасындағы өзара алмасу нәтижесінде пайда болады, қажетті матрицадағы екі әрекеттесуші заттың молекулаларының  $\pi$  орбитальдарының қабаттасуы нәтижесінде пайда болады, зерттелетін спектрлік ерекшеліктердің сипатына әсер етеді. Тиісті спектрлердегі қызыл сiңіру шыңдарының ауысуы полиэтиленнің электронды құрылымының өзгеруіне байланысты болуы мүмкін, бұл фуллерен мен полиэтилен полимер матрицасының хош иісті сақинасының өзара әрекеттесуіне байланысты. Төмен тығыздықтағы полиэтилен-фуллерен  $C_{60}$  жүйесінің фракталдық өлшемінiң өзгеру динамикасын талдау полиэтилен матрицасындағы

фуллерен молекулаларының ақырын агрегациясын көрсетті. Фуллерен нано қоспасының концентрациясының жоғарылауымен зерттелетін үлгілердің фракталдық өлшемдерінің жоғарылауы өзара әрекеттесудің ықтимал байланысына, кейіннен  $C_{60}$  молекулаларының спектрлік тәуелділіктердегі электрондық түрлендірулердің агрегациясына әкеледі.

Кілтті сөздер: төмен тығыздықтағы полиэтилен, фуллерендер, фракталдық өлшем, агрегация.

\*А. А. Баратова<sup>1</sup>, К. Ж. Бекмырза<sup>2</sup>, А. М. Кабышев<sup>3</sup>,  
Н. К. Айдарбеков<sup>4</sup>, А. А. Шорман<sup>5</sup>

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
Поступило в редакцию 10.11.24.  
Поступило с исправлениями 11.11.24.  
Принято в печать 20.12.24.

### ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ПОГЛОЩЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНА С ФУЛЛЕРЕНОМ $C_{60}$

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния фрактальной природы углеродных нанодобавок фуллерена  $C_{60}$  на структуру и свойства полиэтилена низкой плотности (ПЭНП). Введение нанодобавок фуллерена в матрицу полиэтилена низкой плотности приводит к возрастанию поглощательных способностей, а именно оптической плотности системы. Различная электронная структура полиэтилена и фуллерена  $C_{60}$  может показывать разный вклад поглощательных способностей того или иного образца или в коротковолновой, или длинноволновой областях представленных в работе спектров. При этом, низкая степень сопряжения в матрице полиэтилена низкой плотности может оказывать влияние на поглощение в более коротковолновой области спектра при более высоких энергиях, в то время как поглощение в длинноволновой области может быть обусловлено разрешенными оптическими переходами в молекуле фуллерена  $C_{60}$ . Межмолекулярное взаимодействие в рассматриваемой системе образцов, происходящее в результате взаимного обмена между высшей занятой молекулярной орбиталью донора (ПЭНП) и

нижней незаполненной молекулярной орбиталью акцептора (молекула фуллерена  $C_{60}$ ), возникающее благодаря перекрыванию  $\pi$ -орбиталей молекул обоих реагирующих веществ в искомой матрице, оказывает влияние на характер исследуемых спектральных особенностей. Красное смещение пиков поглощения в соответствующих спектрах может быть обусловлено изменением электронной структуры полиэтилена, обусловленное взаимодействием фуллерена и ароматического кольца полимерной матрицы полиэтилена. Анализ динамики изменения фрактальной размерности системы полиэтилен низкой плотности-фуллерен  $C_{60}$  показал, возможную постепенную агрегацию молекул фуллерена в матрице полиэтилена. Возрастание фрактальной размерности исследуемых образцов при увеличении концентрации нанодобавки фуллерена приводит к возможной связи взаимодействия, последующей агрегации молекул  $C_{60}$  с электронными превращениями в спектральных зависимостях.

Ключевые слова: полиэтилен низкой плотности, фуллерены, фрактальная размерность, агрегация.

МРНТИ 50.51.15

<https://doi.org/10.48081/KLTJ6757>

**\*Т. Б. Дуйшеналиев<sup>1</sup>, В. П. Чирков<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Институт», Российская Федерация, г. Москва

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6395-6929>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4052-3498>

\*e-mail: [DuyshenaliyevT@mpei.ru](mailto:DuyshenaliyevT@mpei.ru)

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ УПРУГИХ ТЕЛ**

В данной статье предложена новая математическая модель, разработанная с использованием неклассического подхода к решению статической краевой задачи теории упругости. В этой модели ключевым аспектом является выбор конечного состояния упругого тела в качестве исходной области определения для уравнений равновесия, совместности деформаций и граничных условий. Такой подход позволяет рассматривать упругое тело с учетом его нагруженного состояния, что обеспечивает более точное моделирование реальных физических процессов. Решение задачи представлено в виде функций напряжений, которые уравновешивают внешние силы как внутри объема тела, так и на его границах. Эти напряжения используются для вычисления деформаций, описывающих изменения формы и размера тела под действием нагрузок. Перемещения, определяемые с использованием формул Чезаро, позволяют восстановить геометрическую конфигурацию тела как в начальном, ненагруженном состоянии, так и во всех промежуточных состояниях при различных уровнях нагрузки. Предложенная модель демонстрирует высокую универсальность, позволяя анализировать широкий спектр задач теории упругости. Она может быть полезной для исследования сложных упругих структур и материалов, а также для разработки инженерных решений, связанных с анализом напряженно-деформированного состояния тел в различных приложениях. Изложенный в статье подход, в отличие от классического, строго соответствует сути краевых задач. Как показывается в статье, модель описания деформирования упругого тела приводит к простоте и ясности, а

также избавляет от ряда проблем и осложнений, характерных для классического подхода.

**Ключевые слова:** упругость тела, краевые задачи, механическое напряжение, деформация тела, формула Чезаро, ненагруженное состояние.

### Введение

Рассмотрим тело, занимающее область  $V$ , ограниченную поверхностью  $S$ , находящееся в состоянии равновесия. Внутри тела действуют массовые силы, а на его поверхности приложены внешние нагрузки. Задачей является определение напряжений, возникающих в теле, связанных с ними деформаций, а также перемещений, которые привели к этим деформациям. Подобная формулировка статической краевой задачи подробно рассматривается в фундаментальных трудах по механике деформируемого твердого тела [1; 2; 3; 4].

Но решается эта задача, в совершенно другой постановке - прикладывая к заданному начальному состоянию тела массовые силы и граничные условия, найти его конечное положение и имеющиеся в нем деформации и напряжения. В данном случае конечное состояние тела подлежит определению, а область, в которой формулируются уравнения краевой задачи, изначально неизвестна. Для объекта с неопределенной конфигурацией невозможно точно задать координаты точек приложения внутренних массовых сил и нагрузок, действующих на границе. Уравнения данной задачи могут быть записаны лишь в общем, неопределенном виде. Таким образом, задача сводится к следующему: требуется найти решение системы дифференциальных уравнений равновесия и совместности, в которой силы и область их действия неизвестны, а также определить граничные условия на неустановленной поверхности. Математически нелепость такой задачи очевидна.

Такой подход к решению краевой задачи не вполне соответствует ее постановке и является источником осложнений. Авторы исследований [5; 6; 7] обращают внимание на различие координатных систем, используемых в описании перемещений, деформаций и напряжений. В частности, перемещения и деформации задаются в координатах, относящихся к начальному состоянию тела, тогда как напряжения описываются в системе координат, соответствующей конечному состоянию. Такой подход допустим лишь при условии, что перемещения и деформации являются бесконечно малыми, а конечная конфигурация тела незначительно отличается от начальной. Однако это ограничение делает применимым решение только в области малых перемещений и деформаций.

Альтернативный метод для устранения данной проблемы, предложенный в работах [8; 9; 10] и описанный далее, основывается на вычислении напряжений и деформаций в рамках единой конфигурации тела.

Сохраняя классическую схему постановки задачи, предложенный метод избегает проблем с неоднозначностью координат и не требует предположений о близости различных состояний тела.

### Материалы и методы

Суть метода. Предлагаемый метод базируется на следующих предпосылках. Массовые силы и внешние усилия на границе не перемещают тело, как принято в задаче классического подхода. Эти силы фактически характеризуют состояние равновесия и компенсируются внутренними напряжениями, в результате чего тело сохраняет неподвижность (рис. 1).

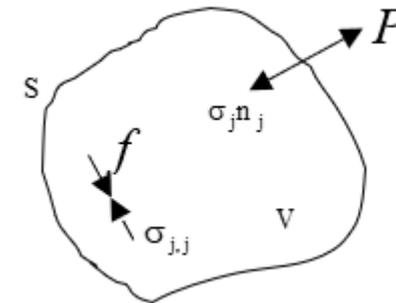


Рисунок 1 – Иллюстрация уравнений статической краевой задачи (1)–(3).

Демонстрирует принцип равновесия сил внутри тела объема  $V$  и на его поверхности  $S$ . В каждой точке тела внешние силы уравновешиваются внутренними напряжениями, при этом  $\sigma_j$  обозначает вектор напряжений, действующий на площадку с нормалью  $x_j$ .

Пусть  $f_i$  и  $p_i$  обозначают внешние силы, действующие соответственно в объеме  $V$  и на поверхности  $S$ . Обозначив компоненты напряжения через  $\sigma_{ij}$ , математическая формулировка задачи принимает вид:

$$\sigma_{ji,j} + f_i = 0, \quad \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \quad x_i \in V, \quad (1)$$

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu} \sigma_{kk,ij} + \frac{\nu}{1-\nu} \delta_{ij} f_{k,k} + f_{i,j} + f_{j,i} = 0, \quad x_i \in V, \quad (2)$$

$$\sigma_{ji}n_j = p_i, \quad x_i \in S$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Приведенная формулировка статической краевой задачи признана стандартной в механике [10; 11]. Основная суть задачи (1)–(3) заключается в установлении равновесия сил. Её решение позволяет определить поле напряжений  $\sigma_{ij}$ , которое возникает в теле для компенсации внешних нагрузок. Эти напряжения обусловлены перемещениями  $u_i$ , которые произошли до достижения состояния равновесия. Однако характер и динамика внешних сил, вызвавших эти перемещения, в рамках данной статической задачи не рассматриваются.

Деформация тела в состоянии покоя определяется величиной приложенных к нему сил. Например, одно и то же тело, заключенное в одинаковый объем и ограниченное той же поверхностью, будет значительно деформироваться под действием больших внешних нагрузок, слабо изменять форму при небольших силах и оставаться неизменным при их отсутствии [12; 13].

В рамках предложенного неклассического подхода, ограничения на упругие деформации и перемещения отсутствуют [14]. Аналитические и численные решения верны при любых уровнях деформаций. Для определения компонент поля деформаций используется способ Чезаро. Ниже, в п. 1.3 показано, как с его помощью можно выразить поле перемещений через компоненты напряжений.

Определение напряжений и деформаций. Предположим, что решение статической краевой задачи (1)–(3) в терминах напряжений  $\sigma_{ij}$  уже найдено. На основе этого решения, применяя обобщенный закон Гука, можно вычислить соответствующие деформации:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{E} (-\nu \delta_{ij} \sigma_{kk} + (1 + \nu) \sigma_{ij}), \quad (4)$$

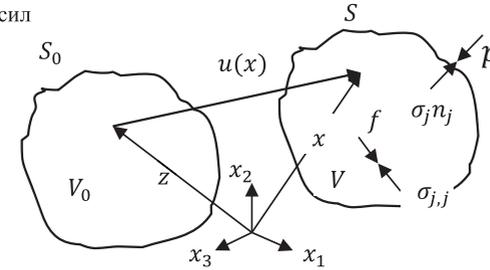
где  $E$  – модуль Юнга.

Согласно рис. 2, векторы:

$$z_i = x_i - u_i(x), \quad x_i \in V, \quad z_i = x_i - u_i(x), \quad x_i \in S \quad (5)$$

задаются областью  $V_0$  и её границей  $S_0$ , которые представляют собой состояние равновесия тела при отсутствии внешних воздействий.

Состояние равновесия без учета внешних сил



Состояние равновесия с учетом внешних сил - конечное состояние равновесия

Рисунок 2 – Конечное (исходное) состояние равновесия  $V, S$  (справа) и начальное (искомое) состояние  $V_0, S_0$  (слева)

В рамках предлагаемого подхода решение не приводит к смещению тела на величину векторов  $u(x)$ . Положение тела, описываемое уравнениями (1)–(3), остаётся неизменным: оно занимало область  $V$ , ограниченную поверхностью  $S$ , как до получения решения, так и после него (рис. 2). Начальное состояние, определяемое координатами  $z_i$  согласно (5), представляет собой математическое преобразование области  $(V, S)$ .

Определение перемещений. Предположим, что в области  $V$  заданы компоненты деформации  $\varepsilon_{ij}$ . Тогда вектор относительных перемещений можно выразить следующим образом:

$$du_i = u_{i,j} dx_j \quad (6)$$

будет в виде:

$$du_i = u_{i,j} dx_j = (\varepsilon_{ij} + \omega_{ij}) dx_j \quad (7)$$

$$\text{здесь } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}), \quad \omega_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} - u_{j,i}).$$

Величины  $\varepsilon_{ij}$  и  $\omega_{ij}$  связаны между собой соотношением:

$$\omega_{ij,k} = \varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i} \quad (8)$$

Проинтегрируем (8) по какой-либо линии, лежащей в области  $V$ . Пусть  $x^0$  – начальная точка линии, а  $x$  – произвольная ее точка:

$$u_i(x) = u_i(x^0) + \int_l \varepsilon_{ij}(y) dy_j + \int_l \omega_{ij}(y) dy_j$$

Интегрирование по частям последнего интеграла в правой части этого выражения дает:

$$\int_l \omega_{ij}(y) dy_j = \omega_{ij}(x^0)(x_j - x_j^0) + \int_l (x_j - y_j) \omega_{ij,k}(y) dy_k$$

Подставим это в предыдущее выражение и, учитывая (8), напишем полученное в виде:

$$u_i(x) = u_i(x^0) + \omega_{ij}(x^0)(x_j - x_j^0) + \int_l (\varepsilon_{ik}(y) + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j}(y) - \varepsilon_{kj,i}(y))) dy_k \quad (9)$$

где  $u_i(x^0)$ ,  $\omega_{ij}(x^0)$  - постоянные интегрирования. Им можно придать произвольные, в том числе и равные нулю, значения.

Чтобы привести преобразование (9) к форме, в которой оно будет включать компоненты напряжений, применим следующую форму обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{E} (-\nu \delta_{ij} \sigma_{kk} + (1 + \nu) \sigma_{ij}) \quad (10)$$

Далее определяется:

$$\varepsilon_{k,ij} - \varepsilon_{k,ji} = -\frac{1}{E} (\delta_{ki} \sigma_{tt,j} - \delta_{kj} \sigma_{tt,i}) + (1 + \nu) (\sigma_{ki,j} - \sigma_{kj,i}).$$

Подставляя полученное в выражение (9), имеем (11) выражение:

$$u_i(x) = u_i(x^0) + \omega_{ij}(x^0)(x_j - x_j^0) + \frac{1}{E} \int_l (-\nu \delta_{ik} \sigma_{tt} + (1 + \nu) \sigma_{ik} + (x_j - y_j) (-\nu (\delta_{ki} \sigma_{tt,j} - \delta_{kj} \sigma_{tt,i}) + (1 + \nu) (\sigma_{ki,j} - \sigma_{kj,i}))) dy_k \quad (11)$$

В этом выражении  $u_i(x^0)$ ,  $\omega_{ij}(x^0)$ , также как и в (9), произвольные постоянные. Эти перемещения соответствуют таким, которые не приводят к деформациям (например, параллельному переносу и жесткому повороту тела). В дальнейшем можно игнорировать такие перемещения. В этом случае уравнения (9) и (11) примут следующую форму:

$$u_i(x) = \int_l (\varepsilon_{ik}(y) + (x_j - y_j) (\varepsilon_{ki,j}(y) - \varepsilon_{kj,i}(y))) dy_k \quad (12)$$

$$u_i(x) = \frac{1}{E} \int_l (-\nu \delta_{ik} \sigma_{tt} + (1 + \nu) \sigma_{ik} + (x_j - y_j) (-\nu (\delta_{ki} \sigma_{tt,j} - \delta_{kj} \sigma_{tt,i}) + (1 + \nu) (\sigma_{ki,j} - \sigma_{kj,i}))) dy_k \quad (13)$$

Поле перемещений задано в координатах конечного состояния, аналогично полям напряжений и деформаций. Вектор перемещений  $u_i(x)$  описывает относительные изменения координат, компоненты деформаций, вращений и напряжений этих состояний. Это относительное изменение можно представить следующим образом:

$$x_i - z_i = u_i(x), \quad (14)$$

$$\varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(z) = (u_{i,j} + u_{j,i})/2, \quad \omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(z) = (u_{i,j} - u_{j,i})/2, \quad (15)$$

$$\sigma_{ij}(x) = \lambda \delta_{ij} u_{k,k} + \mu (u_{i,j} + u_{j,i}). \quad (16)$$

Тут  $x_i$ ,  $\varepsilon_{ij}(x)$ ,  $\omega_{ij}(x)$ ,  $\sigma_{ij}(x)$  относятся к положению равновесия с внешними силами, а  $z_i$ ,  $\varepsilon_{ij}(z)$ ,  $\omega_{ij}(z)$ ,  $\sigma_{ij}(z)$  – к положению равновесия без внешних сил. Поле  $u_i(x)$  только преобразует состояние  $(V, S)$  в  $(V_0, S_0)$ , следовательно, оно определяет только относительные изменения координат, деформаций и напряжений этих состояний (рис. 2).

Когда и каким образом произошли перемещения  $u_i(x)$ , какие силы действовали и как они изменялись во времени, статическая краевая задача не может ответить. Что произойдет, если разгрузить тело? Некоторые деформации исчезнут, другие останутся, но этот вопрос остается без ответа в рамках статической краевой задачи. При нулевых значениях внешних сил её решение даёт  $\sigma_{ij}(x) \equiv 0$ , что ведет к  $u_i(x) \equiv 0$ . Ненагруженное тело находится в состоянии равновесия, и его текущее состояние совпадает с исходным.

Для определения области, соответствующей начальному состоянию, как уже отмечалось выше, воспользуемся соотношениями (5).

Таким образом, можно считать задачу полностью решенной - получены все соотношения для требующихся величин.

### Результаты и обсуждение

Задача о равновесии трехмерной пластины. Рассмотрим применение изложенного в п. 1 метода на примере решения задачи о равновесии прямоугольной пластины. Пусть тело занимает область  $V$ . Эту область определим следующими соотношениями:

$$-\frac{b}{2} \leq x_1 \leq \frac{b}{2}, \quad 0 \leq x_2 \leq l, \quad -\frac{h}{2} \leq x_3 \leq \frac{h}{2} \quad (17)$$

Поверхность данной пластины включает шесть плоских граней, которые можно обозначить следующим образом:

$$S = S_{1+} + S_{1-} + S_{2+} + S_{2-} + S_{3+} + S_{3-}, \quad (18)$$

где на

$$\begin{aligned} S_{1+}: & \quad x_1 = b/2, & 0 \leq x_2 \leq l, & -h/2 \leq x_3 \leq h/2, \\ S_{1-}: & \quad x_1 = -b/2, & 0 \leq x_2 \leq l, & -h/2 \leq x_3 \leq h/2, \\ S_{2+}: & \quad -b/2 \leq x_1 \leq b/2, & x_2 = l, & -h/2 \leq x_3 \leq h/2, \\ S_{2-}: & \quad -b/2 \leq x_1 \leq b/2, & x_2 = 0, & -h/2 \leq x_3 \leq h/2, \\ S_{3+}: & \quad -b/2 \leq x_1 \leq b/2, & 0 \leq x_2 \leq l, & x_3 = h/2 \\ S_{3-}: & \quad -b/2 \leq x_1 \leq b/2, & 0 \leq x_2 \leq l, & x_3 = -h/2 \end{aligned}$$

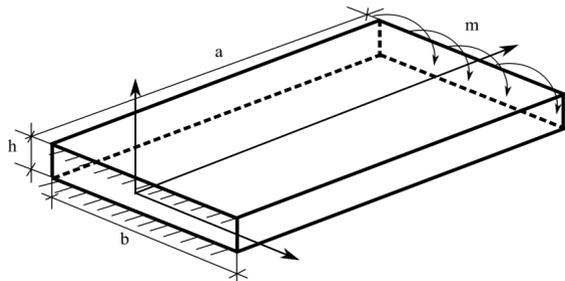


Рисунок 3 – Консольно-закрепленная пластина

Далее рассмотрим вторую краевую задачу без учета массовых сил:

$$\sigma_{ji,j} = 0, \quad \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \quad x_i \in V, \quad (19)$$

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu} \sigma_{ij,kk} = 0, \quad x_i \in V, \quad (20)$$

$$\sigma_{ji} n_j = \delta_{i2} c x_3, \quad x_i \in S, \quad (21)$$

где V и S определяются выражениями (17) и (18). Из уравнения (21) видно, что на четырёх гранях плиты внешние силы отсутствуют, и они

действуют только на левую и правую торцевые грани, создавая изгибающие моменты, которые равны соответственно:

$$m_1 = - \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} c x_1^2 dx_1 dx_2 = -c b h^3 / 12, \quad m_2 = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} c x_1^2 dx_1 dx_2 = c b h^3 / 12.$$

Задача (19)–(21) полностью математически сформулирована. Она имеет ясный механический смысл: прямоугольная плита с приложенными на её поверхности усилиями (21) находится в состоянии равновесия. Задача заключается в нахождении напряжений, деформаций и перемещений, вызвавших эти деформации, в внутренних точках плиты. Как можно заметить, это не представляет собой отклонения от стандартной формулировки статической краевой задачи [14].

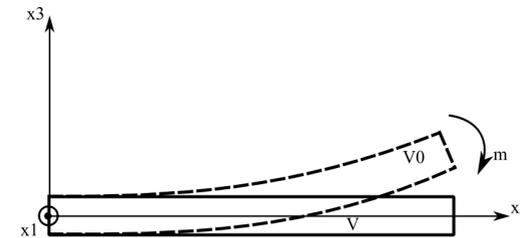


Рисунок 4 – Плоское представление решения задачи неклассическим методом

На рисунке 4 представлены два состояния анализируемой пластины. Следует подчеркнуть, что объем V и поверхность S отражают нагруженное (деформированное) состояние, которое математически полностью определено. Область V<sub>0</sub> – начальное (ненагруженное) состояние равновесия. Под воздействием усилий m, тело переходит в область V, где обретает равновесие. Задача корректна с математической точки зрения и имеет ясный механический смысл. Необходимо вычислить распределение напряжений, деформаций и перемещений в пределах заданного объема V.

Решение задачи. Решением задачи (19)–(21) являются функции напряжения:

$$\sigma_{ij} = \delta_{i2} \delta_{j2} c x_3, \quad x_i \in V. \quad (22)$$

Перемещения определим, подставив (22) в (13):

$$u_i = \frac{1}{E} \int c(-\nu \delta_{ik} x_3 + (1+\nu) \delta_{i2} \delta_{k2} x_3 + (x_j - y_j)(-\nu(\delta_{ki} \delta_{3j} - \delta_{ij} \delta_{3i}) + (1+\nu) \delta_{ki2} (\delta_{i2} \delta_{3j} - \delta_{j2} \delta_{3i}))) dy_k, \quad x_i \in V.$$

Интегрируя данное соотношение, найдем:

$$u_i(x) = -c(\delta_{i1} \nu x_3 (x_1 - x_1^0) - \delta_{i2} x_3 (x_2 - x_2^0) + \delta_{i3} (x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) - x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))) / 2 / E, \quad x_i \in V, \quad (23)$$

где  $x_i^0$  – любая фиксированная точка области  $V$ . Приведем развернутый вид функций (23):

$$u_1(x) = -c \nu x_3 (x_1 - x_1^0) / E, \quad x_i \in V,$$

$$u_2(x) = c \nu x_3 (x_2 - x_2^0) / E, \quad x_i \in V,$$

$$u_3(x) = -c((x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) - x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))) / (2E), \quad x_i \in V.$$

Стоит отметить, что функции (23) также выполняют уравнения равновесия в форме Навье. В завершение, на основе поля перемещений (23) определим компоненты деформаций и вращений:

$$\varepsilon_{ij} = c x_3 (-\nu(\delta_{i1} \delta_{j1} + \delta_{i3} \delta_{j3}) + \delta_{i2} \delta_{j2}) / E, \quad x_i \in V, \quad (24)$$

$$\omega_{ij} = -c(\nu(x_1 - x_1^0)(\delta_{i1} \delta_{3j} - \delta_{3i} \delta_{1j}) - (x_2 - x_2^0)(\delta_{2i} \delta_{3j} - \delta_{3i} \delta_{2j})) / E, \quad x_i \in V. \quad (25)$$

Используя полученные выражения, можно вычислить компоненты напряжений, перемещений, деформаций и вращений в любой точке тела, находящегося в равновесии в области  $V$ . Особо стоит подчеркнуть, что в выражениях (22)–(25) координаты относятся исключительно к области  $V$  (17), и здесь отсутствует обычное несоответствие в координатах. В  $u_i(x)$ ,  $\sigma_{ij}(x)$  одни и те же координаты.

Разница между координатами, деформациями и напряжениями искомого (ненагруженного) и конечного состояний, которые определяются уравнениями (22)–(25), выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} x_i - z_i &= -c(\delta_{i1} \nu x_3 (x_1 - x_1^0) - \delta_{i2} x_3 (x_2 - x_2^0) + \delta_{i3} (x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) - \\ &\quad - x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))) / 2 / E, \\ \varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(z) &= c x_3 (-\nu(\delta_{i1} \delta_{j1} + \delta_{i3} \delta_{j3}) + \delta_{i2} \delta_{j2}) / E, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(z) &= -c(\nu(x_1 - x_1^0)(\delta_{i1} \delta_{3j} - \delta_{3i} \delta_{1j}) - (x_2 - x_2^0)(\delta_{2i} \delta_{3j} - \delta_{3i} \delta_{2j})) / E, \\ \sigma_{ij}(x) &= \delta_{i2} \delta_{j2} c x_3. \end{aligned}$$

Начальная конфигурация (ненагруженное состояние) пластины. Координаты начального состояния упругой пластины связаны с координатами текущего состояния равновесия с помощью следующих выражений:

$$\begin{aligned} z_i &= x_i - c(\delta_{i1} \nu x_3 (x_1 - x_1^0) - \delta_{i2} x_3 (x_2 - x_2^0) + \delta_{i3} (x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) - \\ &\quad - x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))) / 2 / E, \quad x_i \in V. \end{aligned} \quad (27)$$

В качестве  $x^0$  можно брать координаты любой точки области (17). В дальнейшем положим:

$$x_1^0 = 0, \quad x_2^0 = 0, \quad x_3^0 = 0.$$

Рассмотрим случаи:  $c = 0$  и  $c = 60$ .

Случай 1. Пусть в (22)  $c = 0$ . На поверхности  $S$  внешних сил нет. Тело занимает область  $V$  (17) с поверхностью  $S$  (18) и находится в равновесии (рис. 2). Выражения (26) принимают вид:

$$x_i - z_i = 0, \quad \varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(z) = 0, \quad \omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(z) = 0, \quad \sigma_{ij}(x) = 0. \quad (28)$$

Начальное состояние соответствует заданной конфигурации (нижнее положение пластины на рисунке 5). Заданное состояние может включать остаточные деформации или не содержать их вовсе. В равновесии может находиться как тело без остаточных деформаций, так и тело с ними. Рассматриваемая пластина, возможно, имела криволинейную форму, а затем была выпрямлена и обработана. В этом случае в ней будут присутствовать остаточные деформации.

Случай 2. Пусть  $c = 60$ . Тело занимает ту же область  $V$  (17) с поверхностью  $S$  (18). Подставим это значение в уравнение (22), и, используя формулы (27), определим начальное состояние пластины (верхнее положение на рисунке 5).

Во всех этих случаях тело имеет одинаковую конфигурацию и находится в одном и том же положении в пространстве. Это положение остается неизменным и геометрически стабильным независимо от величины внешней нагрузки.

Решения:

$$\sigma_{ij}(x) = 0, \quad \sigma_{ij}(x) = \delta_{i2}\delta_{j2}60x_3, \quad x_i \in V \quad (30)$$

соответствующие рассмотренным ситуациям, удовлетворяют уравнениям задачи (19)-(21) для одного и того же положения тела, то есть в его прямолинейной конфигурации. Стоит отметить, что граничное условие (21) выполняется на поверхности, соответствующей этим решениям, что очевидно на рисунке 5.

Внешние силы являются неотъемлемой частью уравнений равновесия, представленных в (19)-(21), и, следовательно, не могут рассматриваться как нарушители этого равновесия. Условие (21) представляет собой требование равновесия точек поверхности тела. Усилия, действующие на внешней поверхности, равны усилиям, которые действуют изнутри (см. рисунок 1).

Рассмотренная модель реализована в системе MatLab (рис. 5).

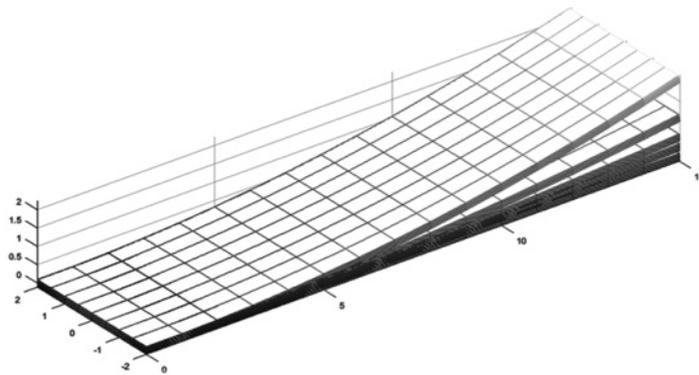


Рисунок 5 – Начальные конфигурации пластины (снизу вверх) при различных  $c=0; 20; 30; 40; 60$ .

### Выводы

Существующее представление о том, что тело перемещается на величину, соответствующую решениям дифференциальных уравнений (1), (2) и граничных условий (3), требует пересмотра. В этих уравнениях координаты относятся к конечному состоянию тела. В предлагаемом подходе, предложенном авторами, задача заключается в нахождении функций  $u_i(x)$ ,  $x_i \in V$ , которые удовлетворяют уравнениям равновесия и граничным условиям любой из трех форм: 1) заданы перемещения, 2) заданы усилия, 3) на одной части поверхности заданы перемещения, а на

другой - усилия. Перемещения, указанные в первом и третьем виде граничных условий, уже существуют в теле, а не те, которые произойдут впоследствии. Решение  $u_i(x)$  представляет те перемещения, которые уже произошли и привели к данному напряженному состоянию, уравнивающим внешние силы.

Уравнениями (19)-(21) декларируется, что прямая плита (17), (18) с приложенными на её поверхности усилиями (21) находится в равновесии. Определяются соответствующие деформации, напряжения и перемещения, которые не нарушают это равновесие.

На основе данного подхода к решению краевых задач статики разработана и реализована математическая модель для описания конечного деформирования упругих тел. Предложенный способ построения начальных конфигураций нагруженного тела прост и доступен. В нём отсутствуют недопустимые методы линейной постановки задачи, а также некорректные предположения о близости начального и конечного положений тела. Решение свободно от ограничений, накладываемых на величины перемещений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Timmis, A., Townsend, N., Gale, C.P., Torbica, A., Lettino, M. European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics, European Heart Journal. – 2019. – Vol. 41. – P. 12–85.
- 2 Ильюшин, А. А. Механика сплошной среды. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1971. – 248 с.
- 3 Лурье, А. И. Пространственные задачи теории упругости. – М. : Гостехиздат, 1955. – 491 с.
- 4 Ляв, А. Математическая теория упругости. – М. : ОНТИ, 1935. – 674 с.
- 5 Мусхелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М. : Наука, 1966. – 707 с.
- 6 Тимошенко, С. П. Курс теории упругости. – Киев: Наукова думка, 1972. – 506 с.
- 7 Новацкий, В. Теория упругости. – М. : Мир, 1975. – 872 с.
- 8 Купрадзе, В. Д., Гегелия, Т. Г., Башелейшвили, М. О., Бурчуладзе, Т. В. Трёхмерные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1976. – 664 с.
- 9 Александров, А. Я. Пространственные задачи теории упругости. Применение методов теории функций комплексного переменного. – М. : Наука, 1978. – 462 с.
- 10 Дуйшеналиев, Т. Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. – М. : Издательство МЭИ, 2017. – 400 с.

11 **Duishenaliyev, T. B., Moskvina, V. G.** Some remarks on the Principles of Saint-Venant // Bulletin of Toraighyrov University: Physics, Mathematics & Computer Science series. – 2023. – № 2. – <https://doi.org/10.48081/qdky2459>.

12 **Курманов, А. А., Испулов, Н. А., Жумабеков, А. Ж.** О распространении электромагнитных волн в неподвижных анизотропных средах // Вестник Торайғыров университета. Серия: физика, математика и компьютерные науки. – 2024. – № 2. – <https://doi.org/10.48081/gdip8789>.

13 **Испулов, Н. А., Абдул, Кадыр, Кисабекова, А. А., Каримова, Р. М., Жумабеков, А. Ж.** О трехмерном тензоре упругости в анизотропных средах // Вестник Торайғыров университета. Серия: Физика, математика и компьютерные науки. – 2024. – № 3. – С. 81–91. – <https://doi.org/10.48081/ifjw2753>.

14 **Потапов, А. А.** Фрактальная инженерия и фрактальный инжиниринг // Вестник Торайғыров университета. Серия: Физика, математика и компьютерные науки. – 2022. – № 2. – <https://doi.org/10.48081/fnfj8170>.

#### REFERENCES

1 **Timmis, A., Townsend, N., Gale, C. P., Torbica, A., Lettino, M.** European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics, European Heart Journal. – 2019. – Vol. 41. – P. 12–85.

2 **И'Yushin, A. A.** Механика сплошной среды [Continuum Mechanics] [Text]. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. – 248 p.

3 **Lur'e, A. I.** Prostranstvenny'e zadachi teorii uprugosti [Spatial problems of elasticity theory] [Text]. – М.: Gostexizdat, 1955. – 491 p.

4 **Lyav, A.** Matematicheskaya teoriya uprugosti [Mathematical theory of elasticity] [Text]. – М.: ONTI, 1935. – 674 p.

5 **Muskhelishvili, N. I.** Nekotory'e osnovny'e zadachi matematicheskoy teorii uprugosti [Some basic problems of the mathematical theory of elasticity] [Text]. – М.: Nauka, 1966. – 707 p.

6 **Timoshenko, S. P.** Kurs teorii uprugosti [The course of elasticity theory] [Text]. – Kiev : Naukova dumka, 1972. – 506 p.

7 **Novaczki, V.** Teoriya uprugosti [Theory of elasticity] [Text]. – М.: Mir, 1975. – 872 p.

8 **Kupradze, V. D., Gegeliya, T. G., Bacheleishvili, M. O., Burchuladze, T. V.** Trexmerny'e zadachi matematicheskoy teorii uprugosti [Three-dimensional problems of the mathematical theory of elasticity] [Text]. – М.: Nauka, 1976. – 664 p.

9 **Aleksandrov, A. Ya.** Prostranstvenny'e zadachi teorii uprugosti. Primenenie metodov teorii funktsij kompleksnogo peremennogo [Spatial problems

of elasticity theory. Application of methods of the theory of functions of a complex variable] [Text]. – М.: Nauka, 1978. – 462 p.

10 **Dujshenaliyev, T. B.** Neklassicheskie resheniya mexaniki deformiruемого tela [Non-classical solutions of deformable body mechanics]. – Moskva: Izdatel'stvo ME'I, 2017. – 400 p.

11 **Duishenaliyev, T. B., Moskvina, V. G.** Some remarks on the Principles of Saint-Venant // Bulletin of Toraighyrov University: Physics, Mathematics & Computer Science series. – 2023. – № 2. – <https://doi.org/10.48081/qdky2459>.

12 **Kurmanov, A. A., Ispulov, N. A., Zhumabekov, A. Zh.** O rasprostraneniі e'lektromagnitny'x voln v nepodvizhny'x anizotropny'x sredax [On the propagation of electromagnetic waves in stationary anisotropic media] [Text]// Vestnik Torajgy'rov universiteta. Seriya: fizika, matematika i komp'yuterny'e nauki. – 2024. – № 2. – <https://doi.org/10.48081/gdip8789>

13 **Ispulov, N. A., Abdul, Kady'r, Kisabekova, A. A., Karimova, R. M., Zhumabekov, A. Zh.** O trexmermernom tenzore uprugosti v anizotropny'x sredax [On the three-dimensional elasticity tensor in anisotropic media] [Text]// Vestnik Torajgy'rov universiteta. Seriya: Fizika, matematika i komp'yuterny'e nauki. – 2024. – № 3. – P. 81–91. <https://doi.org/10.48081/ifjw2753>.

14 **Potapov, A. A.** Fraktal'naya inzheneriya i fraktal'ny'y inzhiniring [Fractal engineering and fractal engineering] [Text] // Vestnik Torajgy'rov universiteta. Seriya: Fizika, matematika i komp'yuterny'e nauki. – 2022. – № 2. – <https://doi.org/10.48081/fnfj8170>.

Поступило в редакцию 10.11.24.

Поступило с исправлениями 11.11.24.

Принято в печать 19.12.2024.

*\*Т. Б. Дуйшеналиев<sup>1</sup>, В. П. Чирков<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Мәскеу Энергетикалық институты ғылыми зерттеу университеті,

Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.

10.11.24 ж. баспаға түсті.

11.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

19.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### СЕРПІМДІ ДЕНЕЛЕРДІҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ДЕФОРМАЦИЯЛАРЫНЫҢ АНАЛИТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

*Бұл мақалада серпімділік теориясының статикалық шеткі мәселесін шешудің классикалық емес тәсілін қолдана отырып жасалған жаңа математикалық модель ұсынылған. Бұл модельде*

негізгі аспект тепе-теңдік теңдеулері, деформациялардың үйлесімділігі және шекаралық шарттар үшін анықтаманың бастапқы аймағы ретінде серпімді дененің соңғы күйін таңдау болып табылады. Бұл тәсіл серпімді денені оның жүктелген күйін ескере отырып қарастыруға мүмкіндік береді, бұл нақты физикалық процестерді дәлірек модельдеуге мүмкіндік береді. Мәселенің шешімі дененің көлемінде де, оның шекараларында да сыртқы күштерді теңестіретін кернеу функциялары түрінде ұсынылған. Бұл кернеулер жүктемелердің әсерінен дененің пішіні мен мөлшерінің өзгеруін сипаттайтын деформацияларды есептеу үшін қолданылады. Сезаро формулаларын қолдана отырып анықталған қозғалыстар дененің геометриялық конфигурациясын бастапқы, жүктелмеген күйде де, әр түрлі жүктеме деңгейлерінде барлық аралық күйлерде қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Ұсынылған модель икемділік теориясының көптеген міндеттерін талдауға мүмкіндік беретін жоғары әмбебаптықты көрсетеді. Бұл күрделі серпімді құрылымдар мен материалдарды зерттеуге, сондай-ақ әртүрлі қосымшалардағы денелердің кернеулі-деформацияланған күйін талдауға байланысты инженерлік шешімдерді әзірлеуге пайдалы болуы мүмкін. Мақалада келтірілген тәсіл, классикалықтан айырмашылығы, шеткі мәселелердің мәніне қатаң сәйкес келеді. Мақалада көрсетілгендей, серпімді дененің деформациясын сипаттау моделі қарапайымдылық пен айқындыққа әкеледі, сонымен қатар классикалық тәсілге тән бірқатар проблемалар мен асқынуларды жояды.

Кілтті сөздер: дененің серпімділігі, шеткі есептер, механикалық кернеу, дененің деформациясы, Чезаро формуласы, жүктелмеген күй.

**\*T. B. Duishenaliev, V. P. Chirkov**

<sup>1,2</sup>National Research University Moscow Power Engineering Institute,  
Russian Federation, Moscow

Received 10.11.24.

Received in revised form 11.11.24.

Accepted for publication 19.12.24.

## ANALYTICAL DESCRIPTION GEOMETRICALLY NONLINEAR DEFORMATIONS OF ELASTIC BODIES

*In this paper, a new mathematical model developed using a non-classical approach for solving static boundary value problems of elasticity theory is proposed. The key aspect of this model is the choice of the final state of the elastic body as the initial domain of definition for equilibrium equilibrium, joint deformations and boundary conditions. This approach allows us to consider the elastic body taking into account its loaded state, which provides a more accurate modeling of physical processes. The solution to the problem is presented in the form of stress functions that balance external forces both inside the body volume and at its boundaries. This stress is used to calculate the deformations describing changes in the shape and size of the body in accordance with the requirements. Displacements determined using the Cesaro formula allow us to restore the geometric configuration of the body both in the initial, unloaded state and in all intermediate states at different degrees of load. The proposed model of domestic universality allows us to analyze a wide range of elasticity modeling problems. It can be useful for studying complex elastic structures and materials, as well as developing engineering solutions, research with the analysis of the crisis-deformed state of bodies in various applications. The approach presented in the article, in contrast to the classical one, strictly corresponds to the essence of boundary value problems. As shown in the article, the model for describing the deformation of an elastic body leads to simplicity and clarity, and also eliminates a number of problems and shortcomings characteristic of the classical case.*

*Keywords: elasticity of a body, boundary value problems, mechanical stress, deformation of a body, Cesaro formula, unloaded state.*

SRSTI 29.19.31, 29.31.26

<https://doi.org/10.48081/UYVL9716>

**\*A. Zh. Zhumabekov<sup>1</sup>, N. A. Ispulov<sup>2</sup>, B. Sh. Isimova<sup>3</sup>,  
A. A. Kissabekova<sup>4</sup>, N. Zh. Zhuspekova<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,5</sup>Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>4</sup>Pavlodar Pedagogical University named after A. Margulan,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2868-1231>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0913-7022>

\*e-mail: [almar89-89@mail.ru](mailto:almar89-89@mail.ru)

## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF REDUCED GRAPHENE OXIDE ON THE STRUCTURAL PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE**

*This paper investigates the effect of reduced graphene oxide (rGO) on titanium dioxide's (TiO<sub>2</sub>) structural and physico-chemical properties. Using rGO as a TiO<sub>2</sub> modifier is essential for increasing its photocatalytic activity and improving its mechanical and electrical characteristics. During the study, TiO<sub>2</sub>/rGO nanocomposites of various concentrations of reduced graphene were obtained, which were subjected to structural analysis using scanning electron microscopy and atomic force microscopy. The results showed that adding rGO contributes to a change in the crystal structure of tio2 and improves its textural characteristics, such as porosity and surface. The effect of the rGO concentration on the properties of nanocomposites was also studied, which allowed us to identify the optimal ratio for increasing the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>. Additionally, spectroscopic studies were carried out, confirming the improvement of the conductive properties and stability of TiO<sub>2</sub> with the addition of rGO. The results open prospects for developing highly efficient TiO<sub>2</sub>-based materials with improved water purification, solar energy, and sensor functional properties.*

*Keywords: reduced graphene oxide, titanium dioxide, nanocomposite material, photocatalysis, photodetector.*

## **Introduction**

The study of the effect of reduced graphene oxide on the structural properties of titanium dioxide is an important topic in materials science. Such hybrid materials can demonstrate unique physicochemical characteristics that are functional for various applications, including catalysis, solar cells, sensors, and batteries [1-4].

rGO is a form of graphene in which parts of oxygen-containing oxide groups are reduced, which improves the material's conductivity compared to graphene oxide (GO). Recovery can be achieved by various methods, including chemical reduction, thermal reduction, or reduction using electricity, etc. [5-7] rGO has a high specific surface area and good conductivity, which makes it interesting for creating composite materials with other semiconductors, such as tio2 [8; 9]

TiO<sub>2</sub> is one of the most widely used semiconductors in photocatalysis and energy applications. It exists in several crystalline forms (anatase, rutile, and brutal), with anatase and rutile being the most stable and frequently used catalysts. TiO<sub>2</sub> has good chemical stability, but its effectiveness in processes such as photocatalysis is limited due to the band gap and the tendency to rapid recombination of charge carriers [10–12].

The use of rGO in the composition of nanocomposite materials with TiO<sub>2</sub>, its presence can significantly affect the structural and functional properties of the latter. The interaction between rGO and TiO<sub>2</sub> usually leads to improved electrical and optical characteristics and increased photocatalytic activity. Using rGO as a conductive material can serve as a conductor for charges formed when tio2 is excited by light. This reduces the likelihood of recombination of charge carriers and improves the efficiency of photocatalysis. The addition of rGO can affect the crystal structure of TiO<sub>2</sub>. In some cases, this may lead to a change in the phase composition or an improvement in the distribution of crystallites. In other instances, rGO can act as a structural template, helping TiO<sub>2</sub> form more stable structures with an increased surface area.

rGO can contribute to a more uniform distribution of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in the material, preventing their aggregation. This is especially important to maintain a high contact surface and catalytic activity.

The rGO- TiO<sub>2</sub> nanocomposite material can demonstrate improved properties at the phase boundary, where efficient separation and transport of charge carriers occur, contributing to enhanced catalytic and sensor characteristics.

Many studies confirm that adding rGO to TiO<sub>2</sub> can significantly improve its photocatalytic activity [13-15]. Due to the improved conductivity of rGO, electrons generated in TiO<sub>2</sub> by light can be efficiently transferred to graphene, reducing their recombination and increasing the efficiency of photocatalysis. rGO helps to improve the effective surface of TiO<sub>2</sub>, which increases the contact area with reagents and accelerates photochemical reactions. In some cases, rGO can

prevent the aggregation of TiO<sub>2</sub> particles, maintaining stability and improving the material's durability.

However, optimal results are achieved at a certain concentration of rGO. Excessive amounts of reduced graphene oxide can cause poor particle distribution or even lead to deterioration of material properties due to aggregation of graphene sheets.

Applying TiO<sub>2</sub>-rGO nanocomposite materials has excellent properties for decomposing organic pollutants and hydrogen from water using sunlight. In photovoltaic devices, rGO can help improve electron transport and energy conversion efficiency. As sensors, TiO<sub>2</sub>-rGO can detect gases or change the concentration of pollutants.

This work obtains an ultraviolet detector of a nanocomposite material based on rGO and TiO<sub>2</sub>. It is assumed that adding rGO to TiO<sub>2</sub> in the complex will improve the optoelectronic characteristics of the photodetector since their use has led to an increase in the efficiency of photocatalytic properties [16].

### Materials and methods

The preparation of nanocomposite materials was carried out using hydrothermal synthesis according to the works [16, 17]. The preparation was carried out based on rGO (Cheaptubes, USA), TiO<sub>2</sub> (d>21 nm, anatase, 99.7 %, Sigma Aldrich), deionized water (Drawel water purification system), and ethanol (anhydrous). The concentration of rGO in the resulting nanocomposite material is 10 %, as studies have shown that at this concentration, the materials have highly effective catalytic activity [17]. All reagents were analytically pure and used without additional purification.

The surface morphology of the obtained composite materials was studied using a scanning electron microscope (SEM, Tescan Mira3). Films of TiO<sub>2</sub> or TiO<sub>2</sub>-rGO nanocomposite were prepared from a paste obtained by continuous mixing of 150 mg of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>-rGO powder with 1 ml of ethanol for 24 hours. The finished paste was applied to the surface of the substrates using the "spin-coating" method at a rotation speed of 3000 rpm. After application, the film was annealed in an Ar atmosphere for 2 hours at a temperature of 450 °C (Tmax).

### Results and discussion

Figure 1 shows the low-frequency TiO<sub>2</sub> structures of anatases. It can be seen from the figure that the woofers are distributed on the surface of the substrate. Next, Figure 1b shows SEM images of rGO, which has a sheet thickness from 40 nm to 90 nm. In this case, thick sheets of rGO are most likely superimposed on each other since they are rare in the sample. Or it can be called multilayer rGO sheets. In these samples, rGO has a layered structure distributed over the entire substrate volume.

The arrangement of the rGO sheets can also be observed through the AFM, shown in Figure 1, B. The AFM indicates precisely the same surface distribution as in SEM images. Once again, these data show the distribution of rGO sheets.

SEM images were obtained after synthesizing the nanocomposite material, as shown in Figure 1. TiO<sub>2</sub> NPs are distributed on the surface of rGO sheets. The study of the structure using SEM shows that an island film is formed when rGO is added to TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> NPs are wrapped in sheets of rGO, creating a conductive network in the nanocomposite material. This network is probably responsible for the recombination of TiO<sub>2</sub> charge carriers. Thus, the TiO<sub>2</sub> electrons are transferred to the surface of the rGO sheets, and they, in turn, move to the FTO and transmit a signal for registration. The images indicate the formation of a nanocomposite material based on rGO and TiO<sub>2</sub>.

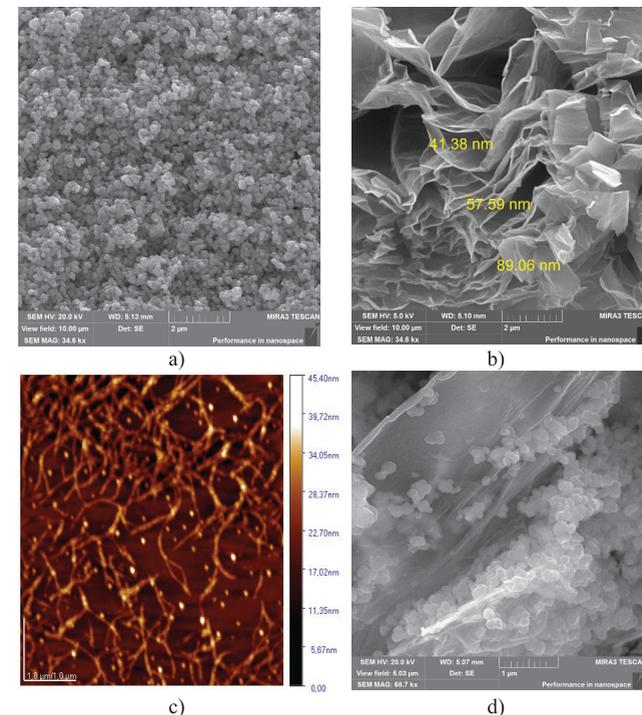


Figure 1 – SEM images samples: a – TiO<sub>2</sub>, b – rGO, d – TiO<sub>2</sub>-rGO, and AFM image rGO

Next, Figure 2 shows the Raman spectra of the starting materials and the nanocomposite material. The Raman spectra of TiO<sub>2</sub> correspond to previous

work. The Raman spectra of rGO also have characteristic peaks for graphene and its derivatives. These are the D- and G-peaks, which characterize the defect and crystallization of the material. In the Raman spectra, as can be seen from the figure, there are peaks of the source materials.

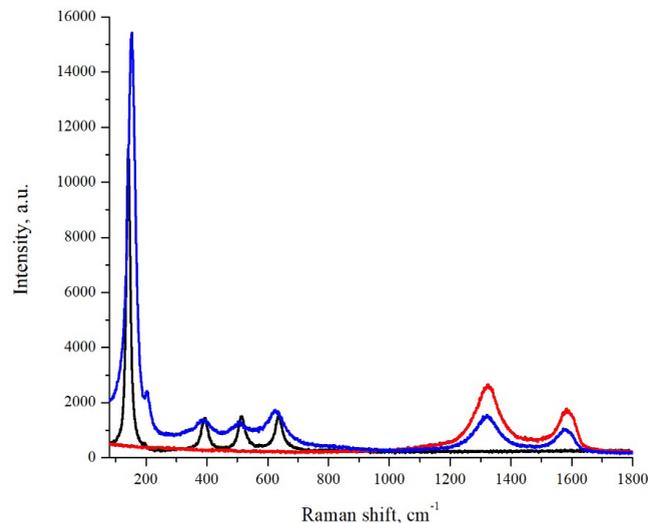


Figure 2 – Raman shift samples: dark – TiO<sub>2</sub>,  
red – rGO, blue – TiO<sub>2</sub>-rGO

Thus, the formation of a TiO<sub>2</sub>-rGO nanocomposite material can be observed using the Raman spectrum.

### Conclusions

A study of the effect of reduced graphene oxide on the structural properties of titanium dioxide has shown that rGO significantly improves the photocatalytic, photodetectable, optical, and other functional characteristics of TiO<sub>2</sub>. This approach has great potential in creating highly efficient materials for environmental, energy, and sensor applications.

### REFERENCES

- 1 Ren L., Tian T., Li Y., Huang J., Zhao X. High-performance UV photodetection of unique ZnO nanowires from zinc carbonate hydroxide nanobelts // ACS Appl. Mater. Interfaces – 2013. – 5. – P. 5861–5867.
- 2 Reddy Y. A. K., Ajitha B., Sreedhar A., Varrla E. Enhanced UV photodetector performance in bi-layer TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> sputtered films // Appl. Surf. Sci. – 2019. – 494. – P. 575–582.
- 3 Yamada N., Kondo Y., Cao X., Nakano Y. Visible-blind wide-dynamic-range fast-response self-powered ultraviolet photodetector based on CuI/In-Ga-Zn-O heterojunction // Appl. Mater. Today – 2019. – 15. – P. 153–162.
- 4 Yadav P. V. K., Reddy Y. A. K., Ajitha B., Minnam Reddy V. R. Oxygen partial pressure dependent UV photodetector performance of WO<sub>3</sub> sputtered thin films // J. Alloys Compd. – 2019. – 816. – P. 152565.
- 5 Yadav P. V. K., Ajitha B., Reddy Y. A. K., Minnam Reddy V. R., Reddeppa M., Kim M. D. Effect of sputter pressure on UV photodetector performance of WO<sub>3</sub> thin films // Appl. Surf. Sci. – 2021. – 536. – 147947.
- 6 W. Fan, Q. Lai, Q. Zhang, Ye. Wang. Nanocomposites of TiO<sub>2</sub> and Reduced Graphene Oxide as Efficient Photocatalysts for Hydrogen Evolution, J. Phys. Chem.: C. 115. – 2011. – P. 10694–10701.
- 7 K. Lv, Sh. Fang, L. Si, Y. Xia, W. Ho, M. Li. Fabrication of TiO<sub>2</sub> nanorod assembly grafted rGO (rGO@TiO<sub>2</sub>-NR) hybridized flake-like photocatalyst, Appl. Surf. Sci. 391. – 2017. – P. 218–227.
- 8 V. Swamy, A. Kuznetsov, L.S. Dubrovinsky, R.A. Caruso, D.G. Shchukin, B.C. Muddle. Finite-size and pressure effects on the Raman spectrum of nanocrystalline anatase TiO<sub>2</sub>, Phys. Rev. B 71. – 2005. – 184302-12.
- 9 Y. Zhang, Z-R. Tang, X. Fu, Y. Xu TiO<sub>2</sub>-Graphene Nanocomposites for Gas-Phase Photocatalytic Degradation of Volatile Aromatic Pollutant: Is TiO<sub>2</sub>-Graphene Truly Different from Other TiO<sub>2</sub>-Carbon Composite Materials? ACS Nano 4. – 2010. – P. 7303–7314.
- 10 Y. Xu, H. Bai, G. Lu, C. Li, G. Shi. Flexible graphene films via the filtration of water-soluble noncovalent functionalized graphene sheets, J. Am. Chem. Soc. 130. – 2008. – P. 5856–5857.
- 11 Phukan P. High performance UV photodetector based on metal-semiconductor-metal structure using TiO<sub>2</sub>-rGO composite / P. Phukan, P.P. Sahu // Optical Materials – 2020. – Vol. 109. – P. 110330–110339.
- 12 Dubey P. K., Tripathi P., Tiwari R. S., Sinha A. S. K., Srivastava O. N. Synthesis of reduced graphene oxide-TiO<sub>2</sub> nanoparticle composite systems and its application in hydrogen production // Int. J. Hydrogen energ. – 2014. – 39. – P.16282–16292.

13 **Ahmad H.** Infrared photodetectors based on reduced graphene oxide nanoparticles and graphene oxide / H. Ahmad, M. Tajdidzadeh, K. Thambiratnam // *Laser Phys.* – 2018. – Vol. 28. – P. 066204-1–066204-8.

14 **Serikov T. M.** Photocatalytic Activity of Nanocomposites Based on Titania Nanorods and Nanotubes Doped with Ag and Reduced Graphene Oxide Nanoparticles / T. M. Serikov, A. S. Kayumova, A. S. Baltabekov, L. F. Ilyina, P. A. Zhanbirbayeva // *Nanobiotechnology Reports.* – 2022. – Vol. 18, № 2. – P. 207–215.

15 **Ozer L.Y., Garlisi C., Oladipo H., Pagliaro M., Sharief S.A., Yusuf A., Almheiri S., Palmisano G.** Inorganic Semiconductors–Graphene Composites in Photo(electro)catalysis: Synthetic Strategies, Interaction Mechanisms and Applications // *J. Photochem. and Photobiol. C: Photochem. Rev.* – 2007. – 33. – P.132–164.

16 **Ibrayev N., Zhumabekov A., Ghyngazov S., Lysenko E.** Synthesis and study of the properties of nanocomposite materials TiO<sub>2</sub>-GO and TiO<sub>2</sub>-rGO. *Materials Research Express*, 2019, 6(12), P. 125036(1-11).

17 **Zhumabekov A. Zh., Ibrayev N. Kh., Seliverstova E. V.** Photoelectric properties of a nanocomposite derived from reduced graphene oxide and TiO<sub>2</sub>. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 2020, 55(6), P. 398–406.

Received 12.10.24.

Received in revised form 12.10.24.

Accepted for publication 20.12.24.

\***А. Ж. Жумабеков<sup>1</sup>, Н. А. Испулов<sup>2</sup>,**

**Б. Ш. Исимова<sup>3</sup>, А. А. Кисабекова<sup>4</sup>, Н. Ж. Жуспекова<sup>5</sup>**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

12.10.24 ж. баспаға түсті.

12.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

20.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ҚАЛПЫНА КЕЛТІРІЛГЕН ГРАФЕН ОКСИДІНІҢ ТИТАН ДИОКСИДІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Аталмыш жұмыс қалпына келтірілген графен оксидінің (rGO) титан диоксидінің (TiO<sub>2</sub>) құрылымдық және физика-химиялық қасиеттеріне әсерін зерттейді. RGO-ны TiO<sub>2</sub> модификаторы ретінде пайдалану оның фотокаталитикалық белсенділігін арттыру,*

*сондай-ақ механикалық және электрлік өнімділігін жақсарту үшін өте маңызды. Зерттеу барысында сканерлеуші электронды микроскопия мен атомдық күш микроскопиясының көмегімен құрылымдық талдаудан өткен әр түрлі тотықсыздандырылған графен концентрациясындағы TiO<sub>2</sub>/rGO нанокөмпазиттері алынды. Нәтижелер rGO қосылуы TiO<sub>2</sub> кристалдық құрылымының өзгеруіне ықпал ететінін, сонымен қатар оның кеуектілігі мен беті сияқты текстуралық сипаттамаларын жақсартатынын көрсетті. RGO концентрациясының нанокөмпазиттердің қасиеттеріне әсері де зерттелді, бұл TiO<sub>2</sub> фотокаталитикалық белсенділігін арттыру үшін оңтайлы қатынасты анықтауға мүмкіндік берді. Қосымша спектроскопиялық зерттеулер жүргізілді, бұл rGO қосылған кезде tio<sub>2</sub> өткізгіштік қасиеттері мен тұрақтылығының жақсарғанын растады. Нәтижелер суды тазарту, күн энергиясы және сенсорлар саласында қолданылатын функционалдық қасиеттері жақсартылған жоғары тиімді TiO<sub>2</sub> негізіндегі материалдарды әзірлеуге перспективалар береді.*

*Кілтті сөздер: қалпына келтірілген графен оксиді, титан диоксиді, нанокөмпазиттік материал, фотокатализ, фотодетектор.*

\***А. Ж. Жумабеков<sup>1</sup>, Н. А. Испулов<sup>2</sup>, Б. Ш. Исимова<sup>3</sup>,**

**А. А. Кисабекова<sup>4</sup>, Н. Ж. Жуспекова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,5</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>4</sup>Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлана,

Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 12.10.24.

Поступило с исправлениями 12.10.24.

Принято в печать 20.12.2024.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА

*В данной работе исследуется влияние восстановленного оксида графена (rGO) на структурные и физико-химические свойства диоксида титана (TiO<sub>2</sub>). Использование rGO в качестве модификатора TiO<sub>2</sub> имеет важное значение для повышения его фотокаталитической активности, а также улучшения механических и электрических характеристик. В ходе исследования*

были получены нанокмозиты  $TiO_2/rGO$  различной концентрации восстановленного графена, которые подвергались структурному анализу с использованием сканирующей электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии. Результаты показали, что добавление  $rGO$  способствует изменению кристаллической структуры  $TiO_2$ , а также улучшает его текстурные характеристики, такие как пористость и поверхность. Влияние концентрации  $rGO$  на свойства нанокмозитов было также изучено, что позволило выделить оптимальное соотношение для повышения фотокаталитической активности  $TiO_2$ . Дополнительно проведены спектроскопические исследования, подтвердившие улучшение проводящих свойств и стабильности  $TiO_2$  при добавлении  $rGO$ . Полученные результаты открывают перспективы для разработки высокоэффективных материалов на основе  $TiO_2$  с улучшенными функциональными свойствами, применяемых в области очистки воды, солнечной энергии и сенсоров.

Ключевые слова: восстановленный оксид графена, диоксид титана, нанокмозитный материал, фотокатализ, фотодетектор.

FTAMP 29.01.05

<https://doi.org/10.48081/SRYA8909>

**Т. Б. Қоштыбаев<sup>1</sup>, \*А. А. Айдарбекова<sup>2</sup>,  
А. М. Татенов<sup>3</sup>, М. Е. Алиева<sup>4</sup>,**

<sup>1,2,3</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>4</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9224-8542>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

\*e-mail: [aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz](mailto:aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz)

## **ҚОЗҒАЛЫС ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ**

Мақалада механикалық қозғалыстардың кинематикалық теориясы арифметикалық прогрессия (немесе сызықтық функция) мен квадраттық функция (теңдеу) заңдылықтары негізінде жасалғандығы дәлелденген. Бірқалыпты өзгеретін шамалар мен оларды өзгертуші шамалар арасындағы тура және кері байланыстар формулалар, қозғалыс теңдеулері, тәуелділік графиктері, пропорциялық қатынастар арқылы көрсетілген. Бірқалыпты өзгерістің үдемелі өзгеріске ауысуы сызықтық функцияның квадраттық теңдеуге оту сипатында қарастырылған. Арифметикалық прогрессияның формуласындағы, сызықтық функция мен квадраттық теңдеудегі айнымалыларды уақыт айнымалысымен, өзгеретін және өзгертуші параметрлерді координатамен, прогрессия жылдамдығымен, прогрессия үдеуімен алмастыру арқылы механикалық қозғалыстардың заңдылықтарын алуға болатындығы сандық есептеулер түрінде көрсетілген. Прогрессия жылдамдығы мен үдеуінің дифференциалдық мағыналары туралы баяндалған және оларды сызықтық тәуелділіктің көлбеулік бұрыштары арқылы анықтау жолдары ұсынылған. Прогрессия жылдамдығын бірқалыпты өзгерту арқылы координата прогрессиясын бұзу жағдайы кеңістік пен уақыттың үйлесімді заңдылықтары бойынша сипатталған. Механикалық шамалардың

(координатаның, жылдамдықтың, орын ауыстырулардың) уақыт бойынша өзгерістерін (қозғалыс теңдеулерін) сызықтық және сызықтық емес функциялар ретінде қарау, осы шамаларды графикалық және физикалық тұрғыда бағалау арқылы бірқалыпты және бірқалыпсыз қозғалыстардың математикалық (теориялық) негіздемесі берілген. Барлық теориялық есептеулер сандық жүйеде жүргізілген.

*Кілтті сөздер:* прогрессия, сызықтық және квадраттық теңдеулер, координата, жылдамдық, үдеу, уақыт, айнымалылар.

### Кіріспе

Тіршілікте кездесетін өзгермелі процеске қатысты бір шаманың (параметрдің) бірқалыпты өзгеру сипаты арифметикалық прогрессия заңдылығына бағындырылған. Прогрессия латынның progressio – алға қарай қозғалыс деген сөзі. Қандай да бір өзгермелі құбылысқа қатысы бар  $a$  деген шаманың (параметрдің)  $a_1, a_2, a_3, \dots$  тізбектес мәндері бір-бірінен  $d$  -ға үлкен ( $a_1 < a_2 < a_3, \dots$ ) немесе бір-бірінен  $d$  -ға кіші ( $a_1 > a_2 > a_3, \dots$ ) болса, онда  $a_1, a_2, a_3, \dots$  тізбегі  $A$  -ның өспелі немесе кемімелі арифметикалық прогрессиясы деп аталады. Байқап отырғанымыздай, бірқалыпты өзгеруші ретінде  $a$  болса, оны бірқалыпты өзгертуші рөлінде  $d$  болып отыр.  $A$  -ның  $a_1, a_2, a_3, \dots$  мәндері  $n = 1, 2, 3, \dots$  арқылы реттеледі, яғни  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$ .

Материялық денелердің механикалық қозғалыстарына арналған кинематикалық және динамикалық теорияларда механикалық шамалар екі топқа бөлінген: бірінші топтағылар – уақыт бойынша бірқалыпты өзгерушілер, ал екінші топтағылар – бірқалыпты өзгертушілер. Өзгертушілер тобындағы шамалар өзгеріс темпіне жауап береді, сол үшін өзгеріс жылдамдықтары деп те аталып кеткен. Бірқалыпты өзгеретін шама мен өзгертушінің өлшемдері (табиғаты) бір болғанымен, өзгеріс жылдамдығының (өзгертуші шаманың)  $c^{-1}$ -ге өзгешелігі бар. Мысалы, мәндері бірқалыпты өзгеретін шаманың өлшемін  $A$  деп алсақ, онда өзгертуші шаманың өлшемі  $\frac{A}{c}$  болады.

**С** Ньютон механикасындағы шамалардың өзара байланысы формулар, теңдеулер мен графиктер көмегімен жүзеге асады және уақыт айнымалысы арқылы реттеледі. Қозғалыс теңдеулеріндегі уақыт айнымалысының дәрежесіне қарап шаманың өзгеріс сипатын бағалауға болады: теңдеуде уақыт айнымалысы болмаса (нөлінші дәреже), онда шаманың мәні өзгермейді деген сөз (тұрақты функция); теңдеуде уақыттың бірінші дәрежесі ғана болса

[1; 2], онда бұл теңдеу белгілі бір шаманың бірқалыпты өзгерісін сипаттайды (прогрессия заңдылығы немесе сызықтық функция), шаманың уақытқа бағыныштылық графигі түзу сызық болады. Осы себептен айнымалының бірінші дәрежесіндегі теңдеу сызықтық теңдеу немесе прогрессия формуласы деп аталады. Ал егер теңдеуге уақыт айнымалысының екінші дәрежесі қатысса (квадраттық теңдеу), онда бұл теңдеу өзгеруші шаманың мәндері жеделдеп (үдемелі түрде) өзгеріп жатқандығын білдіреді, оның уақытқа тәуелділігі – парабола (қисық сызық). Олай болса, Ньютон механикасын тіршіліктегі бірқалыпты өзгерістердің прогрессия заңдылығы арқылы іске асатындығының көрнекті мысалы деп қабылдауға болады.

### Материалдар мен әдістері

Мақаланың негізгі материалы – қозғалыстардың кинематикалық және динамикалық теориялары, ал зерттеу әдістері ретінде механикалық шамалар арасындағы пропорциялық тәуелділік пен арифметикалық прогрессия заңдылықтары алынды. Осылайша кинематикалық және динамикалық теориялардың негізгі тұжырымдамалары басқа қырынан қарастырылып, олардың иеялық мазмұны математикалық аппарат арқала негізделді. Кинематика мен динамика арасындағы тұтастық концепциясы белгіленіп, математикалық бірізділік қағидасы бойынша жүйелі заңдылықтар арқылы нақтыланды. Зерттеу мақсаты: бірқалыпты қозғалыстан бірқалыпсыз қозғалысқа ауысу жағдайларының математикалық негіздемесін жасау. Ол үшін бірқалыпты өзгеру заңдылығы болып табылатын арифметикалық прогрессия немесе сызықтық функция тәуелділігі негізгі математикалық аппарат ретінде қолданылады. Бір шаманың қалыптылық күйінің бұзылуы өзгермей тұрған екінші бір шаманың бірқалыпты өзгерісіне алып келеді деген идея төңірегінде құрылған механикалық модель бойынша қойылған мақсат іске асырылады.

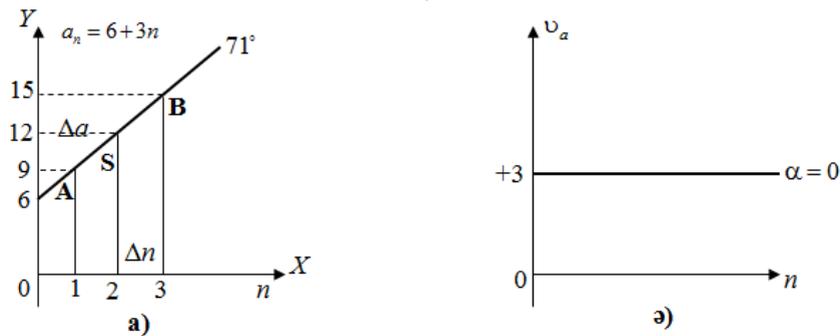
### Нәтижелер және талқылау

Арифметикалық прогрессия.  $a_n = a_0 + dn = a_0 + v_a n$  түрдегі прогрессияның нақты түрі  $a_n = 6 + 3n$  болсын.  $n$ -нің 1, 2, 3, ... мәндері үшін прогрессия сипаты мынадай болады:  $a_0 = 6, \dots a_1 = 9, \dots a_2 = 12, \dots a_3 = 15, \dots a_n = 6 + 3n$ . Бұл жерде  $d = v_a = a' = +3$  ( $a_1 - a_0 = 9 - 6 = 3$ ) болғандықтан прогрессия – өспелі. 2-суретте сандардың өсу жылдамдығы тұрақты екендігі көрсетілген. 5-суреттегі түзудің көлбеулік бұрышы:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta a}{\Delta n} = \frac{a_3 - a_1}{3 - 1} = \frac{(15 - 9)}{3 - 1} = \frac{6}{2} = 3,$$

осыдан  $\alpha = \operatorname{arctg} 3 = 1,249 \operatorname{rad} = 1,249 \cdot 57,3^\circ = 71,57^\circ$ .

1-суреттегі АВ аралығын (S кесіндінің ұзындығы) анықтайық (латынның Segmentum – кесінді деген сөзі):  $S^2 = (\Delta a)^2 + (\Delta n)^2$ , осыдан  $S = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta n)^2} = \sqrt{6^2 + 2^2} = \sqrt{40} \approx 6,3$ .



Сурет 1 – а) арифметикалық прогрессияның көрінісі;  
б) прогрессия жылдамдығының тұрақтылығы

Егер  $\Delta a$ -ны  $S$  кесіндінің  $Y$  өсі жағынан қарағандағы ұзындығы ( $\Delta a = S_y$ ), ал  $\Delta n$ -ді  $S$  кесіндінің  $X$  өсі жағынан қарағандағы ұзындығы ( $\Delta n = S_x$ ) деп алсақ, онда осы шамаларды бағалау үшін және оларды өзара салыстыру үшін тригонометрия элементтері қолданылады. «Тригонометрия» сөзіндегі «три» деп  $S$ ,  $S_x$ ,  $S_y$  шамалары айтады, ал «гон» сөзі ежелгі грек тілінде бұрыш дегенді білдіреді. Олай болса, тригонометрия деп  $S$ ,  $S_x$ ,  $S_y$  шамаларын бұрыш арқылы бағалау немесе оларды бұрыш арқылы байланыстыру деген сөз.

Ал егер  $S_y$ -ті  $S_x$ -пен салыстыру қажет болса, онда оның нәтижесі  $\alpha$  бұрышының тангенсі деп айтылады:  $\frac{S_y}{S_x} = \text{tg} \alpha$  немесе [3; 4]

$$\text{tg} \alpha = \frac{\Delta a}{\Delta n} = \frac{S_y}{S_x} = \frac{6}{2} = 3$$

осыдан  $\alpha = \arctg 3 = 1,249 \text{ rad} = 1,249 \cdot 57,3^\circ = 71,57^\circ$ . Олай болса,  $\frac{S_y}{S_x} = \text{tg} \alpha$  қатынасынан  $S_y$  шамасы  $S_x$ -тен 3 есе үлкен:

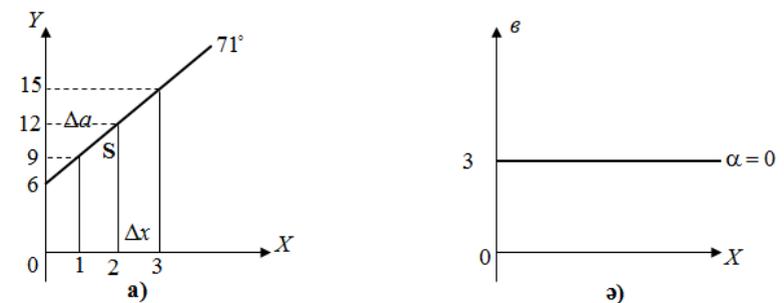
$$S_y = (\text{tg} \alpha) S_x \text{ немесе } S_y = 3 S_x. S^2 = (\Delta a)^2 + (\Delta n)^2 \text{ теңдігін}$$

$S^2 = (S_y)^2 + (S_x)^2$  түрінде жазып алып, теңдіктің екі жағын да  $S^2$  – қа бөлсек:  $1 = \left(\frac{S_y}{S}\right)^2 + \left(\frac{S_x}{S}\right)^2$  немесе  $1 = (\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha)^2$ . Жоғарыда  $\sin \alpha = 0,95$  және  $\cos \alpha = 0,32$  болған. Олай болса:  $1 = (0,95)^2 + (0,32)^2 = 0,9025 + 0,1024 = 1,0049$ .

Сызықтық функция.  $a_n = a_0 + v_a n$  немесе  $a_n = a_0 + a' n$  прогрессия формуласынан  $y = c + vx$  түрдегі түзудің теңдеуіне немесе сызықтық функцияға ауысуға болады. Жоғарыда  $a_n = a_0 + v_a n$  немесе  $a_n = a_0 + a' n$  формулаларын  $a_n = 6 + 3n$  деп алған болатынбыз. Олай болса,  $y = c + vx$ -тің орнына да  $y = 6 + 3x$  теңдеуін алайық (бұл жерде  $c = 6$ ,  $a' = 3$ ).  $y = 6 + 3x$  теңдеуінде  $3 = \text{tg} \alpha$ . Ал егер 3-тің орнында нөл болса ( $a' = 0$ ), онда  $y = 6 + 0 \cdot x = 6$ , онда  $\text{tg} 0 = 0$ , сәйкес  $\alpha = 0$ . Олай болса,  $\alpha$ -ның тек бір ғана мәні болады да прогрессия орындалмайды.  $y = 6 + 3x$  теңдеуінде  $x$ -нің 1, 2, 3, ... мәндері үшін прогрессия сипаты мынадай болады:  $y_0 = 6$ ,  $y_1 = 9$ ,  $y_2 = 12$ ,  $y_3 = 15$ , ...,  $y_x = 6 + 3x$ . Бұл жерде  $d = v_x = y' = +3$  болғандықтан прогрессия – өспелі. 2, б-суретте сандардың өсу жылдамдығы тұрақты екендігі көрсетілген. 2, а-суреттегі түзудің көлбеулік бұрышы анықтаймыз:

$$\text{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(15-9)}{3-1} = \frac{6}{2} = 3$$

осыдан  $\alpha = \arctg 3 = 1,249 \text{ rad} = 1,249 \cdot 57,3^\circ = 71,57^\circ$ .



Сурет 2 – а) сызықтық функцияның көрінісі; б) сызықтық функцияның бұрыштық коэффициентінің тұрақтылығы

2, а-суреттегі А1 (1;9) және В1 (3;15) нүктелердің аралығын (S кесіндінің ұзындығы) анықтайық:  $S^2 = (\Delta y)^2 + (\Delta x)^2$ , осыдан:  $S = \sqrt{(\Delta y)^2 + (\Delta x)^2} = \sqrt{6^2 + 2^2} = \sqrt{40} \approx 6,3$ . S кесіндінің Y осы жағынан

қарағандағы ұзындығын  $\Delta y = S_y$ ,  $S$ -ке  $X$  өсі жағынан қарағандағы ұзындығын  $\Delta x = S_x$  деп алайық.  $S_y$  -ті  $S_x$  пен салыстырайық:  $\frac{S_y}{S_x} = \operatorname{tg} \alpha$ , о с ы д а н  $\alpha = \arctg 3 = 1,249 \text{ rad} = 1,249 \cdot 57,3^\circ = 71,57^\circ$ . О л а й болса,  $\frac{S_y}{S_x} = \operatorname{tg} \alpha$  қатынасынан  $S_y$  шамасы  $S_x$ -тен 3 есе үлкен:  $S_y = (\operatorname{tg} \alpha) S_x$  немесе  $S_y = 3 S_x$ .  $S^2 = (S_y)^2 + (S_x)^2$  теңдігінің екі жағын  $S^2$ -қа бөлейік:  $1 = \left(\frac{S_y}{S}\right)^2 + \left(\frac{S_x}{S}\right)^2$  немесе  $1 = (\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha)^2$ .

Осыған жоғарыда берілген  $\sin \alpha = 0,95$  және  $\cos \alpha = 0,32$  мәндерін қойсақ  $1 = (0,95)^2 + (0,32)^2 = 0,9025 + 0,1024 = 1,0049$ . Сонымен,  $y = 6 + 3x$  теңдеуінің 2, а-суреттегідей графигін салудың мынадай тәсілін ұсынуға болады:  $x$ -тің 1-дәрежеде тұрғаны бойынша график түрі түзу сызық болады, яғни  $y$ -тің мәндері арифметикалық прогрессия бойынша бірқалыпты өседі; «6» цифрына қарап түзу  $Y$  осының 6 деген жерінен басталады; «+» белгісі бойынша түзу жоғары қарай көтеріледі; «3» цифрына қарап түзудің көлбеулік бұрышы  $\arctg 3$ -ке тең [5; 6].

Сызықтық теңдеуден параболалық теңдеуге өту.  $y = c + vx + ax^2$  функциясы үшін  $c = 6$ ,  $v = 3$ ,  $a = 4$  белгілеулерін таңдап алып нақты  $y = 6 + 3x + 4x^2$  функцияға ауысайық. Жоғарыда айтылғандай, ең басында  $\hat{a}, \hat{a} = 0$  шарты үшін тек  $y = 6$  тұрақты функциясы ғана болған деп алайық. 3-суреттен байқап отырғандай,  $x$ -тің 0, 1, 2, 3 мәндері үшін  $y = 6$  функциясы өзгермейді.

$y = 6$ -ға  $\hat{a} = 3$ -ті қоссақ, онда  $y = 6 + 3x$  түрдегі сызықтық функция пайда болып  $x$  - тің келесі 3, 4, 5, 6, 7 мәндері үшін  $y$ -тің бір-бірінен 3-ке үлкен болатын 6, 9, 12, 15, 18 мәндерінің арифметикалық прогрессиясы шығады ( $y = 6 + 3x$  функциясындағы  $x$ -ке 3, 4, 5, 6, 7 цифрларын емес 0, 1, 2, 3, 4 қою керек).  $x$ -тің келесі 3, 4, 5, 6, 7 мәндерінде  $y = 6 + 3x$  прогрессиясының (сызықтық теңдеудің)  $v_x = 3$  өзгеру жылдамдығы немесе  $y$ -тің 6, 9, 12, 15, 18 мәндерінің аралары (сызықтық теңдеудің  $\hat{a} = 3$  д - бұрыштық коэффициенті) тұрақты.

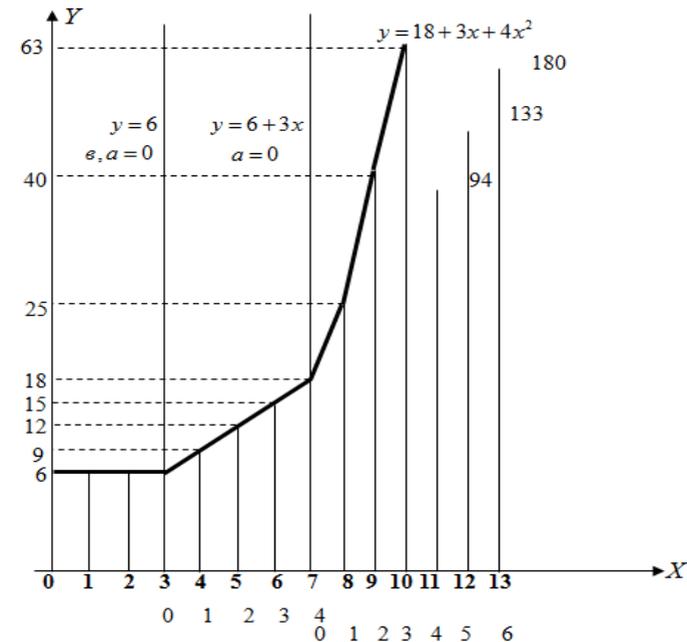
1-кесте мен 3-суретте  $x$ -тің мәндерінің  $\Delta x = 7 - 3 = 4$  аралығындағы өзгерісіне  $y$ -тің мәндерінің  $\Delta y = 18 - 6 = 12$  аралығындағы өзгерісі сәйкес келеді.

Кесте 1 – Сызықтық функцияның мәндерінің прогрессияға бағыныштылығы

$x$ -тің жалпы үзіліссіз мәндері, $\Delta x = 4$	$x = 3$	$x = 4$	$x = 5$	$x = 6$	$x = 7$
$x$ -тің жұмыстық мәндері, $\Delta x = 4$	$x = 0$	$x = 1$	$x = 2$	$x = 3$	$x = 4$
$y$ -тің мәндері	6	9	12	15	18
$y$ -тің мәндерінің аралары	3		3		3

$\Delta y$ -ті ұзындығы 12-ге тең болатын кесінді деп те қарауға болады.  $x$ -тің  $\Delta x = 4$  аралығындағы  $y$ -тің 6, 9, 12, 15, 18 мәндерінің арасы 3-ке тең болғандықтан сегменттің ұзындығы осы 3-тердің қосындысына тең:  $\Delta y = S = 3 + 3 + 3 + 3 = 12$  немесе  $\Delta x = 4$  болатындығын ескергенде:  $\Delta y = S = (\Delta x) \cdot v$  Бұл жерде  $v_x = 3$ , олай болса

$$S = 3 \cdot (\Delta x) = 3 \cdot 4 = 12 \quad (1)$$



Сурет 3 – Тұрақты функциядан сызықты функцияға, сызықты функциядан квадраттық функцияға ауысу көрінісі

Бұл жерде  $S$  белгілеуі Segmentum немесе Summation ұғымдарына сәйкес келеді. Ал егер  $y = 6 + 3x$  функциясына  $x$ -тің келесі 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 мәндері үшін  $a = 4$  параметрін қоссақ, онда  $y$ -тің мәндерінің  $y = 6 + 3x$  прогрессиясы бұзылып  $y$ -тің аралары әртүрлі болатын 18, 25, 40, 63, 94, 133, 180 мәндерін беретін  $y = 18 + 3x + 4x^2$  функциясын аламыз (сурет 3). Бұл жағдайда да  $y = 18 + 3x + 4x^2$  функциясындағы  $x$ -ке 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 цифрларды емес 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 цифрлары қойылады.

Ескерту:  $y = 6$ ,  $y = 6 + 3x$  және  $y = 18 + 3x + 4x^2$  функцияларының графиктері бір ғана декарттық координаталар жүйесінде (жазықтықта) салынып жатқандықтан  $x$ -тің мәндері жалпы үзіліссіз мәндер және жұмыстық мәндер болып бөлінген. Үзіліссіздік мәндер үш функция үшін жалғасып кете беретін мәндер болса, жұмыстық мәндер деп үш функцияның графиктерін бөлек-бөлек салған жағдайға арналған [7;8;9;10].

2-кестеде  $x$ -тің 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 мәндеріне сәйкес келетін  $y$ -тің аралары 7, 15, 23, 31, 39, 47 болатын 18, 25, 40, 63, 94, 133, 180 мәндері және 7, 15, 23, 31, 39, 47 мәндердің аралары  $a_1 = 8 = 2 \cdot a = 2 \cdot 4$  болатын үдеуге тең екендігі көрсетілген.

Кесте 2 – Сызықты функцияның параболалық сипатқа ауысуы

$x$ -тің жалпы үзіліссіз мәндері, ( $\Delta x = 6$ )	$x = 7$	$x = 8$	$x = 9$	$x = 10$	$x = 11$	$x = 12$	$x = 13$
$x$ -тің жұмыстық мәндері ( $\Delta x = 6$ )	$x = 0$	$x = 1$	$x = 2$	$x = 3$	$x = 4$	$x = 5$	$x = 6$
$y$ -тің мәндері	18	25	40	63	94	133	180
$y$ -тің мәндерінің аралары							
$y$ -тің мәндерінің аралықтарының аралығы							

Бұл жерде  $y = 18 + 3x + 4x^2$  функциясындағы  $a = 4$  параметрі  $a_1$ -дің жартысына тең болады екен:  $a = \frac{a_1}{2} = \frac{8}{2} = 4$ . Олай болса,  $y = 18 + 3x + 4x^2$  функциясы  $y = 18 + 3x + \frac{8}{2}x^2$  түрде жазылады екен. 2-кестеден байқап отырғанымыздай,  $y$ -тің 18, 25, 40, 63, 94, 133, 180 мәндерінің 7, 15, 23, 31, 39, 47 аралары бір-бірінен  $a_1 = 8$  үдеуге үлкен болатын арифметикалық прогрессия құрайды екен

$$A = v + 1 \frac{a_1}{2} = 3 + (1 \cdot 4) = 7, \quad B = 7 + 8 = 3 + (3 \cdot 4) = 15;$$

$$C = 15 + 8 = 3 + (5 \cdot 4) = 23, \quad D = 23 + 8 = 3 + (7 \cdot 4) = 31;$$

$$E = 31 + 8 = 3 + (9 \cdot 4) = 39; \quad K = 39 + 8 = 3 + (11 \cdot 4) = 47.$$

Осы келтірілген прогрессияның жалпы формуласы мынадай болады  $dy_n = v + (2n - 1) \frac{a_1}{2} = 3 + (2n - 1) \cdot 4, \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  (2)

(2) теңдігінде  $n = 1$  болғанда  $A = v + 1 \frac{a_1}{2} = 3 + (1 \cdot 4) = 7$ , ал  $n = 2$  болғанда  $B = 7 + 8 = 3 + (3 \cdot 4) = 15$  шығады және осылай жалғаса береді.

2-кесте мен 3-суреттегі  $x$ -тің  $\Delta x = 13 - 7 = 6$  аралығындағы мәндеріне  $y$ -тің 18, 25, 40, 63, 94, 133, 180 мәндерінің  $\Delta y = 180 - 18 = 162$ -ге тең болатын аралығы сәйкес келеді.

$\Delta y$  -ті ұзындығы 162 болатын кесінді деп алсақ, онда  $\Delta x = 6$  аралығындағы мәндеріне сәйкес келетін  $y$ -тің мәндерінің арасы 7, 15, 23, 31, 39, 47 болғандықтан,  $\Delta y$  сегменттің ұзындығын осы аралықтардың қосындысы түрінде анықтауға болады [11;12;13]

$$S = 7 + 15 + 23 + 31 + 39 + 47 = 6 \cdot 3 + 36 \cdot 4 = 6 \cdot 3 + 4 \cdot 6^2 = 162 \quad (3)$$

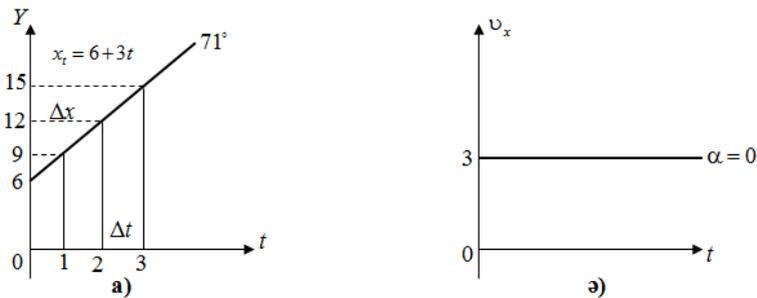
1-кестеде көрсетілгендей  $x$ -тің 3, 4, 5, 6, 7 мәндеріне сәйкес келетін  $y$ -тің 6, 9, 12, 15, 18 мәндерінің (қатарының) өзгеру жылдамдығы болып табылатын  $v_y = 3$  шамасы  $x$ -тің келесі 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 мәндерінде прогрессияға түсе бастайды, яғни  $x$ -тің 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 мәндері үшін бір-бірінен  $a_1 = 8$  үдеуге артық болатын  $v_y = 3, v_1 = 11, v_2 = 19, v_3 = 27, v_4 = 35, v_5 = 43, v_6 = 51$  мәндерге ие болады. Осы жылдамдықтар прогрессиясының жалпы формуласы

$$v_{\Delta x} = v_y + a_1(\Delta x) = v + a_1(\Delta x) = 3 + 8 \cdot (\Delta x). \quad (4)$$

Сызықтық функциядан қозғалыс теңдеулеріне өту.  $a_n = a_0 + v_a n$  немесе  $a_n = a_0 + a'n$  прогрессия формуласынан  $y = c + vx$  түрдегі түзудің теңдеуіне немесе сызықтық функцияға ауысуға болатындығы айтылды. Жоғарыда  $a_n = a_0 + v_a n$  немесе  $a_n = a_0 + a'n$  формулаларын нақты түрде  $a_n = 6 + 3n$  деп алған болатынбыз. Осыған байланысты  $y = c + vx - T1$  де

$y = 6 + 3x$  түрде қарастырған болатынбыз. Олай болса,  $x_t = x_0 + v_x t$  теңдеуінің нақты түрін де  $x_t = 6 + 3t$  болсын.  $x_t = 6 + 3t$  теңдеуінде  $3 = \operatorname{tg} \alpha$ ,  $v_x = 3$  м/с,  $\alpha = 71^\circ$ . Ал егер 3-тің орнында нөл болса ( $v_x = 0$ ), онда  $x_t = 6 + 3t = 6 + 0 \cdot t = 6$ , онда  $\operatorname{tg} 0 = 0$ , сәйкес  $\alpha = 0$ . Олай болса, координатаның уақытқа байланысты тек бір ғана мәні болады. Бұл жағдай дененің санақ басынан ( $x = 0$ )  $x_0 = 6$  м қашықтықта тыныштықта тұрғандығына сәйкес келеді. Уақыт қосылғанымен ( $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) дененің орны өзгермейді.

$x_t = 6 + 3t$  теңдеуінде уақыттың 0, 1, 2, 3, ... секунд мәндері үшін прогрессия сипаты 4, а-суретке сәйкес мынадай болады:  $x_0 = 6$  М,  $x_1 = 9$  М,  $x_2 = 12$  М,  $x_3 = 15$  М, ...,  $x_t = 6 + 3t$ . Бұл жерде  $d = v_x = x' = +3$  болғандықтан прогрессия – өспелі. 4, ә-суретте координаталардың өсу жылдамдығы тұрақты екендігі көрсетілген, яғни координаталар прогрессия заңдылығы бойынша артуы үшін олардың әрбір секунд сайынғы көбею шамасы тұрақты болуы тиіс.



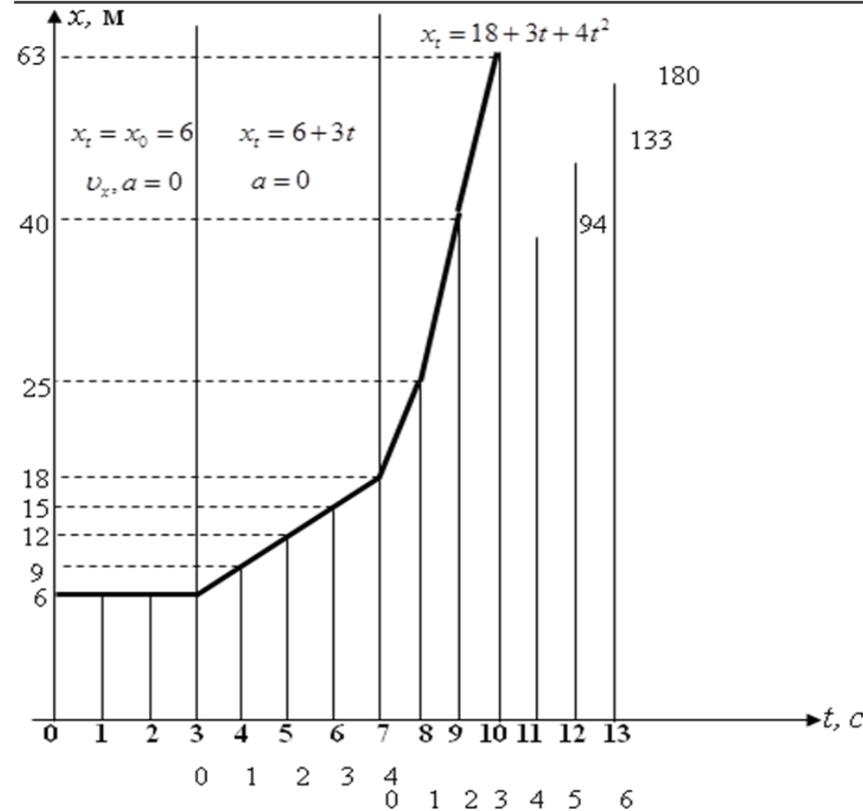
Сурет 4 – а) нақты түрде берілген сызықты функцияның көрінісі;  
ә) нақты түрде берілген сызықты функцияның бұрыштық коэффициентінің тұрақтылығы

Біздің жағдайымызда дененің координатасы секунд сайын 3 м/с-ке көбеюде, осы жағдай 4, ә-суретте көрсетілген. 4, а-суреттегі түзудің көлбеулік бұрышын анықтаймыз  $\operatorname{tg} \alpha = v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(15-9) \text{ м}}{3-1 \text{ с}} = \frac{6 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , осыдан  $\alpha = \operatorname{arctg} 3 = 1,249 \text{ rad} = 1,249 \cdot 57,3^\circ = 71,57^\circ$ .

Координатаның үдемелі түрде өзгеру заңдылығы. Жалпы түрде берілген координата мәндерінің  $x_t = x_0 + v_x t + at^2$  түрдегі үдеу заңдылығындағы шамалардың мәндері  $x_0 = 6$  М,  $v_x = 3$  М/с,  $a = 4$  болсын деп

алайық. Сонда, дене координаталардың үдемелі түрде артуына жауапты теңдеу  $x_t = 6 + 3t + 4t^2$  болады. Алғашқыда бұл теңдеуде  $v_0, a = 0$  шарты үшін тек  $x_t = x_0 = 6$  м тұрақты функциясы ғана болған (сурет 5).

5-суреттен байқап отырғанымыздай, бұл жағдай дененің қозғалмай тұрған механикалық күйіне сәйкес келеді. Тыныштықта тұрған дененің координатасы өзгермейтін болғандықтан, секундомерді 3 секундқа қосқанымызбен дененің  $x_0 = 6$  М (санақ басынан ( $x = 0$ )) 6 метрде тұрған орны өзгермейді.  $x_t = x_0 = 6$  М  $v_x = 3$  м/с-ті қоссақ, онда дененің бастапқы  $x_0 = 6$  М орны секунд сайын 3 метрге көбейе бастайда, яғни координаталар  $x_t = 6 + 3t$  заңдылығы бойынша өспелі прогрессия құрайды. 5-суретте бұл жағдайға секундомердің кейінгі 4 секунд (3-7 с аралығы) көрсетуі сәйкес келеді:  $t$ -ның 3, 4, 5, 6, 7 секунд мәндері үшін координатаның бір-бірінен 3-ке үлкен болатын 6 м, 9 м, 12 м, 15 м, 18 м мәндері арифметикалық прогрессия заңы бойынша артып отыр. Ол үшін  $x_t = 6 + 3t$  теңдеуіне уақыттың 3, 4, 5, 6, 7 секунд мәндерін емес 0, 1, 2, 3, 4 секундтарды қою керек.



Сурет 5 – Нақты түрде берілген тұрақты, сызықтық, параболалық функциялардың көрінісі

Бұл жерде өзгеруші шама координата болса, өзгертуші шама жылдамдық болып отыр және де өзгеруші шаманың өлшемі метр болса, өзгертушінің өлшемі 1/с-ке айырмашылығы бар, себебі координатаның мәні әрбір секунд сайын  $v_x$ -ке көбейеді. 3-кестеде уақыттың  $\Delta t = 7 - 3 = 4$  секунд аралығына координатаның  $\Delta x = 18 - 6 = 12$  метр өзгерісі сәйкес келеді.  $\Delta \delta$ -ті ұзындығы 12 метрге тең болатын кесінді деп те қарасақ, онда осы сегменттің ұзындығын (дененің 4 с ішіндегі орын ауыстырған қашықтығын) 6 м, 9 м, 12 м, 15 м, 18 м мәндердің аралығы болып табылатын 3 м/с-дің қосындысы арқылы табуға болады:

$$\Delta x = S = 3 \text{ м/с} + 3 \text{ м/с} + 3 \text{ м/с} + 3 \text{ м/с} = 3 \text{ м/с} (1 \text{ с} + 1 \text{ с} + 1 \text{ с} + 1 \text{ с}) = (3 \text{ м/с}) \cdot 4 \text{ с} = 12 \text{ м} \quad (5)$$

Олай болса, дененің кез-келген  $t$  секунд ішіндегі жасайтын орын ауыстыру қашықтығын (координаталардың өзгеру аралығынан құрылған кесіндінің ұзындығын) анықтайтын жоғарыдағы (5) заңдылығының жалпы түрі [14;15;16]

$$S_t = v_x \cdot t, \quad t = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (5a)$$

Біздің жағдайымызда  $S_t = 3t$ . Бұл жерде  $S$  белгілеуі Segmentum немесе Summation ұғымдарына сәйкес келеді.

Кесте 3 – Нақты түрде берілген сызықтық функцияның прогрессиялық сипаты.

$t$ -ның жалпы үзіліссіз мәндері ( $\Delta t = 4$ сек)	$t = 3 \text{ с}$	$t = 4 \text{ с}$	$t = 5 \text{ с}$	$t = 6 \text{ с}$	$t = 7 \text{ с}$
$t$ -ның жұмыстық мәндері ( $\Delta t = 4$ сек)	$t = 0$	$t = 1 \text{ с}$	$t = 2 \text{ с}$	$t = 3 \text{ с}$	$t = 4 \text{ с}$
$x$ -тің мәндері	$x_0 = 0 \text{ м}$	$x_1 = 9 \text{ м}$	$x_2 = 12 \text{ м}$	$x_3 = 15 \text{ м}$	$x_4 = 18 \text{ м}$
$x$ -тің мәндерінің аралары	$v_x = 3 \text{ м/с} \quad v_x = 3 \text{ м/с} \quad v_x = 3 \text{ м/с} \quad v_x = 3 \text{ м/с}$				

Координаталардың  $x_t = 6 + 3t$  заңдылығы бойынша бірқалыпты артуын үдету (жеделдету) мақсатында уақыттың келесі 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 секунд мәндерінде  $x_t = 6 + 3t$  теңдеуге  $a = 4$  параметрін қоссақ, онда координаталардың  $v_x = 3$  м/с жылдамдықпен өтетін өспелі прогрессиясы бұзылып координатаның аралықтары әртүрлі болатын 18 м, 25 м, 40 м, 63 м, 94 м, 133 м, 180 м үдемелі мәндерін беретін  $x_t = 18 + 3t + 4t^2$  квадраттық теңдеуі пайда болады. 5-суреттен байқап отырғанымыздай, уақыттың 6 секунд (13-7) өзгерісіне сәйкес келетін координатаның үдемелі 18 м, 25 м, 40 м, 63 м, 94 м, 133 м, 180 м мәндері параболомен сипатталады. Бұл жағдайда да координаталардың  $x_t = 18 + 3t + 4t^2$  түрдегі үдеу заңдылығына уақыттың 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 мәндері емес 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 секунд мәндері қойылады.

Ескерту: 5-суретте  $x_t = x_0 = 6$ -тұрақты,  $x_t = 6 + 3t$ -сызықтық және  $x_t = 18 + 3t + 4t^2$ -параболалық функциялардың графиктері бір ғана ғана жазықтықта салынып жатқандықтан  $t$ -ның мәндері жалпы үзіліссіз мәндер және жұмыстық мәндер болып бөлінген. Уақыттың үзіліссіз мәндері секундомердің қосылғаннан бастап тоқтағанға дейінгі көрсетулері, ал жұмыстық мәндер деп координаталардың үш түрлі өзгеру жағдайларының ұзақтығын айтамыз. 5-суретте дененің тыныштық күйіне уақыттың 0-3 секунд аралығы сәйкес келеді (бұл кезде дененің координатасы  $x_0 = 6$  м болатын орны өзгермейді); дененің бірқалыпты қозғалысы уақыттың (3-7) секунд мәндері аралығында өтеді, яғни координаталар  $x_t = 6 + 3t$

прогрессия заңдылығы бойынша тұрақты  $v_x = 3$  м/с жылдамдықпен артады; ал дене координаталарының үдемелі түрде артуы жалпылама (үзіліссіз) уақыттың (7-13) секунд мәндері сәйкес келеді. Уақыттың үзіліссіздік мәндері үш функция үшін жалғасып кете беретін мәндері (секундомердің қосылғаннан өшірілгенге дейінгі көрсетулері) болса, жұмыстық мәндер деп үш функцияның графиктерін бөлек-бөлек салған жағдайға арналған. 5-суретте секундомер 13 секундқа қосылған: оның алғашқы 3 секундында дене тыныштықта болған (тұрған жерінің координатасы өзгермеген), келесі 4 секундта бірқалыпты қозғалыған (координаталар прогрессия немесе сызықтық функция заңдылығымен артып отырған), ал соңғы 6 секундта дененің координатасы үдемелі түрде артқан.

4-кестеде уақыттың 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 секунд мәндеріне аралары 7 м, 15 м, 23 м, 31 м, 39 м, 47 м болатын 18 м, 25 м, 40 м, 63 м, 94 м, 133 м, 180 м координата мәндері сәйкес келеді. Дененің бір секундтағы орын ауыстырулары (қадамдары) болып табылатын 7 м, 15 м, 23 м, 31 м, 39 м, 47 м мәндердің аралары  $a_1 = 2 \cdot a = 8$  м/с<sup>2</sup> болатын үдеуге тең екендігі көрсетілген (қадамдардың S арқылы белгілену себебі латын тілінде қадам сөзі Step деп айтылады). Бұл жерде  $x_t = 18 + 3t + 4t^2$  функциясындағы  $a = 4$  параметрі  $a_1$ -дің жартысына тең болады екен  $a = \frac{a_1}{2} = \frac{8}{2} = 4$  м/с<sup>2</sup>. Олай болса,  $x_t = 18 + 3t + 4t^2$  теңдеуін  $x_t = 18 + 3t + \frac{8}{2}t^2$  түрде де жазуға болады екен.

Кесте 4 – Координатаның жеделдеп өзгеру сипаты

$t$ -ның жалпы үзіліссіз мәндері ( $\Delta t = 6$ с)	$t = 7$ с	$t = 8$ с	$t = 9$ с	$t = 10$ с	$t = 11$ с	$t = 12$ с	$t = 13$ с
$t$ -ның жұмыстық мәндері ( $\Delta t = 6$ с)	$t = 0$	$t = 1$ с	$t = 2$ с	$t = 3$ с	$t = 4$ с	$t = 5$ с	$t = 6$ с
Координаталардың мәндері	$x_0 = 18$ м	$x_1 = 25$ м	$x_2 = 40$ м	$x_3 = 63$ м	$x_4 = 94$ м	$x_5 = 133$ м	$x_6 = 180$ м
Координаталардың аралықтары	$S_1 = 7$ м $S_2 = 15$ м $S_3 = 23$ м $S_4 = 31$ м $S_5 = 39$ м $S_6 = 47$ м						
Қадамдардың (орын ауыстырулардың) аралықтары	$a_1 = 8$ м/с <sup>2</sup>						

4-кестеден байқап отырғанымыздай, координаталардың 18 м, 25 м, 40 м, 63 м, 94 м, 133 м, 180 м мәндерінің 7 м, 15 м, 23 м, 31 м, 39 м, 47 м аралары

бір-бірінен  $a_1 = 8$  м/с<sup>2</sup> үдеуге үлкен болатын арифметикалық прогрессия құрайды екен

$$S_1 = v_x + 1 \cdot \frac{a_1}{2} = 3 + (1 \cdot 4) = 7 \text{ м;}$$

$$S_2 = S_1 + a_1 = v_x + 1 \cdot \frac{a_1}{2} + a_1 = v_x + 3 \cdot \frac{a_1}{2} = 3 + 3 \cdot \frac{8}{2} = 15 \text{ м;}$$

$$S_3 = S_2 + a_1 = v_x + 3 \cdot \frac{a_1}{2} + a_1 = v_x + 5 \cdot \frac{a_1}{2} = 3 + 5 \cdot \frac{8}{2} = 23 \text{ м;}$$

$$S_4 = S_3 + a_1 = v_x + 5 \cdot \frac{a_1}{2} + a_1 = v_x + 7 \cdot \frac{a_1}{2} = 3 + 7 \cdot \frac{8}{2} = 31 \text{ м;}$$

$$S_5 = S_4 + a_1 = v_x + 7 \cdot \frac{a_1}{2} + a_1 = v_x + 9 \cdot \frac{a_1}{2} = 3 + 9 \cdot \frac{8}{2} = 39 \text{ м;}$$

$$S_6 = S_5 + a_1 = v_x + 9 \cdot \frac{a_1}{2} + a_1 = v_x + 11 \cdot \frac{a_1}{2} = 3 + 11 \cdot \frac{8}{2} = 47 \text{ м.}$$

Осы келтірілген прогрессияның жалпы формуласы мынадай болады

$$S_t = v_x + (2t-1) \cdot \frac{a_1}{2}, \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \quad (6)$$

4-кестеде уақыттың  $\Delta t = 13 - 7 = 6$  секунд аралығындағы мәндеріне координатаның 18 м, 25 м, 40 м, 63 м, 94 м, 133 м, 180 м мәндерінің  $\Delta x = 180 - 18 = 162$  м тең болатын аралығы сәйкес келеді.  $\Delta x - \Delta t$  ұзындығы 162 метр болатын кесінді деп алсақ, онда  $\Delta t = 6$  секунд аралығындағы мәндеріне сәйкес келетін координаталардың аралықтары 7 м, 15 м, 23 м, 31 м, 39 м, 47 м болғандықтан, сегменттің  $\Delta x$  ұзындығын осы аралықтардың қосындысы түрінде анықтауға болады

$$\text{Segmentum}(S) = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = 7 + 15 + 23 + 31 + 39 + 47 = 162 \text{ м.} \quad (7)$$

(7) жалпы өрнегін алу үшін сондағы қадамдардың орнына олардың сан мәндерін емес өрнектерін қою керек

$$\begin{aligned} \text{Segmentum}(S) &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = (v_x + 1 \cdot \frac{a_1}{2}) + (v_x + 3 \cdot \frac{a_1}{2}) + (v_x + 5 \cdot \frac{a_1}{2}) + \\ &+ (v_x + 7 \cdot \frac{a_1}{2}) + (v_x + 9 \cdot \frac{a_1}{2}) + (v_x + 11 \cdot \frac{a_1}{2}) = 6v_x + 36 \cdot \frac{a_1}{2} = 6v_x + 6^2 \cdot \frac{a_1}{2} = \\ &6 \cdot 3 + 36 \cdot \frac{8}{2} = 162 \text{ м.} \end{aligned}$$

Олай болса,  $\Delta t = t = 6$  секендігін ескергенде  
 $Segmentum(S_t) = Summation Step (S_t) = v_x t + \frac{a_1}{2} t^2$ .

3-кестеде көрсетілгендей, уақыттың 3, 4, 5, 6, 7 секунд мәндеріне сәйкес келетін координатаның 6 м, 9 м, 12 м, 15 м, 18 м мәндерінің (қатарының) өзгеру жылдамдығы болып табылатын  $v_x = 3$  М/с шамасы  $t$ -ның келесі 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 секунд мәндерінде прогрессияға түсе бастайды, яғни уақыттың осы келтірілген мәндерінде бір-бірінен  $a_1 = 8$  М/с<sup>2</sup> үдеуге артық болатын  $v_x = 3$  М/с,  $v_1 = 11$  М/с,  $v_2 = 19$  М/с,  $v_3 = 27$  М/с,  $v_4 = 35$  М/с,  $v_5 = 43$  М/с,  $v_6 = 51$  М/с мәндерге ие болады. Осы жылдамдықтар прогрессиясының жалпы формуласы

$$v_t = v_x + a_1 t, \quad (8)$$

немесе біздің жағдайымызда

$$v_t = 3 + 8t. \quad (8a)$$

(8) теңдеуінде уақыттың 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 секунд үзіліссіз мәндерінің орнына 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 секунд жұмыстық мәндерін қою керек, сонда жылдамдықтың  $v_x = 3$  м/с,  $v_1 = 11$  м/с,  $v_2 = 19$  м/с,  $v_3 = 27$  м/с,  $v_4 = 35$  м/с,  $v_5 = 43$  м/с,  $v_6 = 51$  м/с прогрессиясы шығады.

#### Қорытынды

Дененің орын ауыстыру теориясы болып табылатын классикалық механиканың кинематика бөлімі арифметикалық прогрессия (немесе сызықтық функция), тригонометрия және квадраттық функция (теңдеу) заңдылықтарына сүйеніп жасалғандығын көрдік. Бірқалыпты өзгеретін механикалық шамалар мен осы өзгерістерді іске асыратын (өзгертуші) шамалар өзара формулалар, қозғалыс теңдеулері және тәуелділік графиктері арқылы байланысатынын байқадық. Өзгермей тұрған (тұрақты) шаманы бірқалыпты өзгеріске түсіріп, оны жеделдетілген (үдемелі) өзгеріске ауыстыру тұрақты функцияның сызықтық функцияға, ал оның квадраттық теңдеуге өту схемасымен жүретіндігі дәлелденді. Қозғалыс заңдылықтары арифметикалық прогрессияның формуласы (сызықтық функция) мен квадраттық теңдеудегі айнымалылардан уақыт айнымалысына, ал өзгеретін және өзгертуші параметрлерден координатаға, прогрессия жылдамдығы мен үдеуге өту арқылы жасалғандығын көрдік. Координатаның  $x'$  туындысы оның прогрессия заңдылығына сәйкес бірқалыпты өзгеріп жатқандығын білдіреді, ал өзгеріс жылдамдығы  $v_x$ -ке тең. Бұл жағдай  $v_x = x'$  түрінде

жазылады.  $\dot{a}_1$  үдеу – координатаның бірқалыпты өзгерісін бұзушы немесе оны жеделдетуші, бұл  $\dot{a}_1 = (x')' = x''$  деп жазылады. Үдеу координатаның бірқалыпты өзгерісін жеделдетуді өзгеріс жылдамдығын ( $v_x - t_i$ ) прогрессияға түсіру арқылы жүзеге асырады, яғни  $a_1 = v_x'$ . Бұл жазылған өрнектер қозғалыстың дифференциалдық теңдеулері деп аталады және бұлайша аталудың себебі мынада: дифференциал – латынның айырма деген сөзі, координата мәндері прогрессия заңы бойынша бірқалыпты өзгеруі үшін олардың аралары (бір-бірінен айырмалары) тұрақты болуы керек, ал бұл тұрақты  $v_x$ -ке тең, сондықтан да бұл жағдай  $v_x = x'$  болып жазылады. Координаталар үдемелі өзгеріске түсуі үшін олардың аралығы болып табылатын  $v_x$  прогрессияға түсуі тиіс. Бірқалыпты өзгеретін жылдамдық мәндерінің арасы (бір-бірінен айырмашылығы)  $\dot{a}_1$ -ге тең болады да, бұл жағдай  $a_1 = v_x'$  немесе  $\dot{a}_1 = (x')' = x''$  болып жазылады. Сонда координатаның және жылдамдықтың төбесіндегі штрих белгісі уақыт бойынша өзгеріс дегенді білдіреді.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Ньютон, И.** Математические начала натуральной философии [Мәтін]. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
- 2 **Қоштыбаев, Т. Б.** Физика [Мәтін]. – Алматы: Кемел кітап, 2024. – 248 б.
- 3 **Бельй, Е. К.** Прогрессии [Мәтін]. – Петрозаводск : ПГУ, 2016. – 128 с.
- 4 **Кудрявцев, П. С.** Курс истории физики [Мәтін]. – М. : Просвещение, 1982. – 448 с.
- 5 **Лич, Дж. У.** Классическая механика [Мәтін]. – М. : ИИЛ, 1961. – 173 с.
- 6 **Голдстейн, Г., Пуль, Ч., Сафко, Д.** Классическая механика [Мәтін]. – Ижевск: РХД, 2012. – 828 с.
- 7 **Яковлев, В. И., Остапенко, Е. Н.** История и методология механики. Основы Классической механики [Мәтін]. – Пермь, 2109. – 218 с.
- 8 **Андреев, А. Д., Колгатин, С. Н., Черных, Л. М.** Классическая механика [Мәтін]. – Санкт-Петербург, 2018. – 32 с.
- 9 **Искакова, А. Б., Раимжанов, И. И., Айдарбекова, А. А., Зейтова Ш. С.** Мектеп–ЖОО жүйесінде физикалық білімдердің сабақтастығын жүзеге асырудың әдістемелік шарттары мен факторлары [Мәтін] // Торайғыров университетінің Хабаршысы. Физика, математика және компьютерлік ғылымдар сериясы. – 2022. – № 4. – С. 97–110 б.

10 **Ишлинский, А. Ю.** Классическая механика и силы инерции. – М. : УРСС, Ленанд, 2018. – 258 с.

11 **Ворович, И. И.** Лекции по динамике Ньютона [Мәтін]. – Физматлит., 2010. – 602 с.

12 **Muncaster, R.** Physics [Мәтін]. – Oxford University, 2014. – 600 p.

13 **Камал, Б. Ә. Қоштыбаев, Т. Б., Диқамбай, Т. Б.** Кинематикалық және динамикалық теориялардың прогрессиялық негізі [Мәтін] // Абай атындағы ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика-математика ғылымдары» сериясы. – 2023. – № 4(84). С. 80–62 б.

14 **Қоштыбаев, Т. Б., Алиева, М. Е., Камал, Б. Ә., Құткелдиева, Э. О.** Дененің бірқалыпты және бірқалыпсыз қозғалыстарының математикалық негіздемесі [Мәтін] // Абай атындағы ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика-математика ғылымдары» сериясы. – 2024. – № 1(85). – С. 80–92 б.

15 **Қоштыбаев, Т. Б., Алиева, М. Е.** Динамиканың математикалық негізі [Мәтін] // «Академик» халықаралық ғылыми журналы. – 2024. – № 1(239). – 4–9 б.

16 **Лукашевич, С. А., Садовский, А. А.** Определение фундаментальных понятий физики через законы [Мәтін] // Эпохи науки. – 2020. – № 22. – С. 56–61.

#### REFERENCES

1 **Newton, I.** Matematicheskie nachala natural'noj filosofii [Mathematical principles of natural philosophy]. – [Text]. – Moscow : Nauka, 1989. – 688 p.

2 **Koshtybaev, T. B.** Fizika [Physics] [Text]. – Almaty : Kemel kitap, 2024. – 248 p.

3 **Bely, E. K.** Progressii [Progressions] [Text]. – Petrozavodsk: PGU, 2016. – 128 p.

4 **Kudryavtsev, P. S.** Kurs istorii fiziki [Physics History Course] [Text]. – Moscow: Prosveshchenie, 1982. – 448 p.

5 **Leach, J. W.** Klassicheskaya mekhanika [Classical mechanics] [Text]. – Moscow: IIL, 1961. – 173 p.

6 **Goldstein, G., Poole, C., Safko, J.** Klassicheskaya mekhanika [Classical mechanics]. – Izhevsk: RHD, 2012. – 828 p.

7 **Yakovlev, V. I., Ostapenko, E. N.** Istoriya i metodologiya mekhaniki. Osnovy Klassicheskoy mekhaniki [The history and methodology of mechanics. Fundamentals of Classical Mechanics] [Text]. – Perm, 2109. – 218 p.

8 **Andreev, A. D., Kolgatin, S. N., Chernykh, L. M.** Klassicheskaya mekhanika [Classical mechanics] [Text]. – Saint-Petersburg, 2018. – 32 p.

9 **Iskakova, A. B., Raimzhanov, I. I., Aidarbekova, A. A., Zeitova, Sh. S.** Mektep–ZhOO zhuiesinde fizikalyq bilimderdin sabaqtastygyn zhuzege asyruyyn adistemelik sharttary men faktorlary [Methodological conditions and factors for the implementation of the continuity of the knowledge of physics in the school-university system] [Text] // Toraigyrov universitetinin Habarshysy. Fizika, matematika zhane komp'yuterlik gylymdar seriyasy. – 2022. – № 4. – P. 97–110.

10 **Ishlinskiy, A. Yu.** Klassicheskaya mekhanika i sily inercii [Classical mechanics and inertia forces] [Text]. – Moscow: URSS, Lenand, 2018. – 258 p.

11 **Vorovich, I. I.** Lekcii po dinamike N'yutona [Lectures on Newton's dynamics] [Text]. – Физматлит., 2010. – 602 p.

12 **Muncaster, R.** Physics [Text]. – Oxford University, 2014. – 600 p.

13 **Kamal, B. A., Koshtybaev, T. B., Dikanbay, T. B.** Kinematikalыq zhane dinamikalыq teoriyalaryn progressiyalyq negizi [Progression as the Basis of Kinematic and Dynamic Theories] [Text] // Abaj atyndagy QazUPU habarshysy, «Fizika-matematika gylymdary» seriyasy. – 2023. – № 4(84). P. 80–62.

14 **Koshtybayev, T. B., Aliyeva, M. E., Kamal, B. A., Kutkeldiyeva, E. O.** Denenin birqalypty zhane birqalypсыz qozgalystarynyn matematikalыq negizdemesi [Mathematical Justification of Uniform and Uneven Movement of the Body] [Text] // Abaj atyndagy QazUPU habarshysy, «Fizika-matematika gylymdary» seriyasy. – 2024. – № 1(85). – P. 80–92.

15 **Koshtybayev, T. B., Aliyeva, M. E.** Dinamikanyn matematikalыq negizi [Mathematical basis of dynamics] // «Akademik» halyqaralyq gylymi zhurnaly. – 2024. – № 1(239). – P. 4–9.

16 **Lukashevich, S. A., Sadovsky, A. A.** Opredelenie fundamental'nyh ponyatij fiziki cherez zakony [Definition of Fundamental Concepts of Physics Through the Law] // Epohi nauki. – 2020. – № 22. – P. 56–61.

10.10.24 ж. баспаға түсті.

15.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

16.11.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Т. Б. Қоштыбаев<sup>1</sup>, \*А. А. Айдарбекова<sup>2</sup>, Татенов<sup>3</sup>, М. Е. Алиева<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қазақстанның национальнй женский педагогичесий университет,

г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>4</sup>Қазақстанның национальнй педагогический университет имени Абая,

г. Алматы, Республика Казахстан

Поступило в редакцию 10.10.24.

Поступило с исправлениями 15.10.24.

Принято в печать 16.11.2024.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЙ

В статье доказано, что кинематическая теория механических движений основана на законах арифметической прогрессии (или линейной функции) и квадратичной функции (уравнения). Прямые и обратные связи между равномерно изменяющимися величинами и величинами, которые ответственны за эти изменения, представлены формулами, уравнениями движения, графиками зависимостей. Переход от равномерного изменения координаты к ускоренному изменению рассматривается по схеме перехода линейной функции к квадратному уравнению. В виде численных расчетов показано, что законы механических движений можно получить заменой переменных в формуле арифметической прогрессии, линейной функции и квадратного уравнения с переменной времени, изменяющийся параметр и дифференциал с координатой, скоростью и ускорением прогрессии. Описаны дифференциальные значения скорости и ускорения прогрессии, а также представлены способы их определения с помощью углов наклона линейной зависимости. Случай нарушения прогрессии координаты путем плавного изменения скорости прогрессии описывается в соответствии свойств пространства и времени. Определена математическая целостность первого закона Ньютона, описывающий изменения координат тела по линейному закону и второго закона Ньютона, рассматривающий изменение координат по закону параболы. Представлено математическое (теоретическое) обоснование равномерного и неравномерного движения, где изменения механических величин (координат, скорости, перемещений) по времени рассматриваются как линейные и нелинейные функций, в то же время оценивающее этих величин графический и физический.

Ключевые слова: прогрессия, линейные и квадратичные уравнения, координаты, скорость, ускорение, время, переменные.

**T. B. Koshtybayev<sup>1</sup>, \*A. A. Aidarbekova<sup>2</sup>,  
A. M. Tatenov<sup>3</sup>, M. E. Aliyeva<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Kazakh National Women's Pedagogical University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

<sup>4</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

Received 10.10.24.

Received in revised form 15.10.24.

Accepted for publication 16.11.24.

## MATHEMATICAL STRUCTURE OF THE LAWS OF MOTION

The article proves that the kinematic theory of mechanical motions is based on the laws of arithmetic progression (or linear function) and quadratic function (equation). Direct and feedback connections between uniformly changing quantities and quantities responsible for these changes are presented by formulas, equations of motion, and graphs of dependencies. The transition from uniform change to accelerated change is considered in the nature of the transition of a linear function to a quadratic equation. In the form of numerical calculations, it is shown that the laws of mechanical motions can be obtained by replacing variables in the formula of arithmetic progression, linear function, and quadratic equation with a time variable, a changing parameter, and a parameter responsible for these changes with coordinates, progression rate, and progression acceleration. The differential values of progression rate and progression acceleration are described, and methods for determining them using the slope angles of the linear dependence are presented. The case of violation of the coordinate progression by smoothly changing the progression rate is described by consistent laws of space and time.

Keywords: progression, linear and quadratic equations, coordinates, velocity, acceleration, time, variables.

МРНТИ 55.22.19

<https://doi.org/10.48081/BNKT7989>

**\*А. Б. Кенесбеков<sup>1</sup>, А. К. Сейтханова<sup>2</sup>,  
Б. К. Рахадиллов<sup>3</sup>, Ж. Б. Сағдолдина<sup>4</sup>**

<sup>1,3</sup>ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>Павлодарский педагогический университет имени Ө. Марғұлана,  
Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>3,4</sup>Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,  
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

\*e-mail: [aidar.94.01@mail.ru](mailto:aidar.94.01@mail.ru)

## **ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ**

*В этой работе представлены результаты экспериментов по исследованию износостойких покрытий из TiN, нанесённых на сталь 20Х13 методом воздушно-плазменного напыления. Рассматривается влияние тока дуги плазматрона и расхода рабочего газа на структуру и свойства покрытий. Эксперименты проводились с использованием стандартных методик, таких как сканирующая электронная микроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ, а также испытания на микротвёрдость и износостойкость. Установлено, что фазовый состав покрытий соответствует исходному порошку: основной фазой является TiN, также присутствует TiO<sub>2</sub>. Приведены результаты трибологических испытаний покрытий при сухом трении по схеме “шар-диск”. Исследование показало, что для получения более плотных покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками оптимальными режимами плазменного напыления TiN являются ток 250 А и расход аргонового газа 34 л/мин. При токах плазматрона 350 А и 450 А частицы порошка получают большую скорость и меньше времени проводят в активной зоне плазматрона, что ухудшает качество*

*покрытий. Увеличение расхода рабочего газа также снижает тепловую энергию, необходимую для нагрева частиц.*

*Ключевые слова: плазматрон, воздушно-плазменное напыление, покрытие, износ, трибология, нитрид титана.*

### **Введение**

В современных условиях важной задачей является продление срока службы ключевых компонентов газовых турбин, таких как рабочие и сопловые лопатки, жаровые трубы и другие элементы. Их неисправности могут привести к остановке всего оборудования. Лопатки турбин эксплуатируются в сложных условиях, таких как высокие температуры, процессы окисления и значительные механические нагрузки.

Для увеличения долговечности лопаток необходимо поддерживать термостойкость и износостойкость их покрытий, сводя к минимуму негативное воздействие на основной материал и его механико-трибологические характеристики. Основным методом защиты лопаток — это нанесение теплозащитного покрытия (ТЗП). Важным аспектом является правильный выбор материала, технологии нанесения и толщины покрытия.

Мировая практика использования теплозащитных покрытий для деталей двигателей внутреннего сгорания помогает оптимизировать их эксплуатацию, повышая производительность и снижая расход топлива и смазочных материалов. Одним из наиболее эффективных материалов для таких покрытий признан нитрид титана (TiN).

TiN отличается высокой устойчивостью к износу, эрозионной стойкостью, термостойкостью и низким коэффициентом трения [5; 6]. Это делает его популярным в таких сферах, как инженерная керамика, покрытия для газотурбинных двигателей и полупроводниковая промышленность [7; 8]. На данный момент TiN покрытия в основном наносятся методами физического (PVD) или химического (CVD) осаждения из газовой фазы [9; 10; 11; 12]. Однако у этих методов есть ограничение в виде низкой эффективности осаждения, что не позволяет получать покрытия толще 10 мкм. Согласно исследованию [13], свойства TiN зависят от его толщины: более толстые покрытия обладают лучшими характеристиками износостойкости и стойкости к коррозии. Покрытие толщиной менее 12 мкм не способно эффективно противостоять коррозии, поэтому увеличение толщины покрытия является важным фактором для улучшения его эксплуатационных свойств.

Ранее в работе сообщалось о применении технологии плазменного напыления для создания более толстых покрытий TiN [1, с. 2] [12, с. 3]. В одном исследовании [6, с. 4] было получено покрытие толщиной 60 мкм

с помощью реактивного плазменного напыления в азотной камере при давлении 400 бар, однако оно включало в себя значительное количество остатков титана, а также TiN и Ti<sub>2</sub>N. В другой работе [5, с. 3] удалось получить покрытие TiN толщиной более 150 мкм с использованием туннельной газовой плазменной струи. Исследование [14] изучало образование нитридов титана при реактивном напылении титана с помощью методов РФА и РФЭС.

На данный момент исследования плазменного напыления TiN преимущественно проводились в инертных камерах или с использованием туннельных газовых струй. Напыление TiN в воздушной среде практически не исследовано, и лишь небольшое количество работ посвящено изучению микроструктуры TiN покрытий, полученных методом воздушно-плазменного напыления. Цель данной работы — исследование структуры, фазового состава, морфологии поверхности и трибологических свойств TiN покрытий, нанесённых методом воздушно-плазменного напыления.

### Материалы и методы

В рамках решения поставленных задач была разработана экспериментальная установка для воздушно-плазменного напыления, предназначенная для обработки поверхностей плазмой и нанесения порошковых покрытий при атмосферном давлении [15]. Данная установка состоит из источника питания, плазматрона, пульта управления, коммутационного модуля с блоком запуска, дозатора и автономного блока охлаждения плазматрона (Рисунок 1).

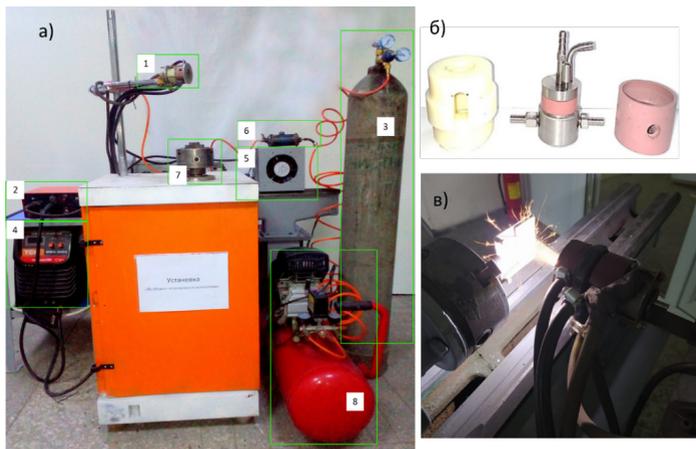


Рисунок 1 – Внешний вид Установка для воздушно-плазменного нанесения покрытий (а) и плазматрон (б); процесс воздушно-плазменного напыления порошка на поверхность образца (в).

1 – плазматрон, 2 – блок управления процессом, 3 – баллон подачи газа, 4 – система электропитания, 5 – система охлаждения, 6 – раздвоенный канал подачи порошка с расширительным бочком, 7 – держатель образца, 8 – компрессор.

Установка работает по следующему принципу. Сначала активируется система охлаждения, которая обеспечивает отвод тепла от плазматрона с использованием дистиллированной воды. Вода поступает через штуцер в анодную секцию и выходит через другой штуцер после нагрева. Циркуляция охлаждающей жидкости контролируется автоматически с помощью независимого модуля водяного охлаждения. Затем в разрядную область плазматрона подаётся аргон — плазмообразующий газ, который вводится через радиальную трубку, расположенную в катодной части. При подаче напряжения между соплом-анодом и катодом возникает электрическая дуга, которая вызывает ионизацию аргона и формирование плазменной струи, вырывающейся с высокой скоростью из сопла-анода. Далее включается дозирующий механизм, который подаёт порошок в плазменный поток.

В качестве подложки использовалась жаропрочная сталь марки 20X13. Перед нанесением покрытия подложка проходила очистку ацетоном и пескоструйную обработку для улучшения адгезии. Для нанесения применялся порошок TiN с размером частиц от 15 до 40 мкм.

Морфология поверхности изучалась методом сканирующей электронной микроскопии с использованием прибора JSM-6390, оснащённого энергодисперсионным спектрометром (EDS). Фазовый состав исследовался с помощью рентгеновского дифрактометра X'pert Pro (Philips Corporation, Нидерланды) с применением CuK $\alpha$ -излучения. Анализы проводились при параметрах напряжения трубки 40 кВ, токе 30 мА, времени экспозиции 1 с и шаге 0.02°.

Трибологические испытания на трение проводились на трибометре TRB3 (Anton Paar, Австрия) в соответствии со стандартом «шар-диск» (ASTM G 99). В качестве контртела использовался стальной шар диаметром 6,0 мм с покрытием из Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Испытания проводились при нагрузке 6 Н и скорости скольжения 3 см/с. Радиус кривизны износа составлял 4 мм, а общий путь трения – 100 м.

Механические свойства покрытий, такие как твердость и модуль Юнга, оценивались с использованием нанотвердомера НаноСкан-4D Компакт. Испытания выполнялись при нагрузке 50 мН с циклами нагружения и разгружения по 10 секунд и поддержанием максимальной нагрузки в течение 2 секунд. Глубина проникновения при этих нагрузках определялась с помощью метода Оливера–Фарра.

Качество покрытия определяется множеством параметров процесса воздушно-плазменного напыления, включая расстояние до подложки, силу тока, напряжение и давление газа. Ключевыми факторами являются сила тока и давление рабочего газа (аргон), что повлияло на выбор оптимальных параметров для данного процесса.

Таблица 1 – Режимы воздушно-плазменного напыления.

Образец	TiN (1)	TiN (2)	TiN (3)
Дистанция напыления, мм	150	150	150
Расход газа Ar, л/мин	34	37	40
Расход газа N, бар	3	3	3
Ток, А	250	350	450
Время обработки, с	60	60	60
Напряжения, В	68	68	68

### Результаты и обсуждение

Дифракционный анализ является важным инструментом для изучения кристаллической структуры материалов, поскольку он позволяет идентифицировать фазы, их количество, а также их пространственную ориентацию. В ходе исследования покрытия TiN, нанесённого на сталь 12X18H10T, было установлено, что оно состоит преимущественно из двух фаз: TiN и незначительных примесей TiO. Результаты анализа показали пять основных пиков, соответствующих TiN, которые связаны с дифракционными плоскостями (111), (020), (132), (131) и (222), что подтверждает наличие фазы с гексагонально-центральной кубической структурой. Пики TiO, с индексами (104), (110) и (105), продемонстрировали низкую интенсивность, что указывает на его образование в процессе окисления титана, вызванного разложением порошка TiN во время воздушно-плазменного напыления (Рисунок 2).

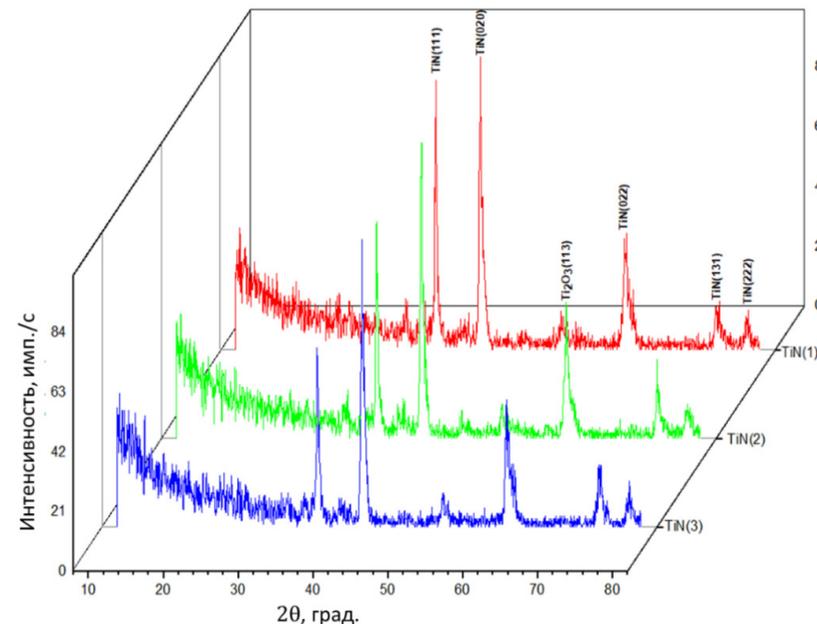


Рисунок 2 – Дифрактограммы покрытий TiN

Исследование микроструктуры покрытия является ключевым этапом анализа качества нанесённого материала, так как оно позволяет выявить дефекты, неоднородности и характеристики внутренней структуры. Сканирующая электронная микроскопия (РЭМ) играет важную роль в этих исследованиях, обеспечивая детализированное изображение поперечных сечений покрытий и позволяя оценить распределение частиц, наличие трещин и других дефектов.

Микроструктура поперечного сечения покрытий, толщиной около 70 мкм, представлена на изображении 3. Все исследованные образцы демонстрируют ламеллярную структуру с плотным слоением. Анализ, проведённый методом РЭМ, выявил неоднородности в структуре покрытий, вызванные различиями в степени нагрева частиц порошка в плазменной струе. В материале покрытия обнаружены слабо деформированные частицы, содержащие трещины. Эти трещины возникают вследствие ударов частиц, которые были недостаточно нагреты перед их контактом с подложкой или остывшим слоем покрытия. Такие трещины характерны для термических методов нанесения и могут образовываться из-за неполного плавления порошка во время воздушно-плазменного напыления (ВПН) или из-за

различий в коэффициентах теплового расширения между частицами порошка и подложкой, что приводит к возникновению термических напряжений и трещин.

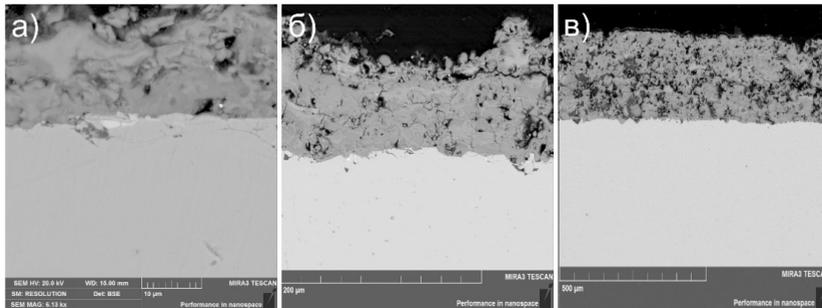


Рисунок 3 – Структура поперечного сечения покрытий:  
а)TiN(1); б)TiN(2); в)TiN(3).

Механические исследования являются важной составляющей для оценки эксплуатационных характеристик покрытий, поскольку они позволяют определить их устойчивость к износу, деформациям и разрушению. Изучение таких параметров, как твердость и модуль упругости, помогает не только оценить прочность материалов, но и прогнозировать их поведение в реальных условиях эксплуатации. Особое внимание уделяется индексу пластичности, который отражает способность покрытия сопротивляться пластической деформации и износу, что особенно важно для материалов, работающих в экстремальных условиях.

Результаты измерений твердости и модуля упругости покрытий TiN, полученных при различных режимах напыления, показали, что твердость играет ключевую роль в стойкости к пластической деформации, а эластичность повышает устойчивость к разрушению и деформации. Индекс пластичности, выраженный как отношение твердости (H) к модулю упругости (E) (H/E), является важным показателем способности материала к упругой деформации и его износостойкости [17].

Экспериментальные данные продемонстрировали, что индекс пластичности (H/E) для покрытий, нанесённых при режимах TiN(1), TiN(2) и TiN(3), составил 0,074; 0,058 и 0,071 соответственно. Обычно более высокие значения H/E указывают на лучшую износостойкость материала, что подтверждается результатами трибологических испытаний, в которых образец TiN(1) показал наивысшую износостойкость по сравнению с TiN(2) и TiN(3) (Рисунок 4).

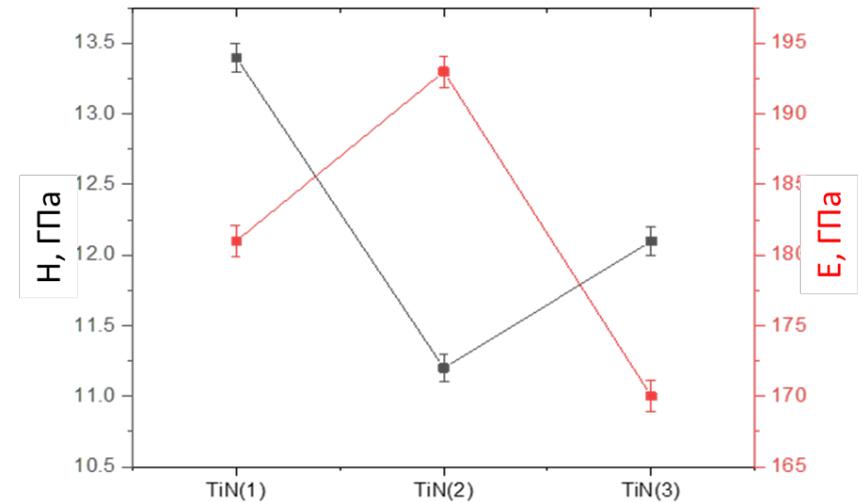


Рисунок 4 – Результаты наноиндентирования  
TiN покрытий, полученных ВПН методом.

Покрытия, обладающие высокой твердостью и низким модулем упругости, могут способствовать снижению межфазных напряжений и улучшению свойств противоизноса [17, с. 3]. Исследования показали, что зависимость коэффициента трения от длины пробега для всех образцов выглядит схожим образом. В начале испытаний наблюдается короткий период «приработки», в течение которого происходит адаптация поверхностей покрытий и контртела друг к другу, после чего система переходит в стационарный режим (области II и III). Коэффициент трения покрытия TiN(1) с контртелом из Si3N4 оказался ниже, чем у TiN(2) и TiN(3), что указывает на его лучшие характеристики износостойкости в идентичных условиях испытаний. При помощи 3D профилометра были сделаны изображения дорожек износа для каждого покрытия. Анализ геометрических параметров показал, что ширина износной дорожки для образца TiN(1) значительно меньше, чем у TiN(2) и TiN(3). Объем износа также подтвердил превосходные трибологические характеристики покрытия TiN(1).

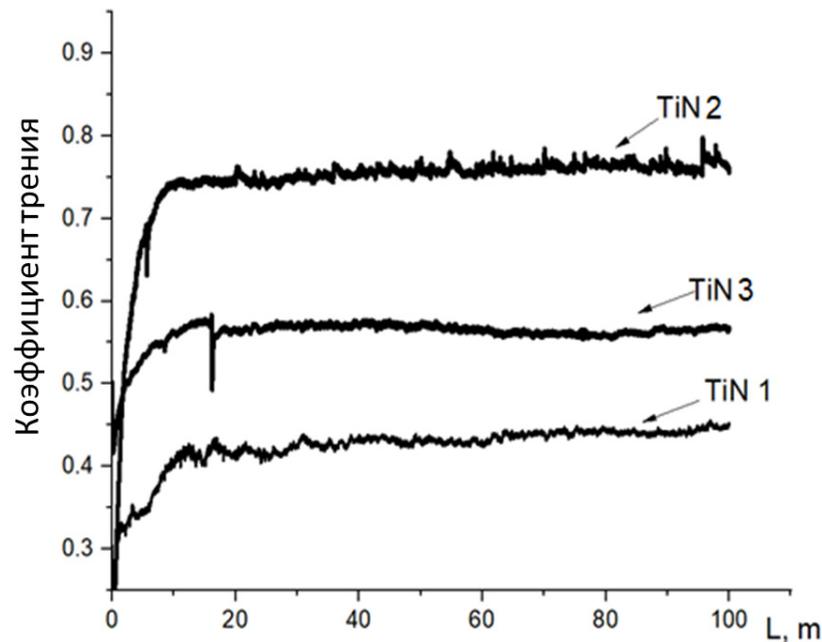


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения покрытий от длины пути трения

#### Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках гранта МНВО РК AP14972882 «Разработка научно-технологических основ получения интерметаллидных покрытий методом воздушно-плазменного напыления для применения в энергомашиностроении».

#### Выводы

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

Рентгенофазовый анализ продемонстрировал, что фазовый состав напылённых покрытий соответствует составу исходного порошка, где основной фазой является TiN, наряду с наличием фазы TiO<sub>2</sub>. Структура покрытий изменяется в зависимости от энергетических параметров процесса воздушно-плазменного напыления (ВПН). В условиях определённых режимов ВПН возможно получение плотных покрытий без перегрева подложки. При токе 250 А были достигнуты однородные и плотные TiN покрытия. В то время как при токах 350 А и 450 А частицы порошка

достигают большей скорости и не остаются в активной зоне плазмотрона достаточно долго, что приводит к ухудшению качества покрытий.

При оптимальных условиях ВПН образуются покрытия с стехиометрическим составом и улучшенными антифрикционными свойствами. В режиме с током 250 А (TiN(1)) коэффициент износостойкости покрытий снижается почти в 1,5 раза по сравнению с покрытиями, полученными в режимах TiN(2) и TiN(3). Увеличение силы тока приводит к формированию пористой структуры с неровной поверхностью, что ухудшает трибологические характеристики покрытий.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили целесообразность и перспективность применения технологии ВПН для повышения износостойкости жаропрочной стали 20X13, используемой в энергомашиностроении.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Kyaw, S., Jones, A., Hyde, T. Predicting failure within TBC system: Finite element simulation of stress within TBC system as affected by sintering of APS TBC, geometry of substrate and creep of TGO //Engineering Failure Analysis. – 2013. – Т. 27. – Р. 150–164.
- 2 Zhang, C., Avic, C. C. Failure mechanism of thermal barrier coatings by electron beam physical vapor deposition (EB-PVD) under thermomechanical coupled loads //Thermal Barrier Coatings. – Woodhead Publishing. – 2011. – Р. 215–242.
- 3 Kengesbekov, A. et al. Improving the efficiency of air plasma spraying of titanium nitride powder //Coatings. – 2022. – Т. 12. – № 11. – Р. 1644.
- 4 Sagdoldina, Z. et al. Effect of irradiation with Si<sup>+</sup> ions on phase transformations in Ti–Al system during thermal annealing //Coatings. – 2021. – Т. 11. – № 2. – Р. 205.
- 5 Kara, L., Özkan, D., Barış Yağcı, M., Sulukan, E., Sert, Y., & Sonsuz Sert, T. Friction and wear behaviors of TiN coatings under dry and vacuum conditions //Tribology Transactions. – 2019. – Vol 62. – № 3. – Р. 362-373.
- 6 Fathi, J., Mohsenian, S., & Shokri, B. Plasma spray deposition enhancement of titanium nitride layer using nitrogen-contained plasma irradiation of titanium substrate as a pre-spraying method //Journal of Thermal Spray Technology. – 2018. – Vol. 27. – № 7. – Р. 1187–1193.
- 7 Atta, S., NarendraKumar, U., Kumar, K. V. A. N. P. S., Yadav, D. P., & Dash, S. Recent developments and applications of TiN-based films synthesized by magnetron sputtering //Journal of Materials Engineering and Performance. – 2023. – Vol. 32. – № 22. – Р. 9979–10015.

8 **Kovačić, S., Cajner, F., & Landek, D.** Wear resistance of TiN/TiCN and TiN/TiBN multilayer coatings applied on hot work tool steel //Key engineering materials. – 2016. – Vol. 674. – P. 257–262.

9 **Das, K., Alphonsa, J., Ghosh, M., Ghanshyam, J., Rane, R., & Mukherjee, S.** Influence of pretreatment on surface behavior of duplex plasma treated AISI H13 tool steel //Surfaces and Interfaces. – 2017. – Vol. 8. – P. 206–213.

10 **Sagdoldina, Z. et al.** Phase-structural Condition of the Ti-Al System Treated by Irradiation with Si Ions and Heat Treatment //2019 IEEE 9th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). – IEEE, – 2019. – P. 1–3.

11 **Landek, D., Cajner, F., & Kovačić, S.** Wear Resistance of the Multilayer TiN/Ti (B, N) Coating Deposited on Cold Work Tool Steels //Materials performance and characterization. – 2017. – Vol. 6. – № 5. – P. 871–881.

12 **Wang, Y.Y., Liu, Y., Li, C.J., Yang, G.J., & Kusumoto, K.** Electrical and mechanical properties of nano-structured TiN coatings deposited by vacuum cold spray //Vacuum. – 2012. – Vol. 86. – № 7. – P. 953–959.

13 **Winter, J., Brandenburg, R., & Weltmann, K. D.** Atmospheric pressure plasma jets: an overview of devices and new directions //Plasma Sources Science and Technology. – 2015. – Vol. 24. – № 6. – P. 064001.

14 **Zheng, G., Jiao, Q., Li, C., Ding, Y., He, J., Jiang, Y., & Zhao, H.** Influence of nitridation on the microstructure and corrosion behavior of reactive plasma sprayed TiCN coatings. Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 396. – P. 25954.

15 **Rakhadilov, B. K. et al.** Development of air-plasma technology for hardening cutting tools by applying wear-resistant coatings //News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – Т. 3. – №. 441. – С. 54–62.

16 **Shibe, V., & Chawla, V.** Combating wear of ASTM A36 steel by surface modification using thermally sprayed cermet coatings //Advances in Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. – №. 1. – P. 3894145.

17 **Curry, N. et al.** Erosion performance of suspension plasma spray thermal barrier coatings—A comparison with state of art coatings //Surface and Coatings Technology. – 2022. – Т. 437. – С. 128311.

Поступило в редакцию 19.09.24.

Поступило с исправлениями 16.10.24.

Принято в печать 12.11.2024.

\***А. Б. Кеңесбеков<sup>1</sup>, Сейтханова<sup>2</sup>, Б. К. Рахадиллов<sup>3</sup>, Ж. Б. Сағдолдина<sup>4</sup>**

<sup>1,3</sup>PlasmaScience ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

<sup>2</sup>Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3,4</sup>Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

19.09.24 ж. баспаға түсті.

16.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.11.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ЭНЕРГОМАШИНА САЛАСЫНДА ҚОЛДАНУ ҮШІН АУА-ПЛАЗМАЛЫҚ БҮРКУ ӘДІСІМЕН ТОЗУҒА ТӨЗІМДІ ЖАБЫНДАРДЫ АЛУ

*Жұмыста ауа-плазмалық бүрку әдісімен алынған 20Х13 Болат бетіндегі тозуға төзімді TiN жабындарының эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері келтірілген. Плазмотрон доғасының тогы мен жұмыс газының шығыны алынған жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне әсері де талданады. Эксперименттік зерттеулер стандартты әдістерге сәйкес жүргізілді: сканерлеуші электронды микроскопия, рентгендік құрылымдық фазалық талдау, микроқаттылық пен жабындардың тозуға төзімділігін анықтау бойынша сынақтар. Бүріккіш жабындар мен бастапқы ұнтақтың фазалық құрамы бірдей екендігі анықталды: негізгі фаза-TiN қосылысы, сонымен қатар құрылымда TiO<sub>2</sub> фазасы бар. Шар-диск схемасы бойынша құрғақ үйкеліс жағдайында жабындарды трибологиялық сынау нәтижелері келтірілген. Осы зерттеу аясында жоғары өнімділігі бар тығыз жабындарды алу тұрғысынан TiN ұнтағын плазмалық бүркудің оңтайлы режимдері 250 А ток және 34 л/мин аргон жұмыс газының шығыны деп айтуға болады. Плазмотронның жұмыс режимі үшін 350 А және 450 А кезінде ұнтақ бөліктері үлкен жылдамдыққа ие болады және белсенді плазмотронда аз болады, сәйкесінше алынған жабындардың сапасы төмендейді. Жұмыс газының шығынын арттыру бүріккіш бөліктерді жылыту үшін жылу энергиясын азайтады.*

*Кілтті сөздер: плазмотрон, ауа-плазмалық бүрку, жабуын, тозу, трибология, титан нитридi.*

\***A. B. Kengesbekov<sup>1</sup>, A. K. Seitkhanova<sup>2</sup>,**

**B. K. Rakhadilov<sup>3</sup>, Zh. B. Sagdoldina<sup>4</sup>**

<sup>1,3</sup>PlasmaScience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>2</sup>A. Margulan Pavlodar Pedagogical University,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>3,4</sup>East Kazakhstan University named after Sarsen Amanzholov,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Received 19.19.24.

Received in revised form 16.10.24.

Accepted for publication 12.11.24.

### **OBTAINING WEAR-RESISTANT COATINGS BY AIR-PLASMA SPRAYING METHOD FOR APPLICATION IN POWER ENGINEERING**

*The paper presents the results of experimental studies of wear-resistant TiN coatings on the surface of 20X13 steel, obtained by air plasma spraying. The influence of the plasmatron arc current and the working gas flow rate on the structure and properties of the resulting coatings is also analyzed. Experimental studies were carried out using standard methods and included: scanning electron microscopy, X-ray structural phase analysis, tests to determine microhardness and wear resistance of coatings. It has been established that the phase composition of the sprayed coatings and the initial powder is the same: the main phase is the TiN compound, in addition, the structure contains the TiO<sub>2</sub> phase. The results of tribological tests of coatings under dry friction conditions using the ball-disk scheme are presented. In the framework of this study, we can say that from the point of view of obtaining denser coatings with high performance characteristics, the optimal modes for plasma spraying of TiN powder are a current of 250 A and an argon working gas flow rate of 34 l/min. For the operating mode of the plasma torch at 350 A and 450 A, the powder particles acquire a higher speed and are less likely to be in the active plasma torch; accordingly, the quality of the resulting coatings decreases. Increasing the flow rate of the working gas reduces the thermal energy for heating the sprayed particles..*

*Keywords: plasma torch, air plasma spraying, coating, wear, tribology, titanium nitride.*

МРНТИ 29.03.45

<https://doi.org/10.48081/XYER6975>

\***A. С. Кишкентаева<sup>1</sup>, Ж. Р. Шаймерденова<sup>2</sup>,  
А. Б. Тельменбетова<sup>3</sup>, К. К. Шакаримова<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Карагандинский Медицинский университет,

Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9169-3492>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4910-3695>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1714-5220>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-7142>

\*e-mail: [anar\\_kish@mail.ru](mailto:anar_kish@mail.ru)

### **УСТАНОВЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ ДИМЕРНОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КУМАРИНА УМБЕЛЛИФЕРОНА**

*В статье приведены литературные данные по актуальным проблемам здравоохранения, касающиеся инфекций, вызванных бактериями с лекарственной устойчивостью, что приводит к использованию существующих антибиотиков клинически неэффективным. Поэтому разработка новых лекарственных средств на основе кумаринов с новыми структурами и механизмами действия является актуальным направлением, которые позволят предотвратить распространения бактерий тем самым сократить продолжительность терапии. В связи с полифункциональностью и высокой реакционной способностью кумарина умбеллиферона является интересным и перспективным объектом для направленного синтеза новых хиральных биологически активных соединений.*

*В статье приведен синтез димера кумарина умбеллиферона в присутствии водного раствора CuSO<sub>4</sub> и аскорбата натрия при нагревании. Строение димера 1,2,3-триазолпроизводного умбеллиферона установлено современными спектральными методами (ИК, УФ, ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C) его физико-химические свойства. Данные ИК-спектра характеризуют наличие в структуре (I) следующие полосы поглощения, характерные для карбонильных групп и двойных связей ароматических циклов. По данным спектра ПМР соединения (I) обнаружены сигналы, характерные для триазольных протонов, оксиметиленовой и аминометиленовой групп. В спектрах*

*ЯМР 13С соединения (1) присутствует фрагмент сложнотриазольного углерода и углероды оксиметиленовой и аминометиленовой групп.*

*Ключевые слова: Гибридная молекула, синтез, азид-алкиновая присоединения, кумарин умбеллиферон, 1Н-, 13С- ЯМР-спектроскопия.*

## Введение

В последние годы, с развитием биоорганической и фармацевтической химии, комбинированный (гибридный) метод разработки новых высокоактивных гибридных лекарственных средств привлёк большое внимание. Этот подход позволил синтезировать множество гибридных соединений с разнообразной или улучшенной биологической активностью по сравнению с исходными веществами.

Кумарины представляют собой важный класс соединений, которые могут быть как природного, так и синтетического происхождения, и обладают разнообразной биологической и фармацевтической активностью. Они широко применяются в различных отраслях: в пищевой промышленности, парфюмерии, агрохимии, косметике, фармацевтике, а также в производстве инсектицидов. Производные кумарина обладают широким спектром биологической активностью, такими как антидепрессантное, противовоспалительное, анальгезирующее, противоопухолевое, противоастматическое, противогриппозное, болеутоляющее, гипополипидемическое, жаропонижающее и противовирусное действия. Некоторые производные кумарина также обладают противотуберкулезной, антиоксидантной и антимикробной активностью. 1,2,3-триазолы являются объектом внимания медицинских химиков благодаря легкости их синтеза с использованием клик-химии и обширному набору биологических свойств. Триазольное кольцо можно встретить во многих биологически активных молекулах, таких как противоаллергические, анти-ВИЧ и противовоспалительные агенты. Недавние исследования подтверждают, что бис-1,2,3-триазолы перспективны для разработки новых лекарственных препаратов [1, p.2-4; 2, p.2-9].

Природные и синтетические кумарины представляют собой значимую группу биологически активных соединений. Их терапевтические свойства в значительной степени зависят от типа и расположения заместителей в их структуре. По литературным данным известно, что с молекулой кумарина проведен ряд химических превращений: 1,2,3-триазолпроизводные кумарина [3, p.2-4; 4, p.1-5; 5, p.2-6] гибридные производные кумарин-1,2,3-триазол-ацетамида [6, p.2], новые N-фенилацетамид-связанные 1,2,3-триазольные конъюгаты кумарина [7, p.2], 1-гетероарил-1,2,3-триазолы связанные с

кумарины [8, p.1-3], новые 1,2,3-триазол производные 4-гидроксикумарина [9, p.132], гибридные производные кумарина [10, p.01-15].

Целью данной работы является создание комбинированного производного кумарина и изучение его физико-химических свойств.

Димеры 1,2,3-триазолпроизводных кумарина представляют собой перспективные соединения с широким спектром потенциальных применений в медицине и других областях. Их уникальная структура сочетает в себе биологическую активность кумарина и функциональные возможности триазольных колец, что открывает новые возможности для разработки эффективных и многофункциональных соединений. В последние годы они привлекли значительное внимание из-за своих разнообразных биологических и фармакологических свойств [1].

Таким образом, синтез и изучение фармакологических свойств гибридных молекул, образованных путём сочетания кумаринов с различными биоактивными соединениями, представляют собой важное направление в разработке новых высокоэффективных препаратов для лечения различных заболеваний.

## Материалы и методы

ИК спектры записаны на фурье-спектрометре Vector-22 в таблетках KBr. Спектры ЯМР 1H и 13C зарегистрированы на спектрометрах Bruker AV-400 (400 и 100 МГц соответственно). Растворитель – DMSO-d<sub>6</sub>, внутренний стандарт TMS. Мультиплетность сигналов в спектрах ЯМР 13C определена по стандартным методикам снятия спектра в режиме монорезонанса. При описании спектров ЯМР 1H и 13C использовали нумерацию атомов остова, приведенную на рис. 1. Температуры плавления определены на приборе Boetius. ТСХ проведена на пластинах Sorbfil, элюент СНCl<sub>3</sub>-EtOH, 9:1, проявление в УФ свете.

## Результаты и обсуждение

Авторами [1] для синтеза целевых соединений проведен ряд исследований по оптимизации синтеза бис кумарина в различных растворителях и с различными катализаторами как традиционными методами, так и методами микроволнового облучения. Из приведенных результатов время реакции сокращается с 24 ч до 10 мин, а выход увеличивается с 43-53% до 75-86% соответственно.

В связи с вышеизложенным, проведена реакция диазидпентана с пропаргиллоксикумарином в присутствии водного раствора CuSO<sub>4</sub> и аскорбата натрия при температуре 75–80 °С в течение 5 часов, что приводит к образованию соответствующего димера 1,2,3-триазолпроизводного умбеллиферона. В результате реакции получено производное (1), строение

которого установлено на основании спектральных данных (ИК, УФ, ЯМР 1H, 13C).

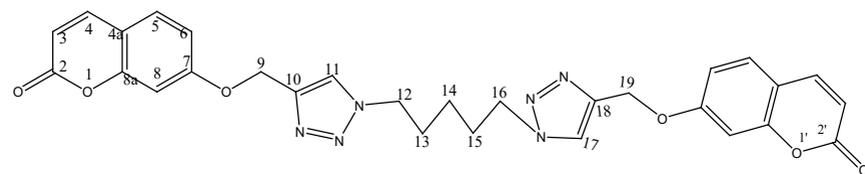


Рисунок 1 – Структура димера 1,2,3-триазолпроизводного умбеллиферона

В ИК-спектре производного (1) наблюдаются следующие полосы поглощения С-Н при 3124, 3085, 2949, 2870, карбонильных групп С=О при 1729 см<sup>-1</sup>, двойные связи ароматических циклов С=C при 1619, 1558, 1507, 1464.

По данным спектра ЯМР 1H соединения (1) обнаружен синглет в области  $\delta$  8.27, соответствующий триазольным протонам, синглет при  $\delta$  5.25, характерный протонам ОСН<sub>2</sub>, триплет с центром  $\delta$  4.36, характерный протонам NCH<sub>2</sub> (Рис.1). В спектрах ЯМР 13C соединения (1) фрагмент сложноэфирного углерода >C=O проявляется при  $\delta$  161.11, углероды ОСН<sub>2</sub> и NCH<sub>2</sub> обнаружены при  $\delta$  61.73 и  $\delta$  49.09 соответственно (Рис.2).

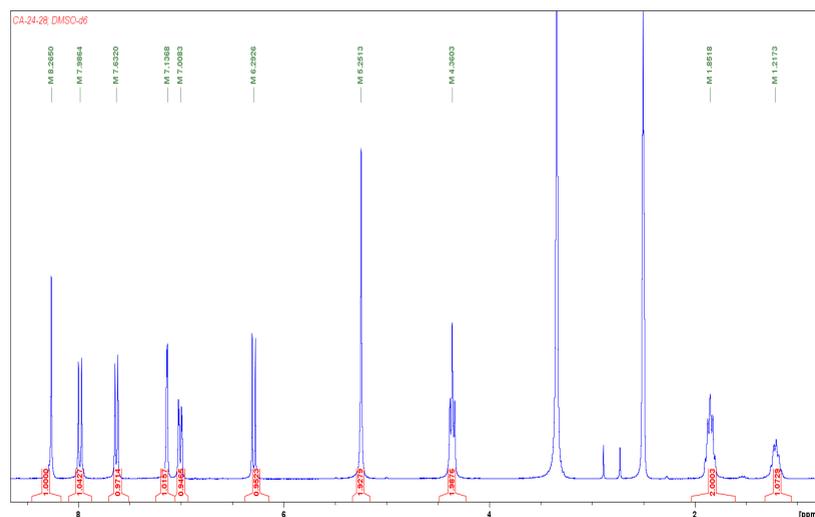


Рисунок 2 – ЯМР 1H соединения (1)

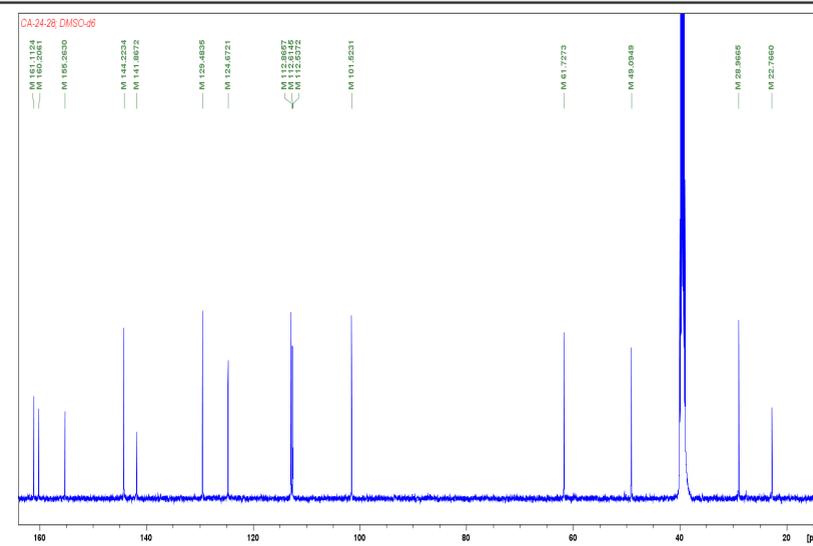


Рисунок 3 – ЯМР 13C соединения (1)

Выход 73%. Порошкообразное вещество кремового оттенка состава C<sub>29</sub>H<sub>26</sub>O<sub>6</sub>N<sub>6</sub>, т.пл.: 169-170 °С.

ИК-спектр (KBr,  $\nu_{\max}$ , см<sup>-1</sup>): 3128, 3085, 3061, 2948, 2870, 1729 (C=O), 1619 (C=C), 1558 (аром. C=C), 1506 (аром. C=C), 1464 (аром. C=C).

УФ-спектр (EtOH,  $\lambda_{\max}$ , нм): 201, 320.

Спектр ЯМР 1H (400 МГц, ДМСО,  $\delta$ , м.д., J/Гц): 8.26 (с, 2H, H-11, 17), 7.98 (д, J=9.5 Гц, 2H, H-4, 4'), 7.63 (д, J=8.5 Гц, 2H, H-5, 5'), 7.14 (д, J=2.2 Гц, 2H, H-8, 8'), 7.00 (дд, J=8.5, 2.2 Гц, 2H, H-6, 6'), 6.29 (д, J=9.5 Гц, 2H, H-3, 3'), 5.25 (с, 4H, H-9, 19), 4.36 (т, J=7 Гц, 4H, H-10), 1.85 (м, 4H, H-13, 15), 1.21 (м, 2H, H-14).

Спектр ЯМР 13C (125 МГц, ДМСО,  $\delta$ , м.д.): 161.11 (C-2, 2'), 160.20 (C-7, 7'), 155.26 (C-8a, 8'a), 144.22 (C-4, 4'), 141.87 (C-10, 18), 129.48 (C-5, 5'), 124.67 (C-6, 6'), 112.86 (C-11, 17), 112.61 (C-3, 3'), 112.53 (C-4a, 4'a), 101.52 (C-8, 8'), 61.73 (C-9, 19), 49.09 (C-12, 16), 28.96 (C-13, 15), 22.76 (C-14).

### Выводы

Таким образом, в результате проведенной реакции азид-алкинового присоединения синтезировано и установлено строение и физико-химические свойства гибридной молекулы на основе кумарина умбеллиферона. Подробно изучены его структурные особенности и спектральные (ИК-, 1H-, 13C-ЯМР-спектроскопические) свойства.

Выполнено в рамках грантового финансирования молодых ученых Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан No. AP19579011 «Направленный синтез соединений с потенциальной противовирусной и антимикробной активностью на основе природных кумаринов и их синтетических аналогов».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ashok, D., Gundu, S., Aamate, V.K., Devulapally, M.G., Bathini, R., Manga, V. Dimers of coumarin-1,2,3-triazole hybrids bearing alkyl spacer: Design, microwave-assisted synthesis, molecular docking and evaluation as antimycobacterial and antimicrobial agents, Journal of Molecular Structure . –2018. – <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.12.080>.

2 Patil, S. A., Nesaragi, A. R., Rodríguez-Berrios, R. R., Hampton, S. M., Bugarin, A., Patil, S. M. Coumarin Triazoles as Potential Antimicrobial Agents. Antibiotics 2023. – 12, 160. – <https://doi.org/10.3390/antibiotics12010160>.

3 Nouraie, P., Moradi Dehaghi, S., Foroumadi, A. Coumarin-1,2,3-triazole hybrid derivatives: Green synthesis and DFT calculations. Synthetic Communications. 2019, P. 1–10. – <https://doi.org/10.1080/00397911.2018.1557686>.

4 Pathoor, R., Bahulayan, D. MCR-click synthesis, molecular docking and cytotoxicity evaluation of a new series of indole–triazole–coumarin hybrid peptidomimetics. New Journal of Chemistry 2018, 42(9), P. 6810–6816. – <https://doi.org/10.1039/x0xx00000x>.

5 Kraljević, T. G., Harej, A., Sedić, M., Pavelić, S. K., Stepanić, V., Drenjančević, D., Talapko, J., Raić-Malić, S. Synthesis, in vitro anticancer and antibacterial activities and in silico studies of new 4-substituted 1,2,3-triazole–coumarin hybrids. European Journal of Medicinal Chemistry 2016, 124. – P. 794–808. – <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.08.062>.

6 Sepehri, N., Mohammadi-Khanaposhtani, M., Asemanipoor, N., Hosseini, S., Biglar, M., Larijani, B., Mohammad, M., Haleh, H., Parham, T., Nastaran, S., Gulcin, I. Synthesis, characterization, molecular docking, and biological activities of coumarin-1,2,3-triazole-acetamide hybrid derivatives. Archiv Der Pharmazie 2020, e2000109. – <https://doi.org/10.1002/ardp.202000109>.

7 Akolkar, S. V., Nagargoje, A. A., Shaikh, M. H., Warshagha, M. Z. A., Sangshetti, J. N. Damale, M. G., Shingate, B. B. New N-phenylacetamide-linked 1,2,3-triazole-tethered coumarin conjugates: Synthesis, bioevaluation, and molecular docking study. Arch Pharm. 2020;e2000164. – <https://doi.org/10.1002/ardp.202000164>.

8 Nibin Joy, M., Beliaev, N., Beryozkina, T. V., Bakulev, V. A. Design and the synthesis of 1-heteroaryl-1, 2, 3-triazoles connected to coumarins via ether linker. Journal of Heterocyclic Chemistry 2020, 57(8), P. 3173–3185. – <https://doi.org/10.1002/jhet.4025>.

9 Trivedi, P., Chodvadiya, V., Safi, S., Upadhyay, J. Synthesis and antifungal activity of some coumarin based 1, 2, 3-triazole derivatives. Journal of Advanced Scientific Research 2020, 11, P. 132.

10 Mishra, K. N. and Upadhyay, H. C. Coumarin-1,2,3-triazole hybrids as leading-edge anticancer agents. Front. Drug. Discov. 2022 2:1072448. – <https://doi.org/10.3389/fddsv.2022.1072448>.

Поступило в редакцию 10.10.24.

Поступило с исправлениями 15.10.24.

Принято в печать 20.12.2024.

*А. С. Кишкентаева<sup>1</sup>, Ж. П. Шаймерденова<sup>2</sup>,*

*А. Б. Тельменбетова<sup>3</sup>, К. К. Шакаримова<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Қарағанды Медицина университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

10.10.24 ж. баспаға түсті.

15.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

20.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### КУМАРИНА УМБЕЛЛИФЕРОН НЕГІЗІНДЕГІ ДИМЕРЛІ ҚОСЫЛЫСТЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН АНЫҚТАУ

*Мақалада дәрілерге төзімді бактериялардан туындаған инфекцияларға қатысты денсаулық сақтаудағы өзекті мәселелер туралы әдеби деректер келтірілген, бұл қолданыстағы антибиотиктерді клиникалық тиімсіз қолдануға әкеледі. Сондықтан жаңа құрылымдары мен әсер ету механизмдері бар кумариндерге негізделген жаңа препараттарды әзірлеу бактериялардың таралуын болдырмайтын, осылайша терапияның ұзақтығын қысқартатын өзекті бағыт болып табылады. Кумарин умбеллиферонның көп функционалдығы мен жоғары реакциялық қабілеттілігіне байланысты жаңа хиральды биологиялық белсенді қосылыстардың бағытталған синтезі үшін қызықты және перспективалы объект болып табылады.*

*Мақалада  $\text{CuSO}_4$  сулы ерітіндісінің және қыздырылған кезде натрий аскорбатының қатысуымен кумарин умбеллиферон димерінің синтезі келтірілген. Умбеллиферонның 1,2,3-триазол*

туындысы димерінің құрылымы оның физика-химиялық қасиеттерінің заманауи спектрлік әдістерімен (ІҚ, УК, ЯМР ІН, ІЗС) анықталған. ІҚ-спектрінің деректері бойынша (І) молекула құрылымында карбонил топтарына және ароматты циклдардың қос байланыстарына тән сіңіру жолақтарының болуын сипаттайды. ПМР спектрінің деректері бойынша қосылыс (І) триазол протондарына, оксиметилген және аминометилген топтарына тән сигналдар анықталды. ЯМР ІЗС спектрлерінде қосылыс (І) күрделі эфирдің және оксиметилген мен аминометилген топтарының фрагменті бар көміртегі анықталған.

Кілтті сөздер: Гибридті молекула, синтез, азид-алкин қосылыстары, кумарин умбеллиферон, ІН -, ІЗС-ЯМР спектроскопиясы.

**A. S. Kishkentayeva, Zh. R. Shaimerdenova,**

**A. B. Telmenbetova, K. K. Shakarimova**

Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

Received 10.10.24.

Received in revised form 15.10.24.

Accepted for publication 20.12.24.

## ESTABLISHING THE STRUCTURE OF A COUMARIN UMBELLIFERONE-BASED DIMERIC COMPOUND

*The paper presents a review of the literature on current healthcare issues related to infections caused by drug-resistant bacteria. This results in use of existing antibiotics being clinically ineffective. Therefore, development of the new drugs based on coumarins with the novel structures and mechanisms of action represents an important area of research. They could help prevent the spread of bacteria, thereby reducing the duration of therapy. Due to polyfunctionality and high reactivity of umbelliferone coumarin, it represents an interesting and promising target for a directed synthesis of the new chiral biologically active compounds.*

*The paper presents a synthesis of umbelliferone coumarin dimer in presence of an aqueous solution of  $\text{CuSO}_4$  and sodium ascorbate under heating conditions. A structure of dimer of 1,2,3-triazole derivative of umbelliferone has been established with the contemporary spectral methods (IR, UV,  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR), along with its physicochemical properties. The infrared spectrum data characterize the presence of the following absorption bands in structure of (1), which are typical for*

*carbonyl groups and double bonds in aromatic cycles. Based on the PMR spectrum data of compound (1), signals characteristic of triazole protons, oxymethylene and aminomethylene groups have been identified. The  $^{13}\text{C}$  NMR spectra of compound (1) reveal the presence of a fragment of ester carbon and carbons of oxymethylene and aminomethylene groups.*

*Keywords: Hybrid molecule, synthesis, azide-alkyne cycloaddition, umbelliferone coumarin,  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy,  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy.*

**\*А. Ж. Сатыбалдин<sup>1</sup>, М. И. Байкенов<sup>2</sup>, Б. Б. Жандыбаев<sup>3</sup>,  
Р. С. Сейтжан<sup>4</sup>, Д. Н. Бердибаев<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5485-1256>

\*e-mail: [Satybaldin.1975@mail.ru](mailto:Satybaldin.1975@mail.ru)

## **АТАСУ-АЛАШАНЬКОУ МҰНАЙ ШЛАМДАРЫНЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ МІНЕЗДЕМЕЛЕРІНЕ ЖВҚИЭР-ДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Мұнай өңдейтін кәсіпорындарда құрамында мұнайы бар қалдықтардың барлық түрлері қалыптасады – мұнай қалдықтары мен құрамында мұнайы бар техногенді шикізаттар сияқтылар. Олар тазалау процесстерінен, атап айтқанда мұнай цистерналардан шөгінділерді жою кезінде, мұнай қалдықтары мен құрамында мұнайы бар техногенді шикізатты пайдалану немесе залалсыздандыру кезінде қалыптасады және де бұл қиын техникалық мәселе болып табылады. Оны шешудің табысы айтарлықтай дәрежеде, мұнай қалдықтарын жоюға, өңдеуге және детоксикацияға бағытталған технологиялық, зертханалық, тәжірибелік және теориялық өңдеулер қандай принципте негізделуіне байланысты. Құрамында мұнайы бар қалдықтарды өңдеу процесстеріне ғылыми тәсіл бірінші дәрежелі мәнге ие. Айрықша мақсатқа оларды кешенді пайдалану жатқызылады, яғни құрамында мұнай қалдықтарын құрайтын барлық құраушыларын қолдану арқылы және нәтижесінде ол өнім, реагент немесе басқа өнімдерді өндіру кезінде, және де басқа қалдықтарды өңдеу кезінде қолданыс табады. Берілген мақаланың болып жасағандығы - өндірістік шарттарда мұнай қалдықтарын қалдықсыз пайдалану кешенді технологиясы үшін, мұнай қалдықтары мен құрамында мұнайы бар техногенді шикізатты өңдеуде ЖВҚИЭР (жоғары

вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разряд) қолдану болып табылады. Бұл әдістің негізінде ЖВҚИЭР разрядтық толқындардың өңделетін шикізатқа әсері жаттыр.

Кілтті сөздер: ЖВҚИЭР (жоғары вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разряд), мұнай шламы, мұнай қалдығы, катализатор, минералды бөлік.

### **Кіріспе**

Зерттеу маңыздылығы: Мұнай кешенінің негізгі проблемаларының бірі-көмірсутек шикізатын тұтынудың өсуі жағдайында жоғары сапалы мұнай қорларының азаюы. Сонымен қатар, мұнай кешені кәсіпорындарының қызметі қалдықсыз технология қағидатын іске асыруға әлі қол жеткізге алмауында, бұл туралы қоршаған ортаға теріс әсер ететін Қазақстан Республикасының мұнай өндіруші өңірлерінің аумағында жаңадан пайда болған мұнай қалдықтарын жинақтаушылардың көптігі айғақтайды [1, 12–23-бб.].

Қазіргі уақытта құрамында мұнай бар қалдықтарды қайта өңдеудің көптеген технологиялары дамуда, олар жол-құрылыс материалдары, мұнай өңдеудің әртүрлі технологиялық процесстерінің қайталама көмірсутекті шикізаты, қайталама мұнай өнімдері сияқты әртүрлі тауарлық өнімдерді ала отырып, олардың ресурстық әлеуетін пайдалануға бағыттау [2; 3].

Соңғы жылдары толқындық өңдеу әдістерін қолдану бағытында термиялық әдістер кеңінен таралуда, атап айтқанда жоғары жиілікті (ЖЖ) және ультра жоғары жиілікті (микротолқынды) диапазондарды қолдану үдерісі дамуда [4, 1–4–бб.].

Бұл мәселені шешу үшін күшті механикалық қысу, қуатты ультрадыбыстық, қатты рентген, ультракүлгін және ИҚ сәулеленудің затқа бір мезгілде әсерін біріктіретін ЖВҚИЭР (жоғары вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разряд) қолдануға болады.

Қысқа толқынды разряд үрдісінен пайда болған электромагниттік өрістер разрядтың өзіне де, оны қоршаған сұйықтықта жүретін иондық процесстерге де қатты әсер етеді. Олардың әсерінен өңделген материалда әртүрлі физикалық өзгерістер мен химиялық реакциялар жүретінін көрсетті [5, 3–4–бб.].

ЖВҚИЭР әсерінен мұнай мен мұнай өнімдеріне ұзақ уақыт бойы жоғары қарқынды разрядтар парафин молекулаларындағы С–С байланысын бұзады, нәтижесінде физика-химиялық құрамы (молекулалық салмақтың төмендеуі, кристалдану температурасы және т.б.) және мұнай өнімдерінің реологиялық қасиеттері (тұтқырлық, тығыздық, тұтану температурасы және т. б.) өзгеретіндігі анықталды [6; 7].

Мұнай қалдықтарын қалдықсыз кәдеге жарату технологиясы үшін мұнай шламдарын өңдеудегі ЖВҚИЭР технологиясы әдісінің негізінде өңделетін шикізатқа ЖВҚИЭР разрядтарының соққы-толқындарының әсері жатыр. Жоғары разрядты соққы толқындарының шикізат құрылымы бойынша өтуі кезінде ірі молекулалардың екі құрамдас бөлікке, минералды қоспаларға және көмірсутекке ыдырауы байқалады [8, 1-2-бб.].

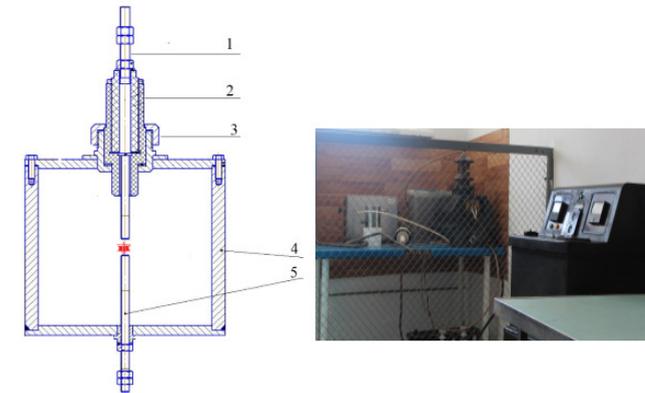
Шикі мұнай резервуарларын пайдаланудың маңызды мәселелерінің бірі-сол резервуарларды тазалау болып табылады. Резервуарлардың түбінде ұзақ уақыт пайдалану кезде тұнба жиналып, пайдалы сыйымдылықты азайтады және резервуарларды пайдалануды қиындатады. Тұнба аудан бойынша біркелкі бөлінбейді, оның ең үлкен қалыңдығы қабылдау-тарату құбырларынан алыс жерлерде жасалады, бұл резервуардағы мұнайдың нақты мөлшерін дәл өлшеуге мүмкіндік бермейді [9, 4-5-бб.].

Уақыт өте келе тұнба тығыздалады және жекелеген аймақтарда мұнай шламдарын тазалау өте қиын жағдайларға әкеледі. Резервуарларды сенімді пайдалану үшін оларды мезгіл-мезгіл жинақталған шөгінділерден (мұнай шламдарынан) тазарту қажет [10, 3-4-бб.].

#### Материалдар мен әдістері

Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының ішкі бетінде пайда болған мұнай шламдарының реологиялық қасиеттеріне қысқа толқынды электрогидравликалық құбылыстың әсерін зерттедік. Мұнай шламдарын қысқа толқында разрядтар мен өңдеу стендінің негізгі бөлігі ол зерттеу ұяшығы болып табылады. Бұл зерттеу жұмыстары Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының импульстік құбылыстар зертханасында жүргізілді және осы зертханада мұнай шламдарын өңдеуге арналған ұяшық құрастырылды.

1-суретте бөлімде зерттелетін шлам суспензиясында электр разрядтарын алуға арналған құрылғы көрсетілген.



1-оң электрод; 2-оң электродты оқшаулап тұрған диэлектрлік материал; 3-оң электрод пен оқшаулағыш материалды ұстап тұрған бұранда; 5-теріс электрод

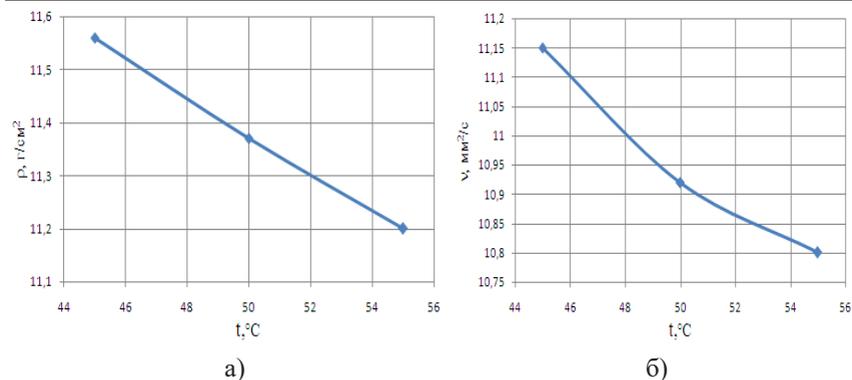
Сурет 1 – ЖВҚИЭР толқындары мен мұнай шламдарын өңдеуге арналған ұяшық және эксперименттері жүргізу зертханасы

Стендік зерттеулер жүргізу үшін ұяшыққа қауіпсіздік шараларын сақтай отырып, мұнай шламдары құйылды. 1 қақпақпен герметикалық жабылғаннан кейін зерттеу бағдарламасына сәйкес мұнай шламын жоғары вольтті қысқа толқынды разрядтармен өңделді, яғни ұяшық қақпағына оқшаулағыш материалға бекітілген оң полярлы электродқа жоғары вольтты импульстік кернеу беріледі, ал еріс полярлық электродтың рөлін контейнердің ішкі түбіне оқшаулағыш материалмен бекітілген 5 металл өзегі атқарады, оның корпусы жерге тұйықтау шиналары арқылы генератордың теріс полярлық полюсімен электрлік байланысқа ие.

Электродтар арасындағы қашықтық-жұмыс разрядының аралығы 1 оң полярлы және теріс полярлы электродтарды бұрау арқылы жүзеге асырылады.

#### Нәтижелер және талқылау

Мұнай шламының тұтқырлығын өлшеу 45-55°C температура аралығында жүргізілді. 2 (а, б)-суретте ЖВҚИЭР эффектісімен өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі температураға байланысты тұтқырлықты өлшеу нәтижелері келтірілген.



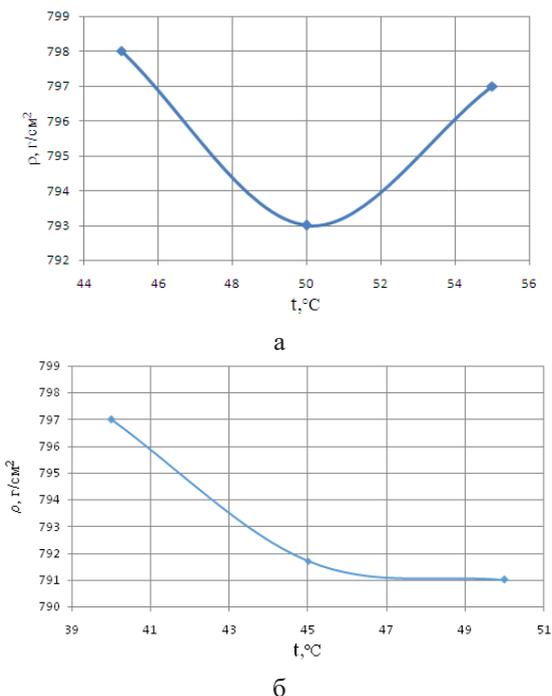
Сурет 2 – Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламының ЖВҚИЭР разрядтарымен өңдеуге дейінгі және кейінгі температураға тұтқырлықтың тәуелділігін өлшеу нәтижелері

2-суреттен көріп отырғанымыздай, Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламының кинематикалық тұтқырлығының мәні барлық температура аралықтарында төмендейді, бұл алифатты көмірсутектердің өсуіне және хош иісті заттардың азаюына байланысты екендігін анықтадық. Бұл парафинді қосылыс молекулаларындағы С–С байланыстары қысқа уақыт ішінде жоғары қарқындылықтағы электрогидроимпульсті соққы толқынының әсерінен бұзылатындығына байланысты, нәтижесінде физика-химиялық құрамы (молекулалық салмақтың төмендеуі, кристалдану температурасы және т.б.) және мұнай шламдарының қасиеттері (тұтқырлық, тығыздық, тұтану температурасы және т. б.) өзгеретіндігінде.

Осылайша, зерттеу нәтижелері Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламының кинематикалық тұтқырлығы шамасының төмендеуі ЖВҚИЭР-қондырғысының электрофизикалық қасиеттері, яғни өңдеу ұяшығындағы электрод аралық қашықтық 4 мм, өңдеу уақытының ұзақтығын 5 минут, коммутирлеуші қондырғының разряд кернеуі-25 кВ, конденсатор батареясының сыйымдылығы-0,5 мкФ-ты ұстану кезінде Атасу-Алашанькоу құбырларында пайда болған мұнай шламынан жеңіл және орта фракциялардың шығуын арттыратынын көрсетті.

Мұнай шламын эмульсия деп қарастыруға болады, мұнай өніміндегі су 10–15 %дан аспайды. Олардың көлемінің аддитивтілігіне мүмкіндік бере отырып, мұнай шламының орташа тығыздығын араластыра отырып анықтау қажет.

3 (а, б) суретте қысқа толқынды жоғары вольтты кернеу разрядтарымен өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі тығыздықтың температураға байланысты өлшеу нәтижелері келтірілген.



Сурет 3 – Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламын қысқа толқынды жоғары кернеулі разрядтарымен өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі тығыздықтың температураға тәуелділігін өлшеу нәтижелері

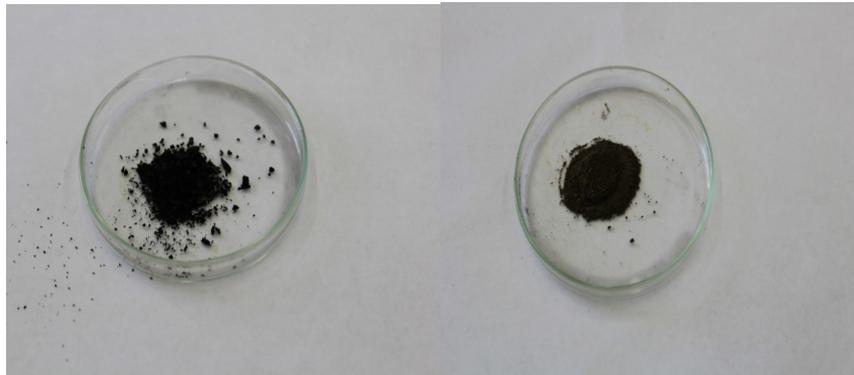
ЖВҚИЭР – әсерінен өңдеу ұяшығы ішінде қысым мен жылдамдықтың үлкен градиенттері мұнай шламының жеке және жоғары молекулалы қосылыстарының қарқынды қозуы жүретіндігі, нәтижесінде молекулааралық өзара әрекеттесу әлсірейтіндігін атап айтқан дұрыс. Жоғары молекулалы мұнай шламдары соққы толқындарының аймағына енгеннен кейін олардың С – С байланыстары ыдырайды, бұл мұқнай шламы құрамындағы әртүрлі көмірсутектердің қатынасының өзгеруіне әкеледі.

3-суреттен көріп отырғанымыздай, Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламының тығыздығының мәні барлық температура

аралықтарында төмендейді, бұл алифатты көмірсутектердің өсуіне және екі жағдайда да хош иісті заттардың азаюына байланысты, сонымен қатар жоғары вольтты қысқа толқынды импульстік разрядтармен 5-минут бойы мұнай шламын өңдеу оның тығыздығының максималды төмендеуіне әкелетіндігін көрсетті.

Қазіргі идеяларға сәйкес, механо ыдырау үздіксіз үрдіс ретінде қарастырылады, оның жекелеген кезеңдерінде бәсекелес деструкция және синтез реакциялары жүреді. Бұл тығыздықтың біртекті емес төмендеуімен түсіндіреді.

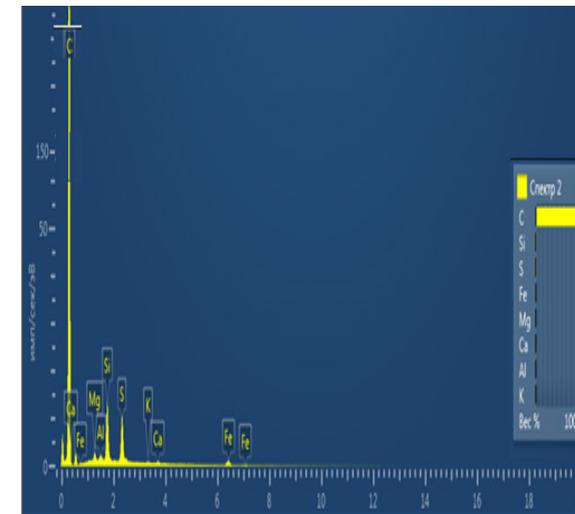
Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының жұмыс беттерінде түзілген мұнай шламының металлсыздануына ЖВҚИЭР-ның соққы толқындарының әсерін зерттеу үшін мұнай шламын 600 °С-қа қыздырғаннан кейін минералды бөліктері зерттелді. Келесі 4-суретте Мұнай шламының өңдеуге жейінгі және өңдеуден кейінгі минералды бөлігі көрсетілген.



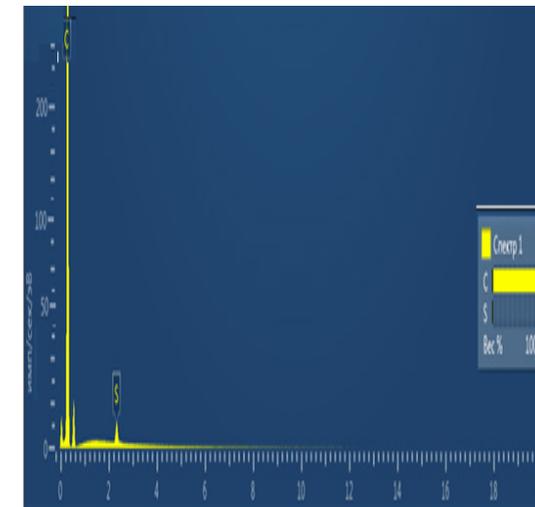
Сурет 4 – Мұнай шламын 600 °С-қа дейін қыздырғаннан кейінгі минералды бөлігі (а) ЖВҚИЭР-мен өңдеуге дейінгі (б) ЖВҚИЭР-мен өңдеуден кейінгі

Жоғары вольтты қысқа толқынды разрядтар мен өңдеуден кейінгі және өңдеуге дейінгі мұнай шламының минералды бөлігінің элементтік құрлымы MIRA 3 LMU (TESCAN) растірлі электронды микроскоппен зерттелінді, бұл микроскоп үлгі бетіндегі элементтік құрамды жергілікті анықтауға мүмкіндік береді.

5 (а, б) суретте мұнай шламының қатты фазасының микро құрлымындағы MIRA 3 LMU (TESCAN) растірлі электронды микроскопының зерттеулерінен алынған ауыр заттардың графигі келтірілген.



а) өңдеуге дейінгі



б) өңдеуден кейінгі

Сурет 5 – MIRA 3 LMU (TESCAN) растірлі электронды микроскопының Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламының минералды бөлігінің микроқұрлымының нәтижелері

MIRA 3 LMU (TESCAN) растрлық электронды микроскопымен келтірілген Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламын жоғары вольтты қысқа толқынды разрядтар мен металсыздандыру дәрежесі 100 % екенін көрсетті.

Атасу-Алашанькоу құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламының қатты фазасында ауыр металдардың жинақталуы химиялық белсенді топтармен (ОН, СООН, SO<sub>3</sub>, NH<sub>2</sub> және т.б.) кешен түзілуіне байланысты болуы мүмкін екенін көрсетті.

Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының жұмыс беттерінде түзілген мұнай шламындағы Mg, Al, Fe, Ca, K металдары мұнай асфальттендерінің негізін құрайтын порфиринді және порфиринді емес кешендерін құрайды.

Бұл жағдайда, яғни ЖВҚИЭР-мен өңдеу кезінде мұнай шламының молекулалары ядроаралық қашықтық кеңістігінде орналасуын өзгертеді, молекулалардың геометриясын бұрмаланады және гомолиз әрекеттерін тудырады. ЖВҚИЭР-мен мұнай шламдарын өңдеу жаңа радикалдардың пайда болуына және мұнай шламының молекулалық құрылымдарын одан әрі қайта құруға ықпал етеді.

Атасу-Алашанькоу мұнай тасымалдау құбырының ішінде түзілген мұнай шламын ЖВҚИЭР-дты толқындары мен бірінші ретті өңдеу кезінде мұнай шламының құрлымының өзгерісі оны айдау кезінде бөлінетін жеңіл және орташа фракцияның артуына әкеледі және құрамындағы су-мұнай эмульсияларындағы су тамшыларының коагуляциясын қарқындатады.

ЖВҚИЭР-ның Атасу-Алашанькоу мұнай тасымалдау құбырының ішінде түзілген мұнай шламының деструкциясына әсерін зерттеу барысының негізгі критеріі ретінде жеңіл және орташа фракциялардың қайнау температурасы 60 °С, одан әрі 200–300 °С аралығындағы жеңіл және орташа фракция шығымының көрсеткіші болды.

#### **Қаржыландыру туралы ақпарат**

Бұл зерттеуді Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № АР23483556).

#### **Қорытынды**

Жасалынған эксперименттік зерттеулер бізге ЖВҚИЭР-ның басқада толқындық әдістерге қарағанда бірқатар артықшылықтары бар екенін көрсетті, ең алдымен бұл үрдісті үздіксіз ағынды режимде жүргізуге мүмкіндік беретін және өндіріс жағдайында ең қолайлы болып табылатын үнемді әдіс деп тұжырымдауға болады.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Сатыбалдин, А. Ж.** Отчет о научно-исследовательской работе по теме ГФ «Утилизация нефтяных донных отложений в резервуарах с помощью электрогидравлического эффекта» № 3282-Ф-21 2021 г.

2 **Минигазимов, И. Н., Файзуллин, А. Ф.** Пути решения экологических проблем на предприятиях транспорта нефти и нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия – 2005 : Материалы международ. науч.-практ. конф./ ГУП ИНХП РБ. Уфа.: 2005. С. 350–351.

3 **Бижигітов Т., Аманбаев А., Баймахан Ә.Д.** Хош иісті көмірсутектердің физикалық қасиеттерін сипаттайтын параметрлеріне температураның әсерін зерттеу // Торайғыров хабаршысы. Физика сериясы – 2023. – № 1. – Б. 46–57 б.

4 **Бижигітов Т., Аманбаев А., Сейтқадыр А.** Органикалық қышқылдардың тұтқырлық коэффициентіне температураның әсерін зерттеу // Торайғыров хабаршысы. Физика сериясы – 2021. – № 4. – 25–33 б.

5 **Kussainov, K. K., Satybaldin, A., Sadenova, K. K., Sagimbekova, M. N.** Electrohydropulse technology of processing oil slimes and oil-containing technogenic raw materials. Eurasian Physical Technical Journal. – 2015. – V. 11, № 1 (23). – P. 65–69.

6 **Gimaltdinov, G. M., Sattarova, D. M.** The methods for cleaning and preventing the accumulation of bottom sediments in reservoirs // Oil and gas business. – 2006. – P. 1–12.

7 **Satybaldin, A. Zh., Zhakipbaev, B. Y., Tusipkhan, A., Khalikova, Z. S., Alpysova, G. K.** The Influence of A High-Voltage Discharge on the Oil Bottom Sediments Formed at the Oil Storage Facilities of the Atasu-Alashankou // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. Vol. 18(3). – P. 71–75.

8 **Shtin, I. V.** Technology of erosion of bottom sediments in reservoirs type of RVS // Pipeline transportation of oil. Appendix – 2001, № 12, P. 22 – 28.

9 **Kuvykin, N. A., Bubnov, A. G., Grinevich V. I.** Hazardous industrial waste // Study guide – 2004. – 148 p

10 **Хайдаров, Л. Р., Кудратова, С. К.** Разработка техники и технологии утилизации нефтяных отходов // Молодой ученый. – 2014. – № 11 (70). – С. 125–127.

## REFERENCES

1 **Satybaldin, A. Zh.** Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme GF «Utilizaciya neftyanyx donnyx otlozhenij v rezervuarax s pomoshh'yu e'lektrogidravlicheskogo e'ffekta» № 3282-Ф-21. [Report on the research work

on the topic of the GF «Utilization of oil bottom sediments in reservoirs using the electrohydraulic effect»] 2021.

2 **Minigazimov, I. N., Fayzullin, A. F.** Puti resheniya e`kologicheskix problem na predpriyatiyax transporta nefiti i nefteproduktov [Ways to solve environmental problems at oil and petroleum products transportation enterprises] // Oil refining and petrochemistry – 2005 : Materials of the international scientific and practical conf../ ГУП ИНХП РБ. Ufa. : 2005. – P. 350 –351.

3 **Bizhigitov T., Amanbaev A. Baymakhan D.** Xosh iisti kɵmirsutekterdiң fizikalıy`k qasietterin sipattajtu`n parametrlerine temperaturany`ң əserin zertteu [Study of the influence of temperature on the parameters of aromatic hydrocarbons characterizing their physical properties] // Торайғыров хабршысы. Физика сериясы – 2023. – № 1. – 46–57 p.

4 **Bizhigitov T., Amanbayev A., Seitkadir A.** Organikalıy`k ku`shku`ldardy`n tıqtıy`rly`k koeficientine temperaturany`ң əserin zertteu [Study of the effect of temperature on the viscosity coefficient of organic acids] // Торайғыров хабршысы. Физика сериясы. – 2021. – № 4. – 25–33 p.

5 **Kussainov, K. K., Satybaldin, A., Sadenova, K. K., Sagimbekova, M. N.** Electrohydropulse technology of processing oil slimes and oil-containing technogenic raw materials. Eurasian Physical Technical Journal. – 2015. – V.11, № 1 (23). – P. 65–69.

6 **Gimaletdinov, G. M., Sattarova, D. M.** The methods for cleaning and preventing the accumulation of bottom sediments in reservoirs // Oil and gas business. – 2006, P. 1–12.

7 **Satybaldin, A. Zh., Zhakipbaeyev, B. Y., Tusipkhan, A., Khalikova, Z. S., Alpysova, G. K.** The Influence of A High-Voltage Discharge on the Oil Bottom Sediments Formed at the Oil Storage Facilities of the Atasu-Alashankou // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. Vol. 18(3). – P. 71–75.

8 **Shtin, I. V.** Technology of erosion of bottom sediments in reservoirs type of RVS // Pipeline transportation of oil. Appendix – 2001, № 12. – P. 22–28.

9 **Kuvykin, N. A., Bubnov, A. G., Grinevich V. I.** Hazardous industrial waste // Study guide. – 2004. – 148 p.

10 **Khaidarov, L. R., Kudratova, S. K.** Razrabotka texniki i texnologii utilizacii neftyany`x otxodov [Development of equipment and technology for the disposal of oil waste] // A young scientist. – 2014. – № 11 (70). – P. 125–127.

23.10.24 ж. баспаға түсті.

29.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.11.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\***А. Ж. Сатыбалдин<sup>1</sup>, М. И. Байкенов<sup>2</sup>, Б. Б. Жандыбаев<sup>3</sup>,  
Р. С. Сейтжан<sup>4</sup>, Д. Н. Бердибаев<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Қарагандинский исследовательский университет им. академика Е. А.

Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда

Поступило в редакцию 23.10.24.

Поступило с исправлениями 29.10.24.

Принято в печать 11.11.2024.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВКЭР НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЕШЛАМОВ АТАСУ-АЛАШАНЬКОУ

*На нефтеперерабатывающих предприятиях образуются все виды нефтесодержащих отходов – так называемый нефтешлам и нефтесодержащие техногенные сырье. Они образуются из стоков, нефтяного остатка, из процессов очистки, в особенности, при удалении осадка нефтяных цистерн, утилизации или ликвидации нефтешламов и нефтесодержащего техногенного сырья, как правило, является сложной технической задачей. Успех ее решения в значительной степени зависит от того, на каких принципах базируются теоретические, экспериментальные лабораторные и технологические разработки, направленные на уничтожение, переработку или детоксикацию нефтеотходов. Научный подход к процессам переработки нефтесодержащих отходов имеет первостепенное значение. Наиболее целесообразной представляется комплексная утилизация, т.е. переработка нефтесодержащих отходов с максимальным учетом свойств и использованием всех составляющих, в результате которой отходы становятся сырьем, реагентами или наполнителями в процессе производства продукции или участвуют в переработке других отходов. Новизной статьи является использование ВКЭР (высоковольтный короткоимпульсный электрогидравлический разряд) технологии в переработке нефтешламов и нефтесодержащего техногенного сырья для безотходной технологии утилизации нефтеотходов в промышленных условиях. В основе данного метода лежит ударно-волновое взаимодействие ВКЭР разрядов на обрабатываемое сырье. При прохождении ударной волны по структуре сырья наблюдается разрушения крупных молекул на две составляющие, минеральные примеси и на углеводород*

**Ключевые слова:** ВКЭГР (высоковольтный короткоимпульсный электрогидравлический разряд), нефтешлам, нефтеотход, катализатор, минеральная часть.

\*A. Zh. Satybaldin<sup>1</sup>, M. I. Baikenov<sup>2</sup>, B. B Zhandybayev<sup>3</sup>,  
R. S. Seitzhan<sup>4</sup>, D. N. Berdibayev<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Karaganda Research University named after Academician E. A. Buketova,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda  
Received 23.10.24.  
Received in revised form 29.10.24.  
Accepted for publication 11.11.24.

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE VEGR ON THE RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ATASU-ALASHANKOU OIL SLUDGE

*All types of oil-containing waste are generated at oil refineries - the so-called oil sludge and oil-containing technogenic raw materials. They are formed from wastewater, oil residue, from cleaning processes, especially when removing sediment from oil tanks, recycling or eliminating oil sludge and oil-containing man-made raw materials, as a rule, is a difficult technical task. The success of its solution largely depends on the principles on which theoretical, experimental laboratory and technological developments aimed at the destruction, processing or detoxification of oil waste are based. A scientific approach to the processing of oily waste is of paramount importance. The most expedient is complex disposal, i.e. processing of oily waste with maximum consideration of properties and the use of all components, as a result of which waste becomes raw materials, reagents or fillers in the production process or participates in the processing of other waste. The novelty of the article is the use of EKEGR (high-voltage short-pulse electrohydraulic discharge) technology in the processing of oil sludge and oil-containing man-made raw materials for a waste-free technology for the disposal of oil waste in field conditions. This method is based on the shock-wave interaction IN the PLAY of discharges on processed raw materials. When a shock wave passes through the structure of the raw material, the destruction of large molecules into two components, mineral impurities and hydrocarbon, is observed.*

**Keywords:** VEGR (high-voltage short-pulse electrohydraulic discharge), oil sludge, oil waste, catalyst, mineral part.

МРНТИ 29.35.19

<https://doi.org/10.48081/CWZ13142>

**С. К. Тлеуменов<sup>1</sup>, \*Т. С. Досанов<sup>2</sup>,  
А. Б. Искакова<sup>3</sup>, М. Ж. Султанова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5673-2022>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7839-6104>

\*e-mail: [tgooglmail@gmail.com](mailto:tgooglmail@gmail.com)

### О РАСПРОСТРАНЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ МОНОКЛИННОЙ СИНГОНИИ

*В работе в рамках метода матрицанта исследованы закономерности распространения электромагнитных волн  $s$  и  $p$  поляризации в неоднородных вдоль оси  $Ox$  анизотропных средах моноклиной сингонии. Методом разделения переменных и представления решения в виде гармонических волн полная система уравнений, состоящая из уравнений Максвелла и материальных уравнений, приведена к системе обыкновенных дифференциальных уравнений 1-го порядка разрешенных относительно производных. Построена структура матрицы коэффициентов. Проведен анализ структуры матрицы коэффициентов в случае распространения волны вдоль координатных плоскостей и вдоль оси  $Ox$ . В случае распространения электромагнитных волн вдоль плоскости  $xOy$  для периодически неоднородной среды в длинноволновом приближении получено выражение  $x$ -вой компоненты волнового вектора. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при анализе волновых процессов в неоднородных анизотропных средах. В дальнейшем, опираясь на полученные в работе результаты, может быть исследован вопрос об углах сноса между фазовой скоростью электромагнитных волн и потоком вектора Умова-Пойтинга в анизотропных средах моноклиной сингонии, может быть решена*

задача отражения электромагнитных волн на границе раздела анизотропных сред моноклинной сингонии.

Ключевые слова: электромагнитные волны, TE и TM волны, анизотропная среда, матрица коэффициентов, метод матрицанта.

### Введение

Методы исследования распространения электромагнитных волн в кристаллах изложены в фундаментальных работах [1; 2]. В работе [3] исследуются проблемы дифракции электромагнитных волн.

В данной статье на основе метода матрицанта [4] исследуются закономерности распространения электромагнитных волн в неоднородных анизотропных средах моноклинной сингонии. Неоднородность среды вдоль оси  $Ox$ .

Методом матрицанта исследуются закономерности распространения связанных волн в различных анизотропных средах [5, с. 3535], термоупругие волны [6], электромагнитные волны [7], волны в жидких кристаллах [8, с. 1391].

Материалы и методы. Полная система уравнений описывающих распространение электромагнитных волн в анизотропных средах состоит из уравнений Максвелла и материальных уравнений:

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}, \text{rot}\vec{H} = -\frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \quad (1)$$

$$D_i = \varepsilon_0\varepsilon_{ij}E_j, B_i = \mu_0\mu_{ij}H_j \quad (2)$$

здесь  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  – напряженности электрического и магнитного поля;  $\vec{D}$ ,  $\vec{B}$  – индукции электрического и магнитного поля;  $\varepsilon_0$ ,  $\mu_0$  – электрическая и магнитная постоянные;  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\mu_{ij}$  – тензоры диэлектрической и магнитной проницаемости. Плотность тока и плотность свободных зарядов предполагаются равными нулю.

Для кристаллов моноклинной сингонии, в случае, когда ось симметрии второго порядка параллельна оси  $Oz$ , тензор диэлектрической и магнитной проницаемостей имеют вид [9, с. 339, 10, с. 133]:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & 0 \\ \varepsilon_{12} & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}, \mu_{ij} = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & 0 \\ \mu_{12} & \mu_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{33} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Используя метод разделения переменных и представления решения в виде гармонических волн:

$$f(x, y, z, t) = f(x)e^{i(\omega t - k_y y - k_z z)} \quad (4)$$

система (1)-(3) приводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений разрешенных относительно производной:

$$\begin{aligned} \frac{dE_z}{dx} &= \frac{ik_y\mu_{12}}{\mu_{11}}E_z + i\omega\left(\mu_0\mu_{22} - \frac{k_z^2}{\omega^2\varepsilon_0\varepsilon_{11}} - \frac{\mu_0\mu_{12}^2}{\mu_{11}}\right)H_y + \\ &+ \frac{ik_yk_z}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_{11}}H_z + ik_z\left(\frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}}\right)E_y \\ \frac{dH_y}{dx} &= i\omega\left(\varepsilon_0\varepsilon_{33} - \frac{k_y^2}{\omega^2\mu_0\mu_{11}}\right)E_z + \frac{ik_y\mu_{12}}{\mu_{11}}H_y + \frac{ik_yk_z}{\omega\mu_0\mu_{11}}E_y \\ \frac{dH_z}{dx} &= -\frac{ik_yk_z}{\omega\mu_0\mu_{11}}E_z - ik_z\left(\frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}}\right)H_y + \\ &+ \frac{ik_y\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}}H_z - i\omega\left(\varepsilon_0\varepsilon_{22} - \frac{k_z^2}{\omega^2\mu_0\mu_{11}} - \frac{\varepsilon_0\varepsilon_{12}^2}{\varepsilon_{11}}\right)E_y \\ \frac{dE_y}{dz} &= -\frac{ik_yk_z}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_{11}}H_y - i\omega\left(\mu_0\mu_{33} - \frac{k_y^2}{\omega^2\varepsilon_0\varepsilon_{11}}\right)H_z + \frac{ik_y\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}}E_y \end{aligned}$$

X-вые компоненты напряженностей электрического и магнитного полей

$$\begin{aligned} E_x &= \frac{k_z}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_{11}}H_y - \frac{k_y}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_{11}}H_z - \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}}E_y \\ H_x &= \frac{k_y}{\omega\mu_0\mu_{11}}E_z - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}}H_y - \frac{k_z}{\omega\mu_0\mu_{11}}E_y \end{aligned}$$

Результаты и обсуждение. Систему обыкновенных дифференциальных уравнений (5) записывают в матричном виде:

$$\frac{d\vec{w}}{dx} = \hat{B}\vec{w} \quad (6)$$

где

$$\hat{B} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{11} & 0 & b_{24} \\ -b_{24} & -b_{14} & b_{33} & b_{34} \\ 0 & -b_{13} & b_{43} & b_{33} \end{pmatrix}, \vec{w} = \begin{pmatrix} E_z \\ H_y \\ H_z \\ E_y \end{pmatrix} \quad (7)$$

(7) – матрица коэффициентов и вектор столбец напряженностей электромагнитного поля.

$$b_{11} = ik_y \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}}; b_{12} = i\omega \left( \mu_0 \mu_{22} - \frac{\mu_0 \mu_{12}^2}{\mu_{11}} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} \right); b_{13} = \frac{ik_y k_z}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{11}};$$

$$b_{14} = ik_z \left( \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}} \right); b_{21} = i\omega \left( \varepsilon_0 \varepsilon_{33} - \frac{k_y^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_{11}} \right); b_{24} = \frac{ik_y k_z}{\omega \mu_0 \mu_{11}};$$

$$b_{33} = ik_y \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}}; b_{34} = -i\omega \left( \varepsilon_0 \varepsilon_{22} - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{12}^2}{\varepsilon_{11}} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_{11}} \right);$$

$$b_{43} = -i\omega \left( \mu_0 \mu_{33} - \frac{k_y^2}{\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} \right).$$

Структура матрицы коэффициентов позволяет сделать вывод, что в случае не равенства нулю компонент волнового вектора  $k_y$  и  $k_z$  электромагнитные ТЕ и ТМ волны связаны.

В случае распространения электромагнитных волн вдоль плоскости  $xOz$  ( $k_y = 0$ ) структура матрицы коэффициентов показывает, что и в этом случае электромагнитные ТЕ и ТМ волны связаны (элемент  $b_{14}$ ).

$$\hat{B} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & 0 & b_{14} \\ b_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -b_{14} & 0 & b_{34} \\ 0 & 0 & b_{43} & 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{где } b_{12} = i\omega \left( \mu_0 \mu_{22} - \frac{\mu_0 \mu_{12}^2}{\mu_{11}} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} \right); b_{14} = ik_z \left( \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}} \right);$$

$$b_{21} = i\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{33}; b_{34} = -i\omega \left( \varepsilon_0 \varepsilon_{22} - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{12}^2}{\varepsilon_{11}} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_{11}} \right); b_{43} = -i\omega \mu_0 \mu_{33}.$$

X-вые компоненты напряженностей электромагнитного поля:

$$E_x = \frac{k_z}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} H_y - \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} E_y$$

$$H_x = -\frac{\mu_{12}}{\mu_{11}} H_y - \frac{k_z}{\omega \mu_0 \mu_{11}} E_y$$

Если рассматривать распространение электромагнитных волн вдоль плоскости  $xOy$  ( $k_z = 0$ )

$$\hat{\mathbf{B}} = \begin{pmatrix} \mathbf{b}_{11} & \mathbf{b}_{12} & 0 & 0 \\ \mathbf{b}_{21} & \mathbf{b}_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{b}_{33} & \mathbf{b}_{34} \\ 0 & 0 & \mathbf{b}_{43} & \mathbf{b}_{33} \end{pmatrix} \quad (9)$$

где  $\mathbf{b}_{11} = ik_y \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}}$ ;  $\mathbf{b}_{12} = i\omega \left( \mu_0 \mu_{22} - \frac{\mu_0 \mu_{12}^2}{\mu_{11}} \right)$ ;  $\mathbf{b}_{21} = i\omega \left( \varepsilon_0 \varepsilon_{33} - \frac{k_y^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_{11}} \right)$   
;  $\mathbf{b}_{33} = ik_y \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}}$ ;  $\mathbf{b}_{34} = -i\omega \left( \varepsilon_0 \varepsilon_{22} - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{12}^2}{\varepsilon_{11}} \right)$ ;  $\mathbf{b}_{43} = -i\omega \left( \mu_0 \mu_{33} - \frac{k_y^2}{\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} \right)$ .

X-вые компоненты напряженностей электромагнитного поля

$$\mathbf{E}_x = -\frac{k_y}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} \mathbf{H}_z - \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} \mathbf{E}_y$$

$$\mathbf{H}_x = \frac{k_y}{\omega \mu_0 \mu_{11}} \mathbf{E}_z - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}} \mathbf{H}_y$$

Как видно из структуры матрицы коэффициентов (9), в случае распространения волн в плоскости  $xOy$  ( $k_z = 0$ ) электромагнитные ТЕ и ТМ волны распространяются независимо друг от друга.

Уравнения дисперсии волн следуют из условия:

$$\text{Det}[\hat{\mathbf{P}} - p\hat{\mathbf{I}}] = 0 \quad (10)$$

Если рассматривается периодически неоднородная среда, то в длинноволновом приближении, когда период неоднородности много меньше длины электромагнитных волн:

$$\hat{\mathbf{P}} = \hat{\mathbf{I}} + \frac{\hat{\mathbf{B}}^2 h^2}{2} \quad (11)$$

и

$$p = \cos kh \approx 1 - \frac{k^2 h^2}{2} \quad (12)$$

Из матрицы коэффициентов (10) получаем для электромагнитной ТЕ волны:

$$\hat{\mathbf{B}} = \begin{pmatrix} \mathbf{b}_{11} & \mathbf{b}_{12} \\ \mathbf{b}_{21} & \mathbf{b}_{11} \end{pmatrix}, \quad \vec{\mathbf{w}} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_z \\ \mathbf{H}_y \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{H}_x = \frac{k_y}{\omega \mu_0 \mu_{11}} \mathbf{E}_z - \frac{\mu_{12}}{\mu_{11}} \mathbf{H}_y$$

Тогда для x-вой компоненты волнового вектора электромагнитной ТЕ волны в длинноволновом приближении получим:

$$k_x^2 = -\mathbf{b}_{11}^2 - \mathbf{b}_{12} \mathbf{b}_{21} \pm 2\sqrt{\mathbf{b}_{11}^2 \mathbf{b}_{12} \mathbf{b}_{21}} \quad (14)$$

А для электромагнитной ТМ волны:

$$\hat{\mathbf{B}} = \begin{pmatrix} \mathbf{b}_{33} & \mathbf{b}_{34} \\ \mathbf{b}_{43} & \mathbf{b}_{33} \end{pmatrix}, \quad \vec{\mathbf{w}} = \begin{pmatrix} \mathbf{H}_z \\ \mathbf{E}_y \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\mathbf{E}_x = -\frac{k_y}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{11}} \mathbf{H}_z - \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11}} \mathbf{E}_y$$

Выводы. В данной работе на основе метода матрицанта исследованы закономерности распространения электромагнитных волн в неоднородных анизотропных средах моноклинной сингонии. Неоднородность среды предполагалась вдоль оси  $Ox$ . Построена структура матрицы коэффициентов и проведён её анализ. В случае распространения электромагнитных волн вдоль плоскости  $xOy$  для периодически неоднородной среды в длинноволновом приближении получено выражение x-вой компоненты волнового вектора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Федоров, Ф. И.** Теория гиротропии. – Минск.: Наука и техника, 1976. – 456 с.
- 2 **Ярив, А., Юх, П.** Оптические волны в кристаллах – Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 616 с.
- 3 **Фок, В. А.** Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн. М.: Изд-во «Советское радио», 1970. – 520 с.
- 4 **Tleukenov, S. K.** Matricant Method. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 157 p.
- 5 **Tleukenov, S. K.** A method for the analytical description of coupled-field waves in various anisotropic media//ACTA MECHANICA. 2014. Том: 225. Выпуск: 12. С. 3535–3547.
- 6 **Ispulov, N.A., Zhumabekov, A.Zh., Qadir, A., Kurmanov, A.A., Sarymova, Sh.N., Dossumbekov, K.R. Arinov, E.** The Propagation of Thermoelastic Waves in Different Anisotropic Media Using Matricant Method // Advances in Mathematical Physics. – Volume 2022. – Article ID 5787899, 8 p.
- 7 **Kurmanov, A. A., Ispulov, N. A., Qadir, A., Zhumabekov, A. Zh., Sarymova, Sh. N., Dossumbekov, K. R.** Propagation of electromagnetic waves in stationary anisotropic media // Physica Scripta – 2021. – Vol. 96, № 8. – 085505.
- 8 **Dossumbekov, K. R., Ispulov, N. A., Kurmanov, A. A., Zhumabekov, A. Zh.** Propagation of Electromagnetic Waves in Cholesteric Liquid Crystals // RUSSIAN PHYSICS JOURNAL. 2021. – Volume: 64. Issue 8. – P. 1391–1399.
- 9 **Шувалов, Л. А., Урусовская, А. А., Желудев, И. С., и др.** Современная кристаллография (в четырёх томах). Том 4. Физические свойства кристаллов / под редакцией Б. К. Вайнштейна – М.: Наука, 1981. – 496 с.
- 10 **Сонин, А. С.** Курс макроскопической кристаллофизики: Учеб. пособ.: для вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 256 с.

REFERENCES

- 1 **Fedorov, F. I.** Teoriya girootropii. [Gyrotropy theory] – Minsk. \_ Nauka i tehnika\_ 1976. – 456 p.
- 2 **Yariv, A., Yuh, P.** Opticheskie volni v kristallah [Optical waves in crystals] – Per. s angl. – М.: Mir, 1987. – 616 p.
- 3 **Fok, V. A.** Problemi difrakcii i rasprostraneniya elektromagnitnih voln. [Problems of diffraction and propagation of electromagnetic waves] М.: Izd-vo «Sovetskoe radio», 1970. – 520 p.
- 4 **Tleukenov, S. K.** Matricant Method. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 157 p.

- 5 **Tleukenov, S. K.** A method for the analytical description of coupled-field waves in various anisotropic media//ACTA MECHANICA. 2014. Volume: 225. Issue: 12. – P. 3535–3547.
- 6 **Ispulov, N. A., Zhumabekov, A. Z., Qadir, A., Kurmanov, A. A., Sarymova, Sh. N., Dossumbekov, K. R. Arinov, E** The Propagation of Thermoelastic Waves in Different Anisotropic Media Using Matricant Method // Advances in Mathematical Physics. – Volume 2022. – Article ID 5787899, 8 p.
- 7 **Kurmanov, A. A., Ispulov, N. A., Qadir, A., Zhumabekov, A. Zh., Sarymova, Sh. N., Dossumbekov, K. R.** Propagation of electromagnetic waves in stationary anisotropic media // Physica Scripta – 2021. – Vol. 96, № 8. – 085505.
- 8 **Dossumbekov, K. R., Ispulov, N. A., Kurmanov, A. A., Zhumabekov, A. Zh.** Propagation of Electromagnetic Waves in Cholesteric Liquid Crystals // RUSSIAN PHYSICS JOURNAL. 2021. – Volume: 64. – Issue 8. – P. 1391–1399.
- 9 **Shuvalov, L. A., Urusovskaya, A. A., Zheludev, I. S., i dr.** Sovremennaya kristallografiya [Modern crystallography] (v chetyreh tomah). Том 4. Fizicheskie svoystva kristallov [Physical properties of crystals] / pod redakciei B. K. Vainshteina – М.: Nauka, 1981. – 496 p.
- 10 **Sonin, A. S.** Kurs makroskopicheskoj kristalofiziki [Course of macroscopic crystal physics]: Ucheb. posob.: dlya vuzov. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 256 p.

Поступило в редакцию 11.10.24.

Поступило с исправлениями 12.10.24.

Принято в печать 06.12.2024.

**С. Қ. Тлеукев<sup>1</sup>, \*Т. С. Досанов<sup>2</sup>, А. Б. Исакова<sup>3</sup>, М. Ж. Султанова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2,3,4</sup>Торайғыров атындағы университет,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

11.10.24 ж. баспаға түсті.

12.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

06.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**МОНОКЛИНДІК СИНГОНИЯЛЫ АНИЗОТРОПТЫ ОРТАЛАРДА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ ТУРАЛЫ**

*Жұмыста матрицант әдісі шеңберінде моноклиндік сингониялы  $Ox$  осі бойынша біртексіз анизотропты орталарында  $s$  және  $p$  поляризациялы электромагниттік толқындарының таралу заңдылықтары зерттелді. Айнымалыларды бөлу және шешімді*

гармоникалық толқындар түрінде ұсыну арқылы Максвелл теңдеулері мен материалдық теңдеулерден тұратын теңдеулердің толық жүйесі туындыларға қатысты шешілген 1-ші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтірілген. Коэффициент матрицасының құрылымы құрылды. Толқындардың координаталық жазықтықтар бойымен және  $0x$  осі бойымен таралуы жағдайында коэффициенттер матрицасының құрылымына талдау жүргізілді. электромагниттік толқындар  $x0y$  жазықтығы бойымен периодты гетерогенді орта үшін тараған жағдайда, толқын векторының  $x$  компонентінің өрнегі ұзақ толқындық жуықтауда алынады. Жұмыста алынған нәтижелер. біртекті емес анизотропты ортадағы толқындық процестерді талдауда қолдануға болады. Болашақта жұмыста алынған нәтижелерге сүйене отырып, электромагниттік толқындардың фазалық жылдамдығы мен моноклиндік сингонияның анизотропты ортасындағы умов-Пойтинг векторының ағыны арасындағы бұзылу бұрыштары туралы мәселені зерттеуге болады, моноклиндік сингонияның анизотропты ортасының интерфейсінде Электромагниттік толқындарды шағылыстыру мәселесі шешілуі мүмкін.

Кілтті сөздер: электромагниттік толқындар,  $te$  және  $tm$  толқындары, анизотропты орта, коэффициент матрицасы, матрицант әдісі.

equations and material equations is reduced to a system of ordinary differential equations of the 1st order resolved with respect to derivatives. The structure of the coefficient matrix is constructed. The analysis of the structure of the coefficient matrix is carried out in the case of wave propagation along the coordinate planes and along the  $0x$  axis. In the case of propagation of electromagnetic waves along the  $x0y$  plane for a periodically inhomogeneous medium, an expression for the  $x$ -component of the wave vector is obtained in the long-wave approximation. The results obtained in the work can be used in the analysis of wave processes in inhomogeneous anisotropic media. In the future, based on the results obtained in the work, the issue of drift angles between the phase velocity of electromagnetic waves and the flow of the Umov-Poynting vector in anisotropic media of monoclinic syngony can be investigated, and the problem of reflection of electromagnetic waves at the interface of anisotropic media of monoclinic syngony can be solved.

Keywords: electromagnetic waves, TE and TM waves, anisotropic media, coefficient matrix, matricant method.

**S. K. Tleukenov<sup>1</sup>, \*T. S. Dossanov<sup>2</sup>, A. B. Iskakova<sup>3</sup>, M. Zh. Sultanova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Gumilyov Eurasian national university, Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>2,3,4</sup>Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 11.10.24.

Received in revised form 12.10.24.

Accepted for publication 06.12.24.

## ON THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN ANISOTROPIC MEDIA OF MONOCLINIC SYNGONY

*In this work, within the framework of the matricant method, the regularities of propagation of electromagnetic waves of  $s$  and  $p$  polarizations in inhomogeneous along the  $0x$  axis anisotropic media of monoclinic syngony are investigated. By the method of separation of variables and representation of the solution in the form of harmonic waves, the complete system of equations consisting of Maxwell's*

FTAMP 01.02.04

<https://doi.org/10.48081/KACG4714>

**\*Ж. Бимұрат<sup>1</sup>, Б. Ж. Сағындықов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Д. А Қонаев атындағы тау-кен институты,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>2</sup>Сәтбаев Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

\*e-mail: [bimuratzhanar@gmail.com](mailto:bimuratzhanar@gmail.com)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

## **ЖОҒАРЫ ДЕҢГЕЙЛІ ОБЪЕКТИЛІ-БАҒЫТТАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛАУ ТІЛІНДЕ ДУАЛ САНДАРДЫҢ ҚОЛДАНЫСЫН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ**

Бұл жұмыста автоматты дифференциалдауды жүзеге асыру үшін дуал сандар және олардың функциялары қарастырылды. Дуал сандардың алгебралық, тригонометриялық, көрсеткіштік және матрицалық көрсеткіштіктері анықталды. Дуал аргументті және дуал мәнді элементар функциялардың Тейлор қатарына жіктелуі берілді. Нәтижесінде нақты аргументті нақты мәнді функцияның мәні және бір мезгілде оның туындысының мәнін табатын маңызды формула алынды. Функцияның туындыларын есептеудің көптеген әдістері бар. Қарапайым мақсаттық функциялардың туындыларын аналитикалық жолмен алуға (қолмен шығаруға) және формулаларын енгізуге болады. Бұл өте дәл және тиімді тәсіл. Алайда мақсаттық функция күрделене түскен сайын қорытынды нәтиже де күрделене түседі және көп уақытты қажет етеді. Қолмен шығарудың көптеген нұсқалары бар. Бұл әдістер әртүрлі дәлдік деңгейімен және есептеу тиімділігімен ерекшеленеді. Сондай-ақ мақалада дуал сандар есептеу дәлдігін жоғалтпайтын классикалық дифференциалдауды жүзеге асырудың таза құралы ретінде қарастырылады. Автоматты дифференциалдау ақырлы айырымдар әдісімен салыстырғанда артықшылыққа ие. Өйткені ақырлы айырымдар әдісінде тәуелсіз айнымалының өсімісін

таңдау есептеудің қателігіне әсер етеді және оны регуляризация әдісімен шешу керек.

Жұмыс үш бөлімнен тұрады. Бірінші бөлімде қажетті анықтамалар енгізілді және дуал сандардың қасиеттері анықталды. Екінші бөлімде функцияларды дифференциалдау үшін дуал сандардың қолданылуы сипатталады. Үшінші бөлімде дуал сандарға негізделген автоматты дифференциалдау Python бағдарламалау тілінде жүзеге асырылды.

*Кілтті сөздер:* жалпы комплекс сандар, дуал сандар, қос сандар, Муавр формуласы, автоматты дифференциалдау.

### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта әртүрлі комплекс сандар өте қарқынды зерттелуде [1; 2; 3; 4]. Комплекс сандар ілімімен бүгінгі күнге дейін шешілмеген есептерді қарастыруда көптеген елдердің ғалымдары жұмыс істейді. Жалпы комплекс сандар әртүрлі үш жүйеге келтіріледі, атап айтқанда – эллипстік, гиперболалық және параболалық комплекс сандар жүйесі [5; 6; 7; 8]. Бұл жүйелердің дербес түрлері сәйкесінше қарапайым комплекс, қос және дуал сандар деп аталады. Қарапайым комплекс сандар екінші және жоғарғы дәрежелі алгебралық теңдеулерді шешу мәселесімен тығыз байланысты. Сондай-ақ алгебрада және математикалық талдаудың көптеген бөлімдерінде маңызды роль атқарады. Қос және дуал сандардың нақты коэффициентті квадрат теңдеулер теориясына ешқандай қатысы жоқ. Қос және дуал сандар теориясы жалпы алгебрамен салыстырмалы түрде байланысты. Бұл сандардың негізгі қосымшалары геометрияда кездеседі.

1871 жылы Уильям Клиффорд дуал сандарды енгізді, ал Эдуард Студи кеңістікте екі қиғаш сызықтың орналасуына қатысты анықталатын дуал бұрышты табуға қолданды. «Клиффорд бойынша» дуал сан деп,

$$z = x + \varepsilon y \quad \varepsilon^2 = 0$$

түріндегі санды айтады. Біздің ғасырда есептеу техникасының дамуымен автоматты дифференциалдау деп аталатын жаңа бағыт пайда болды [9; 10; 11].

Автоматты дифференциалдау (АД) компьютерлік кодпен ұсынылған функцияның туындыларының дәл мәнін есептеумен байланысты облыс. Әдетте автоматты дифференциалдау әдістері компьютерлік кодтағы әр операторға дифференциалдау тізбегінің ережесін бірнеше рет қолдану негізінде әзірленеді.

Автоматты дифференциалдау дуал сандарды дуал аргументті дуал мәнді функцияларды қолдануға және күрделі математикалық функциялардың туындыларын есептеуде кететін қателікті компьютерлік жүйенің санды ұсыну

дәлдігіне дейін табуға негізделген. Автоматты дифференциалдауды енгізу үшін деректердің жаңа түрін жасау қажет. Ол үшін негізгі математикалық амалдар мен оларға қолданылатын амалдар компьютерлік жүйеге енгізіледі. Егер деректердің жаңа түрлері дуал сандардың негізінде құрылатын болса, онда функцияның және оның жоғарғы ретті туындыларының да мәндері есептеледі [12; 13; 14]. Жұмыста автоматты дифференциалдау әдісінің дәлдігін ақырлы айырымдар әдісімен салыстыру үшін nabra кітапханасы пайдаланылды [15].

Материалдар мен әдістері

Дуал сандар және олардың қасиеттері. Дуал сандар жалпы комплекс сандардың құрамына кіреді. Евклид жазықтығында қайсыбір қиғаш бұрышты координаттар жүйесіне қатысты қарастырылатын ағымдық нүктенің орны алгебралық түрде жазылған

$$z = x + py, \quad p^2 = -\theta_0 + p\theta_1 \quad (1)$$

жалпы комплекс саны арқылы анықталады, мұнда  $\theta_0, \theta_1$  – басқарушы параметрлер деп аталатын оң бүтін сандар.

Егер (1) өрнекте болса, онда  $\theta_0 = \theta_1 = 0$

$$z = x + \varepsilon y \quad \varepsilon^2 = 0 \quad (2)$$

саны алгебралық түрде жазылған дуал сан деп аталады, мұнда  $x = Rez$  – дуал санның нақты бөлігі, ал  $y = Imz$  – дуал санның жорамал бөлігі.  $\varepsilon$  абстракт элементі дуал санның жорамал бөлігінің негізгі базалық элементі.  $n > 1$  кезде  $\varepsilon \neq 0$  және  $\varepsilon^n = 0$ .

Дуал сандар үшін теңдік, қосу, көбейту және бөлу амалдары енгізілген:

1)  $z = x + \varepsilon y$  және  $w = u + \varepsilon v$  дуал сандары үшін  $x = u$  және  $y = v$  теңдіктері орындалғанда және тек сонда ғана  $z = w$  теңдігі орындалады;

2) дуал сандардың қосындысы және айырымы:

$$z \pm w = (x \pm u) + \varepsilon(y \pm v);$$

3) көбейту дуал бірліктің нильпотенттік қасиетіне байланысты

$$z \cdot w = (x + \varepsilon y) \cdot (u + \varepsilon v) = xu + \varepsilon(xv + yu)$$

теңдігі арқылы анықталады;

4) бөлу амалы тек нақты бөлігі нөлден өзгеше дуал сандар үшін анықталған:

$$\frac{z}{w} = \frac{z \cdot \bar{w}}{w \cdot \bar{w}} = \frac{(x + \varepsilon y) \cdot (u - \varepsilon v)}{(u + \varepsilon v) \cdot (u - \varepsilon v)} = \frac{x}{u} + \varepsilon \frac{yu - xv}{u^2}, \quad u \neq 0.$$

$q(z) = y/x$  қатынасы  $z = x + \varepsilon y$  дуал санының параметрі деп аталады. Сонда дуал санның алгебралық көрсетілімі

$$z = x + \varepsilon y = x(1 + q(z)\varepsilon)$$

түрінде жазылады. Сондай-ақ келесі анықтамалар енгізіледі:

$\bar{z} = x - \varepsilon y$  түйіндес дуал сан;

$z^{-1} = x^{-1} - \varepsilon y x^{-2}$  кері дуал сан ( $x = 0$  кезде анықталмаған);

$0 = 0 + \varepsilon \cdot 0$  нөлдік дуал сан;

$e = 1 + \varepsilon \cdot 0$  бірлік дуал сан;

$q(r) = 1 + \varepsilon r$  дуалдық полюс,

мұнда  $r$  нақты. Дуалдық полюс дуал санды полюске келтіру операциясымен байланысты. Сонымен  $z = x + \varepsilon y$ ,  $x, y \in \mathbb{R}$  түріндегі сандар дуал сандар деп аталады. Мұнда дуалдық базалық элемент нильпотентті, өйткені  $\varepsilon^2 = 0$ .

Дуал сандар сақина құрайды. « $\varepsilon y$ » таза жорамал дуал сандар нөлдің бөлгіштері деп аталады, өйткені  $\varepsilon y \cdot \varepsilon y = \varepsilon^2 y^2 = 0$ . Сонымен бірге  $\varphi: z \rightarrow Rez$  бейнелеуі гомоморфизм болады.

(1) жалпы комплекс санның модулі  $|z| = \sqrt{x^2 + \theta_1 xy + \theta_0 y^2}$ ,

ал оның түйіндесі  $\bar{z} = x + \theta_1 y - py$

теңдіктері арқылы анықталады. Сонда дуал санның модулі  $|z| = |x|$  нақты саны, ал түйіндесі  $\bar{z} = x - \varepsilon y$  дуал саны болады, өйткені дуал сандар үшін  $\theta_0 = \theta_1 = 0$ .

Параболалық комплекс сандар үшін Эйлер формуласы

$$e^{p\psi} = e^{\frac{\theta_1}{2}\psi} \left[ \left( 1 - \frac{\theta_1}{2}\psi \right) + p\psi \right]$$

түрінде жазылады, мұнда  $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$ . Демек параболалық комплекс сандар жүйесінің ішкі жиынын құрайтын дуал сандар үшін Эйлер формуласы

$$e^{\varepsilon\psi} = 1 + \varepsilon\psi, \quad \varepsilon^2 = 0 \quad (3)$$

түрінде анықталады. Одан әрі дуал санның тригонометриялық түрде жазылуын Эйлер формуласының көмегімен анықтаймыз:

$$z = |x|(1 + \varepsilon\psi) = r(1 + \varepsilon\psi), \quad (4)$$

мұнда  $r = |z| = |x|$ ,  $\psi = Argz = \frac{y}{x}$ .

Дуал сандардың матрицалық көрсетілімі. Алгебралық тұрғыдан қарағанда дуал сандар жиыны коммутативтік сақина құрайды. Матрицалар сақинасында өлшемі  $2 \times 2$  болатын дуал сандар матрицасының екі көрсетілімі бар. Ол үшін  $I = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$  және  $J = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  нильпотентті матрицаларын

қарастырамыз. Шынында да  $I^2 = J^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  нөлдік матрицаны береді.

Әрі қарай I және J матрицаларының көмегімен  $Z = x + \varepsilon y$ ,  $\varepsilon^2 = 0$  түріндегі дуал сандардың матрицалық көрсетілімін қарастырамыз:

$$Z = xE + yI = \begin{pmatrix} x & 0 \\ 0 & x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ y & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x & 0 \\ y & x \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$Z' = xE + yJ = \begin{pmatrix} x & 0 \\ 0 & x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & y \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & x \end{pmatrix}, \quad (6)$$

мұнда  $E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  – бірлік матрица.

Дуал сандарды қосу және азайту нәтижелері олардың сәйкес матрицаларын қосу және азайту арқылы анықталады. Мысалы,  $Z_1 = x_1 + \varepsilon y_1$  және  $Z_2 = x_2 + \varepsilon y_2$  дуал сандары берілсін дейік. Сонда олардың қосындылары

$$Z_1 + Z_2 = (x_1 + x_2) + \varepsilon(y_1 + y_2) = \begin{pmatrix} x_1 + x_2 & 0 \\ y_1 + y_2 & x_1 + x_2 \end{pmatrix}$$

немесе

$$Z_1 + Z_2 = (x_1 + x_2) + \varepsilon(y_1 + y_2) = \begin{pmatrix} x_1 + x_2 & y_1 + y_2 \\ 0 & x_1 + x_2 \end{pmatrix}$$

матрицалары арқылы анықталады (сәйкес қойылады).

Осы дуал сандардың көбейтіндісіне, яғни

$$Z_1 \cdot Z_2 = (x_1 + \varepsilon y_1) \cdot (x_2 + \varepsilon y_2) = x_1 x_2 + \varepsilon(x_1 y_2 + y_1 x_2)$$

дуал санына

$$Z_1 \cdot Z_2 = \begin{pmatrix} x_1 & 0 \\ y_1 & x_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_2 & 0 \\ y_2 & x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 x_2 & 0 \\ x_1 y_2 + y_1 x_2 & x_1 x_2 \end{pmatrix}$$

немесе

$$Z_1' \cdot Z_2' = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ 0 & x_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_2 & y_2 \\ 0 & x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 x_2 & x_1 y_2 + y_1 x_2 \\ 0 & x_1 x_2 \end{pmatrix}$$

матрицалары сәйкес қойылады. Осындай жолмен  $\bar{Z} = x - \varepsilon y$

$$\text{түйіндес дуал санына } \bar{Z} = \begin{pmatrix} x & 0 \\ -y & x \end{pmatrix} \text{ немесе } \bar{Z}' = \begin{pmatrix} x & -y \\ 0 & x \end{pmatrix}$$

немесе матрицаларын сәйкес қоямыз. Егер  $Z$  (немесе  $Z'$ ) матрицасын өзінің түйіндесіне көбейтетін болсақ, онда бірлік матрицаға пропорционал матрица аламыз:

$$Z \cdot \bar{Z} = \begin{pmatrix} x & 0 \\ y & x \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x & 0 \\ -y & x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^2 & 0 \\ 0 & x^2 \end{pmatrix} = Ex^2 = E \det Z$$

немесе

$$Z' \cdot \bar{Z}' = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & x \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x & -y \\ 0 & x \end{pmatrix} = x^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = x^2 \det Z'.$$

(5) және (6) матрицаларға кері матрицалар олардың түйіндестеріне пропорционал болады. Шынында да

$$Z^{-1} = \begin{pmatrix} x & 0 \\ y & x \end{pmatrix}^{-1} = \frac{1}{x^2} \begin{pmatrix} x & 0 \\ -y & x \end{pmatrix} = (\det Z)^{-1} \bar{Z},$$

$$Z'^{-1} = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & x \end{pmatrix}^{-1} = \frac{1}{x^2} \begin{pmatrix} x & -y \\ 0 & x \end{pmatrix} = (\det Z')^{-1} \bar{Z}'.$$

Ендігі кезекте дуал сандарды бөлудің матрицалық көрсетілімін жазайық.

Ол үшін

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{x_1 + \varepsilon y_1}{x_2 + \varepsilon y_2} = \frac{(x_1 + \varepsilon y_1) \cdot (x_2 - \varepsilon y_2)}{(x_2 + \varepsilon y_2)(x_2 - \varepsilon y_2)} = \frac{x_1}{x_2} + \varepsilon \frac{-x_1 y_2 + y_1 x_2}{x_2^2}$$

дуал санына анықтама бойынша

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \begin{pmatrix} x_1/x_2 & 0 \\ (-x_1 y_2 + y_1 x_2)/x_2^2 & x_1/x_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{x_2^2} \begin{pmatrix} x_1 x_2 & 0 \\ -x_1 y_2 + y_1 x_2 & x_1 x_2 \end{pmatrix} = (\det Z_2)^{-1} Z_1 \cdot \bar{Z}_2$$

матрицасы сәйкес қойылады.

Сонымен, біз дуал сандардың сақинасы (5) немесе (6) түрдегі үшбұрышты коммутативті матрицалар сақинасына изоморфты болатынын көрсеттік.

Дуал сандар үшін Муавр формуласы. Тригонометриялық түрде жазылған  $Z_1 = r_1(1 + \varepsilon \psi_1)$  және  $Z_2 = r_2(1 + \varepsilon \psi_2)$  дуал сандары берілсін делік. Сонда

$$Z_1 \cdot Z_2 = r_1 r_2 (1 + \varepsilon(\psi_1 + \psi_2)),$$

яғни дуал сандарды көбейткенде олардың модульдері көбейтіледі де, ал аргументтері қосылады. Осы ережені бірдей n дуал санның көбейтіндісіне қолданатын болсақ, онда

$$Z^n = r^n (1 + n\varepsilon\psi) = x^n + \varepsilon n x^{n-1} y \quad (7)$$

теңдігімен анықталатын Муавр формуласын аламыз:

$$(1 + \varepsilon\psi)^n = 1 + \varepsilon n\psi, \quad (8)$$

мұнда  $n \geq 2$  (бүтін сан)  $\psi = \text{Arg} z = y/x$ .

Ескерту. Дуал санды бүтін дәрежеге көтеру формуласын кейде И. Ньютон формуласы деп те атайды, өйткені

$$z^n = (x + \varepsilon y)^n = x^n + C_n^1 x^{n-1} \varepsilon y + C_n^2 x^{n-2} (\varepsilon y)^2 + \dots = x^n + \varepsilon n x^{n-1} y,$$

мұнда

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \text{ және } \varepsilon \neq 0, \varepsilon^2 = \varepsilon^3 = \dots = \varepsilon^n = 0.$$

Енді дуал саннан  $n$ -ші дәрежелі түбір табу амалына көшейік. Ол үшін  $\sqrt[n]{z} = z_1$ , мұнда  $z_1 = r_1(1 + \varepsilon \varphi)$  қайсыбір дуал сан дейік. Сонда немесе  $z = z_1^n$

$$r(1 + \varepsilon \psi) = r_1^n(1 + \varepsilon n \varphi),$$

бұдан дуал сандардың теңдігінен  $r_1 = \sqrt[n]{r}$ ,  $\varphi = \frac{\psi}{n}$  және негізгі түбір табу формуласы алынады:

$$\sqrt[n]{z} = \sqrt[n]{r} \left(1 + \varepsilon \frac{\psi}{n}\right). \quad (9)$$

Алгебралық түрде (9) бүтін түбір табу формуласы

$$\sqrt[n]{x + \varepsilon y} = \sqrt[n]{x} + \varepsilon \frac{yx^{\frac{1-n}{n}}}{n} \quad (10)$$

түрде жазылады.

**Дуал аргументті дуал мәнді функциялар үшін Тейлор қатарлары.**

Дуал сандар үшін  $\varepsilon^2 = 0$ , бұдан кез келген бүтін  $n$  үшін  $\varepsilon^3 = \varepsilon^4 = \dots = \varepsilon^n = 0$ .  $\exp(\varepsilon y)$  экспонентаның Тейлор қатарына жіктелуі

$$\exp(\varepsilon y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\varepsilon y)^n}{n!} = 1 + \varepsilon y + \frac{\varepsilon^2 y^2}{2!} + \dots = 1 + \varepsilon y$$

түрінде анықталады. Сонда

$$\exp(x + \varepsilon y) = e^{x+\varepsilon y} = e^x \exp(\varepsilon y) = e^x(1 + \varepsilon y). \quad (11)$$

Әрі қарай дуал аргументті  $f(z)$  функциясын  $x$  нүктесінің маңайында Тейлор қатарына жіктейміз:

$$\begin{aligned} f(x + \varepsilon y) &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)(x + \varepsilon y - x)^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)\varepsilon^n y^n}{n!} = \\ &= f(x) + f'(x)\varepsilon y + \frac{f''(x)\varepsilon^2 y^2}{2!} + \dots = f(x) + \varepsilon f'(x)y. \end{aligned}$$

Сонымен, нәтижесінде біз өте маңызды формула алдық:

$$f(x + \varepsilon y) = f(x) + \varepsilon f'(x)y. \quad (12)$$

(12) формуланы оннан солға қарай оқитын болсақ, онда туындының белгілі мәні бойынша дуал айнымалы функцияның мәнін табуға болады. Керісінше – бұл формула  $x$  нүктесіндегі бірінші туындының мәнін есептеуге мүмкіндік береді.

**Дуал сандардың элементар функциялары.** Дуал аргументті элементар функциялардың қысқаша сипаттамаларын берейік.

**Тригонометриялық функциялар:**

$$\begin{aligned} \sin(x + \varepsilon y) &= \sin x \cos(\varepsilon y) + \cos x \sin(\varepsilon y) = \sin x + \varepsilon y \cos x, \\ \cos(x + \varepsilon y) &= \cos x \cos(\varepsilon y) - \sin x \sin(\varepsilon y) = \cos x - \varepsilon y \sin x, \\ \operatorname{tg}(x + \varepsilon y) &= \frac{\sin x + \varepsilon y \cos x}{\cos x - \varepsilon y \sin x} \cdot \frac{\cos x + \varepsilon y \sin x}{\cos x + \varepsilon y \sin x} = \operatorname{tg} x + \varepsilon \frac{y}{\cos^2 x}, \\ \operatorname{ctg}(x + \varepsilon y) &= \operatorname{ctg} x - \varepsilon \frac{y}{\sin^2 x}. \end{aligned} \quad (13)$$

**Кері тригонометриялық функциялар:**

$$\begin{aligned} \arcsin(x + \varepsilon y) &= \arcsin x + \varepsilon y / \sqrt{1 - x^2}, \\ \arccos(x + \varepsilon y) &= \arccos x - \varepsilon y / \sqrt{1 - x^2}, \\ \arctg(x + \varepsilon y) &= \arctg x + \varepsilon y / (1 + x^2), \\ \operatorname{arccctg}(x + \varepsilon y) &= \operatorname{arccctg} x - \varepsilon y / (1 + x^2). \end{aligned} \quad (14)$$

**Логарифмдік функциялар:**

$$\log_a(x + \varepsilon y) = \log_a x + \varepsilon y / x \ln a. \quad (15)$$

**Дәлелдеуі.**  $\log_a(x + \varepsilon y) = x_1 + \varepsilon y_1$  дейік. Сонда

$$x + \varepsilon y = a^{x_1} \cdot a^{\varepsilon y_1} = a^{x_1} \cdot e^{\ln a^{\varepsilon y_1}} = a^{x_1} \cdot e^{\varepsilon y_1 \ln a} = a^{x_1} (1 + \varepsilon y_1 \ln a).$$

Бұдан дуал сандардың теңдігінен  $x = a^{x_1}$ ,  $y = a^{x_1} (\varepsilon y_1)^{\ln a} = \varepsilon x y_1 \ln a$  теңдіктерін аламыз. Нәтижесінде (15) формуланы аламыз, өйткені  $x_1 = \log_a x$ ,  $y_1 = \frac{y}{x \ln a}$ . (15) формуланың салдары ретінде

$$\ln(x + \varepsilon y) = \ln x + \varepsilon \frac{y}{x} \quad (16)$$

формуласын жазуға болады.

### Нәтижелер және талқылау

**Автоматты дифференциалдау.** Дуал сандардың негізгі қолданыстарының бірі – өрнектерді автоматты түрде дифференциалдау. Функция туындысының сандық мәнін есептеу үшін математика мен компьютерлік алгебрада автоматты дифференциалдау (немесе алгоритмдік дифференциалдау) деп компьютерлік бағдарламалар анықтайтын әдістердің жиынтығын айтады.

Дуал сандарды нақты аргументті нақты мәнді функциялардың туындыларын есептеуге қолданайық. Мысал ретінде  $f(x) = xtgx$  функциясының  $x = \pi/4$  нүктесінде туындысының мәнін табайық.

**Шешуі.** (13) формуланың көмегімен  $f(x) = xtgx$  функциясын ашып жазайық:

$$\begin{aligned} f(x + \varepsilon y) &= (x + \varepsilon y)tg(x + \varepsilon y) = (x + \varepsilon y) \left( tgx + \varepsilon \frac{y}{\cos^2 x} \right) = \\ &= xtgx + \varepsilon \left( ytgx + \frac{xy}{\cos^2 x} \right). \end{aligned}$$

Мұнан алынған нәтижені (12) формуламен салыстыра отырып,  $x) = tgx + \frac{x}{\cos^2 x}$  табамыз. Сонда  $f'(\pi/4) = 1 + \pi/2$ .

**Мысал.**  $f(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$  функциясының бірінші ретті ындысын табыңыз.

**Шешуі.** (12) автоматты дифференциалдау формуласын қолдану үшін  $x \mapsto x + \varepsilon y$  алмастыруын жасаймыз. Сонда  $f(x + \varepsilon y) = \ln(x + \varepsilon y +$  түріне келтіреміз. Содан кейін (16) формуланы пайдаланып,

$\sqrt{x^2 + 1 + \varepsilon 2xy}$ ). Алдымен  $\sqrt{x^2 + 1 + \varepsilon 2xy}$  өрнегін (10) формуланың көмегімен

$$\sqrt{x^2 + 1 + \varepsilon 2xy} = \sqrt{x^2 + 1} + \varepsilon \frac{xy}{\sqrt{x^2 + 1}}$$

түріне келтіреміз. Содан кейін (16) формуланы пайдаланып,

$$\begin{aligned} \ln(x + \varepsilon y + \sqrt{x^2 + 1 + \varepsilon 2xy}) &= \ln \left( x + \sqrt{x^2 + 1} + \varepsilon y \left( 1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 + 1}} \right) \right) = \\ &= \ln(x + \sqrt{x^2 + 1}) + \varepsilon \frac{y}{\sqrt{x^2 + 1}} \end{aligned}$$

теңдігін аламыз. Соңғы теңдікті  $f(x + \varepsilon y) = f(x) + \varepsilon f'(x)y$  формуласымен салыстыра отырып,

$$\left[ \ln(x + \sqrt{x^2 + 1}) \right]' = \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}}$$

болатынына көз жеткіземіз.

Бағдарламалық жасақтама. Дуал сандарға негізделген автоматты дифференциалдаудың бағдарламалық жасақтамасы көптеген бағдарламалау тілдерінде жазылған. Мұнда біз Python тіліне арналған nbla кітапханасын пайдаланамыз. Бұл бөлімде дуал сандар арқылы автоматты дифференциалдауды жүзеге асыруды ұсынамыз.

Санның нақты және дуал Мұнда Шон Ловеттпен Python тілінде жазылған nbla кітапханасын пайдаланамыз бөліктерін қамтитын Dual класында дуал бөлігі функцияның туындысын білдіреді. Класс негізгі арифметикалық амалдар мен кейбір жалпы математикалық функцияларды қолдайды. Алдыңғы бөлімде көрсетілген мысалды шығару үшін осы класқа функциясын енгіземіз:

```
def tan(x):
    ret = Dual(np.tan(x.real), x.dual / (np.cos(x.real)**2))
    return ret
```

Автоматты дифференциалдау жүйесінің қолданылуын көрсету үшін функциясын қарастырамыз. Оның туындысын grad декораторының көмегімен есептейміз және нәтижені аналитикалық туындымен салыстырамыз:

```
def f(x):
    return x * np.tan(x)
def analytical_derivative(x):
    return np.tan(x) + x*(np.tan(x)**2 + 1)
x = np.pi / 4
dfdx_nbla = grad(f)(x).dual
dfdx_analytical = analytical_derivative(x)
```

```
print(dfdx_nabla, dfdx_analytical)
```

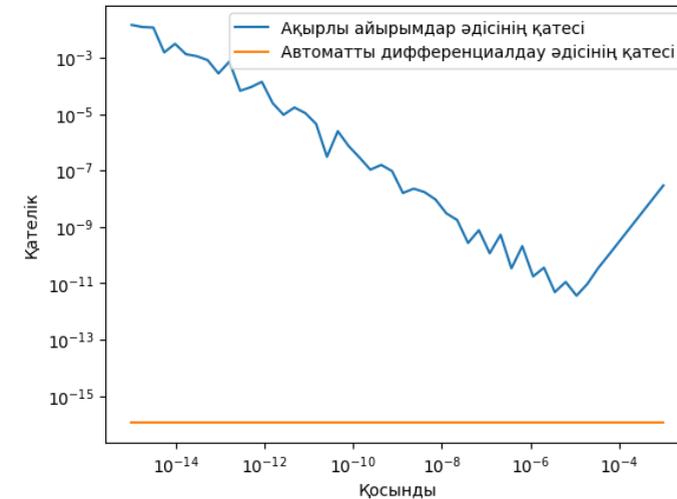
Автоматты дифференциалдау әдісінің дәлдігін ақырлы айырымдар әдісімен салыстыру үшін туындыны орталық айырымды жуықтау арқылы есептейміз және қателіктердің графигін аламыз (1-сурет):

```
eps = np.logspace(-15, -3)
dfdx_fd = np.zeros(eps.shape)
for i, e in enumerate(eps):
    dfdx_fd[i] = (f(x + e) - f(x - e)) / (2 * e)
err_nabla = np.abs(dfdx_nabla - dfdx_analytical) * np.ones(eps.shape)
err_fd = np.abs(dfdx_fd - dfdx_analytical)
```



Сурет 1 – Ақырлы айырымдар мен автоматты дифференциалдау әдістерін салыстыру

$f(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$  функциясын пайдаланып, автоматты дифференциалдау әдісінің дәлдігін ақырлы айырымдар әдісімен салыстыру 2-суретте көрсетілген.



2-сурет. Ақырлы айырымдар мен автоматты дифференциалдау әдістерін салыстыру

### Қорытынды

Мақалада дуал сандар және олардың автоматты дифференциалдаудағы қолданылуы жан-жақты зерттелді. Нәтижелер дуал сандарды пайдалану функциялар мен олардың туындыларының мәндерін бір уақытта тиімді және дәл есептеуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Бұл дәстүрлі ақырлы айырымдар әдістеріне салыстырғанда айтарлықтай артықшылық болып табылады.

Дуал сандардың алгебралық, тригонометриялық, экспоненциалды және матрицалық көріністері сәтті анықталған және жіктелген, бұл күрделі математикалық және инженерлік қолданбаларға негіз бола алады. Мақалада қарастырылған автоматты дифференциалдау әдісі өзінің жоғары дәлдігі мен тиімділігін, әсіресе күрделі мақсаттық функциялардың туындыларын есептеу кезінде, көрсетті.

Сонымен қатар, Python бағдарламалау тілінде жазылған код жұмыста ұсынылған теориялық тұжырымдамаларды жүзеге асыру үшін практикалық құралы ретінде ұсынылды. Бұл нақты есептеу мәселелерінде дәлдікте елеулі жоғалтуларсыз автоматты дифференциалдау үшін дуал сандарды пайдалануға мүмкіндік береді.

Болашақта автоматты дифференциалдау алгоритмдерін оңтайландыруға және ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында дуал сандарды қолдануды кеңейтуге бағытталған одан әрі зерттеулер мүмкін.

- 1 **Study, E.** Geometric der Dynamen [Text] – Leipzig: Mathematiker Deutschland Publisher, 1903.
- 2 **Kantor, I., Solodovnikov, A.** Hypercomplex Numbers [Text] – New York: Springer-Verlag, 1989.
- 3 **Soykan, Y., Tasdemir, E., Okumus, I.** On dual hyperbolic numbers with generalized Jacobsthal numbers components [Text] // Indian Journal of Pure and Applied Mathematics, 2023. – Vol. 54. – PP. 824-840.
- 4 **Soykan, Y., Yilmaz, B.** On dual hyperbolic Guglielmo numbers [Text] // Journal of Advances in Mathematics and Computer Science, 2024. – Vol. 39. – PP. 37-61.
- 5 **Price, G. B.** An Introduction to Multicomplex Spaces and Functions [Text] – New York: M. Dekker, 1991.
- 6 **Sagindykov, B.** The generalized complex exponent and its application for finding sums [Text] // International Journal of Advanced Research, 2013. – Vol. 1, no. 10. – PP. 546-550.
- 7 **Сағындықов, Б. Ж., Бимұрат, Ж.** Жалпы комплекс сандардың екі өлшемді алгебрасы [Текст] // Торайғыров университетінің хабаршысы, 2024. – № 1. – Б. 89-101.
- 8 **Sagindykov, B.** Analytical functions of generalized complex variables and some applications [Text] // International Journal of Research in Education Technology, 2014. – Vol. 5, no. 1. – PP. 569-575.
- 9 **Griewank, A., Walther, A.** Evaluating Derivatives: Principles and Techniques of Algorithmic Differentiation. Second edition [Text] – Philadelphia, PA, USA: SIAM, 2008.
- 10 **Naumann, U.** The Art of Differentiating Computer Programs. Second edition [Text] – Philadelphia, PA, USA: SIAM, 2012.
- 11 **Yu, W., Blaire, M.** DNADA: A Simple Tool for Automatic Differentiation of Fortran Codes Using Dual Numbers [Text] // Computer Physics Communications, 2013. – Vol. 184, no. 5. – PP. 1446-1452.
- 12 **Олифер, В. И.** Усеченные гипер-дуальные числа в автоматическом дифференцировании. (2019) [Текст]. Доступно по: [http://www.viosolutions.amerihomesrealty.com/PDF/%D0%A3%D0%A1%D0%95%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%9D%D0%AB%D0%95\\_%D0%93%D0%98%D0%9F%D0%95%D0%A0-%D0%94%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%AB%D0%95\\_%D0%A7%D0%98%D0%A1%D0%9B%D0%90\\_%D0%92\\_%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%9C\\_%D0%94%D0%98%D0%A](http://www.viosolutions.amerihomesrealty.com/PDF/%D0%A3%D0%A1%D0%95%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%9D%D0%AB%D0%95_%D0%93%D0%98%D0%9F%D0%95%D0%A0-%D0%94%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%AB%D0%95_%D0%A7%D0%98%D0%A1%D0%9B%D0%90_%D0%92_%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%9C_%D0%94%D0%98%D0%A)

- 4%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%98.pdf.
- 13 **Fike, J. A.** Multi-objective optimization using hyper-dual numbers [Text]. Ph.D. Dissertation, Stanford University, 2013, 189 p.
- 14 **Kulyabov, D. S., Korolkova, A. V., Gevorkyan, M. N.** Hyperbolic numbers as Einstein numbers [Text] // Journal of Physics: Conference Series, 2020. – Vol. 1557. – PP. 012027, 1-5.
- 15 **Lovett, S.** Nabla [Text] – Automatic, Machine-Precision Forward Differentiation in Python Using Dual Numbers (2018). Available at: <https://github.com/sdl1/nabla>.

## REFERENCES

- 1 **Study, E.** Geometric der Dynamen [Text] – Leipzig: Mathematiker Deutschland Publisher, 1903.
- 2 **Kantor, I., Solodovnikov, A.** Hypercomplex Numbers [Text] – New York: Springer-Verlag, 1989.
- 3 **Soykan, Y., Tasdemir, E., Okumus, I.** On dual hyperbolic numbers with generalized Jacobsthal numbers components [Text] // Indian Journal of Pure and Applied Mathematics, 2023. – Vol. 54. – PP. 824-840.
- 4 **Soykan, Y., Yilmaz, B.** On dual hyperbolic Guglielmo numbers [Text] // Journal of Advances in Mathematics and Computer Science, 2024. – Vol. 39. – PP. 37-61.
- 5 **Price, G. B.** An Introduction to Multicomplex Spaces and Functions [Text] – New York: M. Dekker, 1991.
6. **Sagindykov, B.** The generalized complex exponent and its application for finding sums [Text] // International Journal of Advanced Research, 2013. – Vol. 1, no. 10. – PP. 546-550.
- 7 **Sagindykov, B. Zh., Bimurat, Zh.** Jalpı kompleks sandardıń eki ölçemdi algebrası [General two-dimensional algebra of complex numbers] [Text] // The Bulletin of Toraihyrov University, 2024. – № 1. – PP. 89-101.
- 8 **Sagindykov, B.** Analytical functions of generalized complex variables and some applications [Text] // International Journal of Research in Education Technology, 2014. – Vol. 5, no. 1. – PP. 569-575.
- 9 **Griewank, A., Walther, A.** Evaluating Derivatives: Principles and Techniques of Algorithmic Differentiation. Second edition [Text] – Philadelphia, PA, USA: SIAM, 2008.
- 10 **Naumann, U.** The Art of Differentiating Computer Programs. Second edition [Text] – Philadelphia, PA, USA: SIAM, 2012.

**11 Yu, W., Blaire, M.** DNADA: A Simple Tool for Automatic Differentiation of Fortran Codes Using Dual Numbers [Text] // Computer Physics Communications, 2013. – Vol. 184, no. 5. – PP. 1446-1452.

**12 Olifer, V. I.** Usechennye giper-dualnye chisla v avtomaticheskom differentsirovani [Truncated Hyper-Dual Numbers in Automatic Differentiation] (2019) [Text]. Available at: [http://www.viosolutions.amerihomesrealty.com/PDF/%D0%A3%D0%A1%D0%95%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%9D%D0%AB%D0%95\\_%D0%93%D0%98%D0%9F%D0%95%D0%A0-%D0%94%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%AB%D0%95\\_%D0%A7%D0%98%D0%A1%D0%9B%D0%90\\_%D0%92\\_%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%9C\\_%D0%94%D0%98%D0%A4%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%98.pdf](http://www.viosolutions.amerihomesrealty.com/PDF/%D0%A3%D0%A1%D0%95%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%9D%D0%AB%D0%95_%D0%93%D0%98%D0%9F%D0%95%D0%A0-%D0%94%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%AB%D0%95_%D0%A7%D0%98%D0%A1%D0%9B%D0%90_%D0%92_%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%9C_%D0%94%D0%98%D0%A4%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%98.pdf).

**13 Fike, J. A.** Multi-objective optimization using hyper-dual numbers [Text]. Ph.D. Dissertation, Stanford University, 2013, 189 p.

**14 Kulyabov, D. S., Korolkova, A. V., Gevorkyan, M. N.** Hyperbolic numbers as Einstein numbers [Text] // Journal of Physics: Conference Series, 2020. – Vol. 1557. – PP. 012027, 1-5.

**15 Lovett, S.** Nabla [Text] – Automatic, Machine-Precision Forward Differentiation in Python Using Dual Numbers (2018). Available at: <https://github.com/sdl1/nabla>.

10.00.24 ж. баспаға түсті.

06.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

20.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\***Ж. Бимурат<sup>1</sup>, Б. Ж. Сагиндыков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт горного дела имени Д. А. Кунаева,

Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 10.10.24.

Поступило с исправлениями 06.11.24.

Принято в печать 20.12.2024.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДУАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ НА ОБЪЕКТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ

*В данной работе исследованы дуальные числа и их функции в контексте автоматического дифференцирования. Определены*

*алгебраические, тригонометрические, экспоненциальные и матричные представления дуальных чисел. Проведена классификация дваргументных и двузначных элементарных функций с помощью рядов Тейлора. В результате была получена значимая формула, позволяющая одновременно вычислять значение вещественной функции с вещественным аргументом и её производную. Существует множество методов для нахождения производных функций. Производные простых целевых функций могут быть выведены аналитически и затем выражены в виде формул. Это обеспечивает высокую точность и эффективность. Однако, с усложнением целевой функции, конечный результат становится более трудоёмким и требует больше времени на вычисление. Существует множество методов ручного вывода производных, которые отличаются по точности и вычислительной эффективности. В данной статье также исследованы дуальные числа как инструмент для выполнения классического дифференцирования без потери точности вычислений. Автоматическое дифференцирование имеет преимущества перед методом конечных разностей, поскольку выбор приращения независимой переменной в методе конечных разностей влияет на погрешность расчета и требует решения посредством регуляризации.*

*Работа состоит из трёх частей. В первой части введены необходимые определения и определены свойства дуальных чисел. Во второй части описано использование дуальных чисел для дифференцирования функций. В третьей части представлен код реализации автоматического дифференцирования, написанный на языке программирования Python, основанный на применении дуальных чисел.*

*Ключевые слова: обобщенные комплексные числа, дуальные числа, двойные числа, формула Муавра, автоматическое дифференцирование.*

\*Zh. Bimurat<sup>1</sup>, B. Sagindykov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mining Institute named after D. A. Kunaev, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 10.10.24.

Received in revised form 06.11.24.

Accepted for publication 20.12.24.

## IMPLEMENTATION OF THE USE OF DUAL NUMBERS IN AN OBJECT-ORIENTED HIGH-LEVEL PROGRAMMING LANGUAGE

*This paper explores the use of dual numbers and their functions in the context of automatic differentiation. We define the algebraic, trigonometric, exponential, and matrix representations of dual numbers. A classification of two-variable and two-valued elementary functions using Taylor series is provided. This leads to the derivation of a significant formula that allows for the simultaneous calculation of the value of a real function with a real argument and its derivative. Various methods exist for finding function derivatives. While the derivatives of simple target functions can be derived analytically and expressed in formulas, ensuring high accuracy and efficiency, the complexity of the target function increases the difficulty and time required for computation. Manual differentiation methods vary in terms of accuracy and computational efficiency. This paper also investigates dual numbers as a tool for performing classical differentiation without loss of computational accuracy. Automatic differentiation offers advantages over the finite difference method, as the choice of increment in the finite difference method impacts calculation error and necessitates resolution through regularization.*

*The work is divided into three parts. The first part introduces the necessary definitions and properties of dual numbers. The second part details the use of dual numbers for differentiating functions. The third part presents the implementation of automatic differentiation using Python, based on the application of dual numbers.*

*Keywords: generalized complex numbers, dual numbers, double numbers, de Moivre's formula, automatic differentiation.*

## АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

**Алимжанова Жанна Муратбековна**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республика Ішкі істер министрлігі Мақан Есболатов атындағы Алматы академиясы, Алматы қ., 050060, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhannamen@mail.ru](mailto:zhannamen@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6282-5356>

**Алимова Жанар Сагидуллаевна**, постдокторант, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alimova.zh@teachers.tou.edu.kz](mailto:alimova.zh@teachers.tou.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6115-5941>

**Абилдаева Гультур Балтабаевна**, аға оқытушы, Инновациялық технологиялар факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [gulek\\_dil@mail.ru](mailto:gulek_dil@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3262-2552>

**Алиева Молдир Ермекбаевна**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Физика» кафедрасы, Математика, физика және информатика факультеті, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., 050010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [moldir-2008@mail.ru](mailto:moldir-2008@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

**Айдарбеков Нұрсұлтан Көпжасарұлы**, PhD, аға оқытушы, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, Физика-техника факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nursultan02\\_22.10.92@mail.ru](mailto:nursultan02_22.10.92@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

**Айдарбекова Акмарал Абылаевна**, Физика магистрі, аға оқытушы, Физика, математика және цифрлық технологиялар институты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz](mailto:aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-9224-8542>

**Бекет Шыңғыс Мұратбекұлы**, магистр, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bb.shyngys@mail.ru](mailto:bb.shyngys@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-9918-6032>

**Бағдат Аңсат Кайыргелдіұлы**, «Ақпараттық қауіпсіздік» мамандығы бойынша магистрант, Ақпараттық технологиялар факультеті, Қазақстан Республика Ішкі істер министрлігі, Мақан Есболатов атындағы Алматы академиясы, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bagdat.ansat@gmail.com](mailto:bagdat.ansat@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-0627-6606>

**Байжуманов Садуакас Дулатович**, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurgul287@mail.ru](mailto:nurgul287@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

**Баратова Алия Амирхановна**, PhD, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, Физика- техника факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aa.baratova@yandex.kz](mailto:aa.baratova@yandex.kz), e-mail: [baratova\\_aa@enu.kz](mailto:baratova_aa@enu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-7015-3657>

**Бекмырза Кенжебатыр Жағыпарұлы**, PhD, қауымд. профессор, оқытушы-зерттеуші, «Техникалық физика» кафедрасы, Физика-техника факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kbekmyrza@yandex.kz](mailto:kbekmyrza@yandex.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

**Байкенов Мурзабек Исполевич**, химия ғылымдарының докторы, химиялық технология және мұнай химиясы кафедрасы, профессор, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: [murzabek\\_b@mail.ru](mailto:murzabek_b@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

**Бердибаев Динмухаммед Нурланович**, профессор, магистрант, Ж. С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасы, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dinmukhammadberdibayev@mail.ru](mailto:dinmukhammadberdibayev@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5485-1256>

**Бимұрат Жанар**, PhD, ғылыми қызметкер, Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен істері институты, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bimuratzhanar@gmail.com](mailto:bimuratzhanar@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

**Досанов Талгат Сапарғалиевич**, физико-математика ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tgooglmil@gmail.com](mailto:tgooglmil@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

**Джелал Караджа**, PhD, қауымд. профессор, Computer Technology факультеті, Ақсарай университеті, Түркия, Ақсарай қ., e-mail: [karaca42@gmail.com](mailto:karaca42@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

**Дуйшеналиев Туратбек Болотбекович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, «Робототехника, мехатроника, машинаның динамикасы және қаттылығы» кафедрасы, «Мәскеу Энергетикалық Институты», ғылыми зерттеу университеті, Мәскеу қ.,

111250, Ресей Федерациясы, e-mail: [DuyshenaliyevT@mpei.ru](mailto:DuyshenaliyevT@mpei.ru), [duishenaliyev@mail.ru](mailto:duishenaliyev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6395-6929>

**Даутова Айгүл Зейнуллиновна**, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, e-mail: [aigul67\\_03@mail.ru](mailto:aigul67_03@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5031-8411>

**Жуспекова Нургуль Жумагазиновна**, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhuspiekova72@mail.ru](mailto:zhuspiekova72@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0913-7022>

**Жумабеков Алмар Жумағалиевич**, PhD, қауымд. профессор, Торайғыров университеті, Computer Science факультеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [almar89-89@mail.ru](mailto:almar89-89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

**Жандыбаев Бекен Бақытбекұлы**, докторант, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhandybaevb@gmail.com](mailto:zhandybaevb@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

**Егинбаев Мирас Тлекович**, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, e-mail: [yeginbayev.psu@gmail.com](mailto:yeginbayev.psu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4460-9304>

**Оспанова Назира Нургазыевна**, профессор, «Computer Science», факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

**Қаирбаева Айжан Құмарқызы**, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aizhan0212@mail.ru](mailto:aizhan0212@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-8690-8206>

**Қуанышева Раушан Сайлауовна**, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [raushankuanynsh77@mail.ru](mailto:raushankuanynsh77@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9135-2156>

**Қоштыбаев Талгат Бектасұлы**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Физика, математика және цифрлық технологиялар институты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [koshtybayev70@mail.ru](mailto:koshtybayev70@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

**Кеңесбеков Айдар Бақытбекұлы**, PhD, постдокторант, «Plasma Science» ЖШС, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aidar.94.01@mail.ru](mailto:aidar.94.01@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

**Кишкентаева Анаркуль Сериковна**, PhD, қауымд. профессор, зерттеуші, Қарағанды Медицина университеті, Фармация мектебі,

Қарағанды қ., 100008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [anar\\_kish@mail.ru](mailto:anar_kish@mail.ru),  
<https://orcid.org/0000-0002-9169-3492>

**Кабышев Асет Маратович**, PhD, оқытушы-зерттеуші, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, Физика-техника факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [assetenu@gmail.com](mailto:assetenu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

**Кисабекова Асемгуль Агибаевна**, PhD, қауымд. профессор, Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akisabekova@mail.ru](mailto:akisabekova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

**Ли Оксана Сергеевна**, информатика магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ineu\\_luo@mail.ru](mailto:ineu_luo@mail.ru),  
<https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

**Искакова Анаргүль Батырбаевна**, PhD, Торайғыров университеті Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [anar\\_is@mail.ru](mailto:anar_is@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

**Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Торайғыров университеті, «Computer Science» факультеті, Павлодар қ., 1400000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurlybek\\_79@mail.ru](mailto:nurlybek_79@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

**Исимова Бақыт Шайдулаевна**, магистр, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [isimova.bahyt@mail.ru](mailto:isimova.bahyt@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-2868-1231>

**Матаева Гүлнара Канатовна**, оқытушы, Компьютерлік ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, e-mail: [fip-115@mail.ru](mailto:fip-115@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-8748-8044>

**Назира Нургазиевна Оспанова**, профессор, «Computer Science факультеті», Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

**Рахадиллов Бауыржан Қорабаевич**, PhD, қауымд. профессор, ғылыми жұмыстар жөніндегі проректор, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rakhadilovb@mail.ru](mailto:rakhadilovb@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

**Султанова Марал Жанатовна**, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [s.m.zh@mail.ru](mailto:s.m.zh@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-7839-6104>

**Сағындықов Бимұрат Жұмабекұлы**, Физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Сәтбаев университеті,

Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bimurat55@gmail.com](mailto:bimurat55@gmail.com),  
<https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

**Сағдолдина Жұлдыз Болатқызы**, PhD, қауымд. профессор, аға ғылыми қызметкер, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығы, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sagdoldina@mail.ru](mailto:sagdoldina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

**Сатыбалдин Амангельды Жарлыгасынович**, химия ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Ж. С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физика кафедрасы, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Satybaldin.1975@mail.ru](mailto:Satybaldin.1975@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

**Сейтханова Айнур Кусбековна**, PhD, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [ainur1179@mail.ru](mailto:ainur1179@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

**Савченко Наталья Каримовна**, аға оқытушы, Инновациялық технологиялар факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sav\\_nata@mail.ru](mailto:sav_nata@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3750-1012>

**Сапонов Владимир Дмитриевич**, педагогика студент, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [izverk31@gmail.com](mailto:izverk31@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-9781-2927>

**Сейтжан Райхан Сарсенқызы**, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Органикалық химия және полимерлер кафедрасы, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Raikhan.seitzhan@mail.ru](mailto:Raikhan.seitzhan@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

**Тлеуқенов Садриден Кабдығалиевич**, Физико-математика ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [matricant@inbox.ru](mailto:matricant@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5673-2022>

**Татенов Адамбек Максұтович**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Физика, математика және цифрлық технологиялар институты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.tatenov1@gmail.com](mailto:a.tatenov1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

**Токжигитова Нургуль Каирбаевна**, қауымд. профессор (доцент), «Computer Science» факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ.,

140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurgul287@mail.ru](mailto:nurgul287@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

**Ткач Галина Михайловна**, информатика магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [galina\\_tkasch\\_83@mail.ru](mailto:galina_tkasch_83@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

**Улихина Юлия Викторовна**, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ulikhina.y@teachers.tou.edu.kz](mailto:ulikhina.y@teachers.tou.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

**Шаймерденова Жанар Рахимовна**, PhD, қауымд. профессор, Қарағанды Медицина университеті, Фармация мектебі, Қарағанды қ., 100008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [arsenzhan@bk.ru](mailto:arsenzhan@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4910-3695>

**Тельменбетова Айнур Бекеновна**, лаборант, Қарағанды Медицина университеті, Фармация мектебі, Қарағанды қ., 100008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Telmenbetova@qmu.kz](mailto:Telmenbetova@qmu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-1714-5220>

**Шакаримова Куаныш Казбековна**, Қарағанды Медицина университеті, докторант, фармация мектебі, Қарағанды қ., 100008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Shakarimova@qmu.kz](mailto:Shakarimova@qmu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0336-7142>

**Чирков Виктор Петрович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Робототехника, мехатроника, машинаның динамикасы және қаттылығы» кафедрасы, «Мәскеу Энергетикалық Институты», ғылыми зерттеу университеті, Мәскеу қ., 111250, Ресей Федерациясы, e-mail: [ChirkovVP@mpei.ru](mailto:ChirkovVP@mpei.ru), <https://orcid.org/0009-0003-4052-3498>

**Шакирова Юлия Каримовна**, аға оқытушы, Инновациялық технологиялар факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [uliya\\_sch@mail.ru](mailto:uliya_sch@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2583-1751>

**Янке Никита Анатольевич**, магистрант, Инновациялық технологиялар факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tol-minhrplay@gmail.com](mailto:tol-minhrplay@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-7478-5970>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алимжанова Жанна Муратбековна**, доктор физико-математических наук, профессор, Алматинская академия Министерства внутренних дел Республика Кааахстан имени Макана Есбулатова, г. Алматы, 050060, Республика Казахстан, e-mail: [zhannamen@mail.ru](mailto:zhannamen@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6282-5356>

**Алимова Жанар Сагидуллаевна**, постдокторант, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [alimova.zh@teachers.tou.edu.kz](mailto:alimova.zh@teachers.tou.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6115-5941>

**Абилдаева Гульнур Балтабаевна**, ст. преподаватель, Факультет инновационных технологий, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [gulek\\_dil@mail.ru](mailto:gulek_dil@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3262-2552>

**Алиева Молдир Ермекбаевна**, магистр естественных наук, ст.преподаватель, Кафедра физики, Факультет математики, физики и информатики, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: [moldir-2008@mail.ru](mailto:moldir-2008@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

**Айдарбеков Нұрсұлтан Көпжасарұлы**, PhD, ст. преподаватель международной кафедры «Ядерная физика, новые материалы и технологии», Физико-технический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: [nursultan02\\_22.10.92@mail.ru](mailto:nursultan02_22.10.92@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

**Айдарбекова Акмарал Абылаевна**, магистр физики, ст. преподаватель, Институт физики, математики и цифровых технологий, Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz](mailto:aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-9224-8542>

**Бекет Шынгыс Муратбекулы**, магистр, ст. преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [bb.shyngys@mail.ru](mailto:bb.shyngys@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-9918-6032>

**Багдат Ансат Кайыргелдыұлы**, магистрант по специальности «Информационная безопасность», Факультет Информационных технологий, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: [bagdat.ansat@gmail.com](mailto:bagdat.ansat@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-0627-6606>

**Байжуманов Садуакас Дулатович**, ст. преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [nurgul287@mail.ru](mailto:nurgul287@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

**Байкенов Мурзабек Исполевич**, доктор химических наук, профессор, кафедра химической технологии и нефтехимии, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: [murzabek\\_b@mail.ru](mailto:murzabek_b@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

**Бердибаев Динмухаммед Нурланович**, магистрант, кафедра инженерной теплофизики имени профессора Ж. С. Акылбаева, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: [dinmukhammadberdibayev@mail.ru](mailto:dinmukhammadberdibayev@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5485-1256>

**Баратова Алия Амирхановна**, PhD, кандидат физико-математических наук, доцент международной кафедры «Ядерная физика, новые материалы и технологии», Физико-технический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: [aa.baratova@yandex.kz](mailto:aa.baratova@yandex.kz), [baratova\\_aa@enu.kz](mailto:baratova_aa@enu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-7015-3657>

**Бекмырза Кенжебатыр Жағынарұлы**, PhD, ассоц. профессор, преподаватель-исследователь, кафедра «Техническая физика», Физико-технический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: [kbekmyrza@yandex.kz](mailto:kbekmyrza@yandex.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

**Бимурат Жанар**, PhD, научный сотрудник, Институт горного дела имени Д. А. Кунаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [bimuratzhanar@gmail.com](mailto:bimuratzhanar@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

**Даутова Айгуль Зейнуллиновна**, ст. преподаватель, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, e-mail: [ai gul67\\_03@mail.ru](mailto:ai gul67_03@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5031-8411>

**Джелал Караджа**, PhD, ассоц. профессор, Факультет «Computer Technology», Аксарай университеті, Түркия, Аксарай қ., e-mail: [karaca42@gmail.com](mailto:karaca42@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

**Дуйшеналиев Туратбек Болотбекович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Робототехника, мехатроника, динамика и прочность машин» Национального исследовательского университета «Московский Энергетический Институт», г. Москва, 111250, Российская Федерация, e-mail: [DuyshenaliyevT@mpei.ru](mailto:DuyshenaliyevT@mpei.ru), [duishenaliyev@mail.ru](mailto:duishenaliyev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6395-6929>

**Досанов Талгат Сапарғалиевич**, кандидат физико-математических наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [tgooglmail@gmail.com](mailto:tgooglmail@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

**Жандыбаев Бекен Бақытбекұлы**, докторант, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: [zhandybaevb@gmail.com](mailto:zhandybaevb@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

**Жуспекова Нургуль Жумагазиновна**, ст. преподаватель, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [zhuspiekova72@mail.ru](mailto:zhuspiekova72@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0913-7022>

**Жумабеков Алмар Жумағалиевич**, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет, Факультет Computer Science, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [almar89-89@mail.ru](mailto:almar89-89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

**Егинбаев Мирас Тлекович**, ст. преподаватель, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [yeginbayev.psu@gmail.com](mailto:yeginbayev.psu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4460-9304>

**Исупов Нурлыбек Айдарғалиевич**, кандидат физико-математических наук, доцент, Торайғыров университет, факультет «Computer Science», Павлодар қ., Республика Казахстан, e-mail: [nurlybek\\_79@mail.ru](mailto:nurlybek_79@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

**Исимова Бакыт Шайдулаевна**, магистр, ст. преподаватель, факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [isimova.bahyt@mail.ru](mailto:isimova.bahyt@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-2868-1231>

**Каирбаева Айжан Кумарқызы**, ст. преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [aizhan0212@mail.ru](mailto:aizhan0212@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-8690-8206>

**Куанышева Раушан Сайлауовна**, ст. преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [raushankuanysh77@mail.ru](mailto:raushankuanysh77@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9135-2156>

**Коштыбаев Талгат Бектасұлы**, кандидат физико-математических наук, доцент, Институт физики, математики и цифровых технологий, Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [koshtybayev70@mail.ru](mailto:koshtybayev70@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

**Кеңесбеков Айдар Бақытбекұлы**, PhD, постдокторант, ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: [aidar.94.01@mail.ru](mailto:aidar.94.01@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

**Кишкентаева Анаркуль Сериковна**, PhD, асоц. профессор, исследователь школы фармации, Карагандинский Медицинский университет, г. Караганда, Республика Казахстан, 100008, e-mail: [anar\\_kish@mail.ru](mailto:anar_kish@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9169-3492>

**Кабышев Асет Маратович**, PhD, преподаватель-исследователь международной кафедры «Ядерная физика, новые материалы и технологии», Физико-технический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: [assetenu@gmail.com](mailto:assetenu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

**Кисабекова Асемгуль Агибаевна**, PhD, асоц. профессор, Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [akisabekova@mail.ru](mailto:akisabekova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

**Ли Оксана Сергеевна**, магистр информатики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [ineu\\_luo@mail.ru](mailto:ineu_luo@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

**Оспанова Назира Нургазыевна**, профессор, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

**Матаева Гульнара Канатовна**, преподаватель, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, e-mail: [fiip-115@mail.ru](mailto:fiip-115@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-8748-8044>

**Рахадиллов Бауыржан Корабаевич**, PhD, асоц. профессор, Член правления- проректор по научной работе, Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: [rakhadilovb@mail.ru](mailto:rakhadilovb@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

**Сапонов Владимир Дмитриевич**, студент, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [izverk31@gmail.com](mailto:izverk31@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-9781-2927>

**Савченко Наталья Каримовна**, ст. преподаватель, Факультет инновационных технологий, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [sav\\_nata@mail.ru](mailto:sav_nata@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3750-1012>

**Сейтханова Айнур Кусбековна**, кандидат физико-математических наук, PhD, асоц. профессор Павлодарского педагогического университета, Республика Казахстан, г. Павлодар, e-mail: [ainur1179@mail.ru](mailto:ainur1179@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

**Саздолдина Жұлдыз Болаткызы**, PhD, асоц. профессор, СИС, научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология»

Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: [sagdoldina@mail.ru](mailto:sagdoldina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

**Сатыбалдин Амангельды Жарлыгасынович**, кандидат химических наук, асоц. профессор, кафедра инженерной теплофизики имени профессора Ж. С. Акылбаева, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: [Satybaldin.1975@mail.ru](mailto:Satybaldin.1975@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

**Сейтжан Райхан Сарсенқызы**, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра органической химии и полимеров, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: [Raikhan.seitzhan@mail.ru](mailto:Raikhan.seitzhan@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

**Султанова Марал Жанатовна**, PhD, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [anar\\_is@mail.ru](mailto:anar_is@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

**Султанова Марал Жанатовна**, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [s.m.zh@mail.ru](mailto:s.m.zh@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-7839-6104>

**Сагиндыков Бимурат Жумабекович**, кандидат физико-математических наук, асоц. профессор, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [bimurat55@gmail.com](mailto:bimurat55@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

**Токжигитова Нургуль Каирбаевна**, асоц. профессор (доцент), Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [nurgul287@mail.ru](mailto:nurgul287@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

**Ткач Галина Михайловна**, магистр информатики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [galina\\_tkasch\\_83@mail.ru](mailto:galina_tkasch_83@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

**Татенов Адамбек Максutowич**, кандидат физико-математических наук, доцент, Институт физики, математики и цифровых технологий, Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [a.tatenov1@gmail.com](mailto:a.tatenov1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

**Тлеукунов Садриген Кабдыгалиевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Гумилёва, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [matricant@inbox.ru](mailto:matricant@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5673-2022>

**Тельменбетова Айнура Бекеновна**, лаборант, школы фармации, Карагандинский Медицинский университет, г. Караганда, 100008, Республика Казахстан, e-mail: [Telmenbetova@qmu.kz](mailto:Telmenbetova@qmu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-1714-5220>

**Улихина Юлия Викторовна**, ст. преподаватель, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ulikhina.y@teachers.tou.edu.kz](mailto:ulikhina.y@teachers.tou.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

**Шакирова Юлия Каримовна**, ст. преподаватель, Факультет инновационных технологий, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [uliya\\_sch@mail.ru](mailto:uliya_sch@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2583-1751>

**Шаймерденова Жанар Рахимовна**, PhD, ассоц. профессор, школа фармации, Карагандинский Медицинский университет, г. Караганда, Республика Казахстан, 100008, e-mail: [arsenzhan@bk.ru](mailto:arsenzhan@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4910-3695>

**Шакаримова Куаныш Казбековна**, докторант, школа фармации, Карагандинский Медицинский университет, г. Караганда, Республика Казахстан, 100008, e-mail: [Shakarimova@qmu.kz](mailto:Shakarimova@qmu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0336-7142>

**Чирков Виктор Петрович**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Робототехника, мехатроника, динамика и прочность машин», Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Институт», 111250, Российская Федерация, г. Москва, e-mail: [ChirkovVP@mpei.ru](mailto:ChirkovVP@mpei.ru), <https://orcid.org/0009-0003-4052-3498>

**Янке Никита Анатольевич**, магистрант, Факультет инновационных технологий, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [tol-minhrplay@gmail.com](mailto:tol-minhrplay@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-7478-5970>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alimzhanova Zhanna Muratbekovna**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Almaty Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after Makan Esbulatov, Almaty, 050060, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhannamen@mail.ru](mailto:zhannamen@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6282-5356>

**Alimova Zhanar**, postdoctoral fellow, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alimova.zh@teachers.tou.edu.kz](mailto:alimova.zh@teachers.tou.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6115-5941>

**Aliyeva Moldir Ermekbaevna**, Master of Sciences, Senior Lecturer, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of physics, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [moldir-2008@mail.ru](mailto:moldir-2008@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

**Abildaeva Gulnur Baltabaevna**, Senior Lecturer, Faculty of Innovative Technologies, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [gulek\\_dil@mail.ru](mailto:gulek_dil@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3262-2552>

**Aidarbekov Nursultan**, PhD, Senior lecturer of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», Physics-Technical Faculty, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nursultan02\\_22.10.92@mail.ru](mailto:nursultan02_22.10.92@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

**Aidarbekova Akmaral**, Master of Physics, Senior Lecturer, Institute «Physics, Mathematics and Digital Technologies», Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz](mailto:aydarbekova.a@qyzpu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-9224-8542>

**Beket Shyngys Muratbekuly**, Master's degree, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bb.shyngys@mail.ru](mailto:bb.shyngys@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-9918-6032>

**Bagdat Angsat Kayyrgeldiuly**, Master's student in «Information security», Faculty of Information technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bagdat.ansat@gmail.com](mailto:bagdat.ansat@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-0627-6606>

**Baikenov Murzabek Ispolovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology and Petrochemistry, Buketov Research University, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: [murzabek\\_b@mail.ru](mailto:murzabek_b@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

**Berdybayev Dinmukhamed**, Master student of the Department of Engineering Thermophysics named after Professor J. S. Akylbayev, Buketov Research University, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dinmukammedberdibayev@mail.ru](mailto:dinmukammedberdibayev@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5485-1256>

**Bayzhumanov Saduakas Dulatovich**, Senior lecturer, Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nurgul287@mail.ru](mailto:nurgul287@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

**Baratova Aliya**, PhD, Candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», Physics-Technical Faculty, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aa.baratova@yandex.kz](mailto:aa.baratova@yandex.kz), e-mail: [baratova\\_aa@enu.kz](mailto:baratova_aa@enu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-7015-3657>

**Bimurat Zhanar**, PhD, Research scientist, Mining Institute named after D. A. Kunaev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bimuratzhanar@gmail.com](mailto:bimuratzhanar@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

**Celal Karaca**, PhD, Associate Professor, «Computer Technology faculty, Aksaray University, Aksaray, Turkey, e-mail: [karaca42@gmail.com](mailto:karaca42@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

**Dosanov Talgat Sapargalievich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tgooglmail@gmail.com](mailto:tgooglmail@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

**Duishenaliev Turatbek Bolotbekovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Robotics, Mechatronics, Dynamics and Strength of Machines of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» 111250, Moscow, Russian Federation, e-mail: [DuyshenalievT@mpei.ru](mailto:DuyshenalievT@mpei.ru), [duishenaliev@mail.ru](mailto:duishenaliev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6395-6929>

**Dautova Aigul**, senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aigul67\\_03@mail.ru](mailto:aigul67_03@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5031-8411>

**Zhandybayev Beken Bakytbekuly**, PhD student, Buketov Research University, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhandybaevb@gmail.com](mailto:zhandybaevb@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

**Zhumabekov Almar Zhumagalievich**, PhD, Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almar89-89@mail.ru](mailto:almar89-89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

**Zhuspekova Nurgul Zhumagazinovna**, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Torayghyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhuspiekova72@mail.ru](mailto:zhuspiekova72@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0913-7022>

**Yeginbayev Miras**, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Toraighyrov University, e-mail: [yeginbayev.psu@gmail.com](mailto:yeginbayev.psu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4460-9304>

**Koshtybaev Talgat Bektasuly**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute «Physics, Associate Professor, Mathematics and Digital Technologies», Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [koshtybayev70@mail.ru](mailto:koshtybayev70@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

**Kengesbekov Aidar Bakytbekuly**, PhD, postdoctoral fellow, Plasma Science LLP, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aidar.94.01@mail.ru](mailto:aidar.94.01@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

**Kishkentayeva Anarkul Serikovna**, PhD, associate professor-researcher at the School of pharmacy, Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan, 100008, e-mail: [anar\\_kish@mail.ru](mailto:anar_kish@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9169-3492>

**Kenzhebatyr Bekmyrza**, PhD, Associate Professor, «Technical Physics» Department, Teacher-researcher, Physics-Technical Faculty, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kbekmyrza@yandex.kz](mailto:kbekmyrza@yandex.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

**Kabyshev Asset**, PhD, Teacher-researcher of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», Physics-Technical Faculty, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [assetenu@gmail.com](mailto:assetenu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

**Kissabekova Assemgul**, PhD, Associate Professor, Margulan University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akisabekova@mail.ru](mailto:akisabekova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

**Kairbaeva Aizhan Kumarkyzy**, Senior lecturer, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aizhan0212@mail.ru](mailto:aizhan0212@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-8690-8206>

**Kuanysheva Raushan Saylauovna**, Senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [raushankuanys77@mail.ru](mailto:raushankuanys77@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9135-2156>

**Ospanova Nazira Nurgaziyevna**, Professor, Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

**Li Oksana Sergeevna**, MA in Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ineu\\_ljo@mail.ru](mailto:ineu_ljo@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

**Iskova Anargul Batyrbaevna**, PhD, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [anar\\_is@mail.ru](mailto:anar_is@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

**Ispulov Nurlybek Aidargalievich**, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: [nurlybek\\_79@mail.ru](mailto:nurlybek_79@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

**Isimova Bakyt Shaidulaevna**, Masters Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Torayghyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [isimova.bahyt@mail.ru](mailto:isimova.bahyt@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-2868-1231>

**Matayeva Culnara**, lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, 140008, e-mail: [fp-115@mail.ru](mailto:fp-115@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-8748-8044>

**Nurgul Kairbaevna Tokzhigitova**, Associate professor, Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nurgul287@mail.ru](mailto:nurgul287@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

**Rakhadilov Bauyrzhan Korabayevich**, PhD, Associate professor, Vice-Rector for scientific affairs of East Kazakhstan university named after Sarsen Amanzholov, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rakhadilovb@mail.ru](mailto:rakhadilovb@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

**Saponov Vladimir Dmitrievich**, student, Toraighyrov University, 140000, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, e-mail: [izverk31@gmail.com](mailto:izverk31@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-9781-2927>

**Savchenko Natalia Karimovna**, Senior Lecturer, Faculty of Innovative Technologies, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sav\\_nata@mail.ru](mailto:sav_nata@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3750-1012>

**Seitkhanova Ainur**, PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Pavlodar Pedagogical University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, e-mail: [ainur1179@mail.ru](mailto:ainur1179@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

**Sagdoldina Zhuldyz Bolatkyzy**, PhD, associate professor, Senior Researcher at the Research Center «Surface Engineering and Tribology» Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan; e-mail: [sagdoldina@mail.ru](mailto:sagdoldina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

**Satybaldin Amangeldy Zharlygasynovich**, Candidate of Chemical Sciences, Assoc. Professor of the Department of Engineering Thermophysics named after Professor J. S. Akylbayeva, Buketov Research University, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Satybaldin.1975@mail.ru](mailto:Satybaldin.1975@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

**Seitzhan Raikhan Sarsenqyzy**, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Organic Chemistry and Polymers, Buketov Research University, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Raikhan.seitzhan@mail.ru](mailto:Raikhan.seitzhan@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

**Shakarimova Kuanysh Kazbekovna**, doctorant at the School of pharmacy, Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan, 100008, e-mail: [Shakarimova@qmu.kz](mailto:Shakarimova@qmu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0336-7142>

**Sagindykov Bimurat**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences Associate Professor, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bimurat55@gmail.com](mailto:bimurat55@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

**Sultanova Maral Zhanatovna**, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [s.m.zh@mail.ru](mailto:s.m.zh@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-7839-6104>

**Tkach Galina**, MA in Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [galina\\_tkasch\\_83@mail.ru](mailto:galina_tkasch_83@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

**Tatenov Adambek**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute «Physics, Mathematics and Digital Technologies», Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.tatenov1@gmail.com](mailto:a.tatenov1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

**Telmenbetova Ainur Bekenovna**, Laboratorian at the School of pharmacy, Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan, 100008, e-mail: [Telmenbetova@qmu.kz](mailto:Telmenbetova@qmu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-1714-5220>

**Tleukenov Sadriten Kabdygalievich**, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Eurasian national university named after Gumilyov, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [matricant@inbox.ru](mailto:matricant@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5673-2022>

**Ulikhina Yuliya**, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ulikhina.y@teachers.tou.edu.kz](mailto:ulikhina.y@teachers.tou.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

**Shaimerdenova Zhanar Rakhimovna**, PhD, Associate professor-researcher at the School of pharmacy, Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan, 100008, e-mail: [arsenzhan@bk.ru](mailto:arsenzhan@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4910-3695>

**Shorman Aslan**, PhD, Master student of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», Physics-Technical Faculty, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [vip.shorman@mail.ru](mailto:vip.shorman@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-3776-6501>

**Chirkov Viktor Petrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Robotics, Mechatronics, Dynamics and Strength of Machines of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, 111250, Russian Federation, e-mail: [ChirkovVP@mpei.ru](mailto:ChirkovVP@mpei.ru), <https://orcid.org/0009-0003-4052-3498>

**Shakirova Yulia Karimovna**, Senior Lecturer, Faculty of Innovative Technologies, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [uliya\\_sch@mail.ru](mailto:uliya_sch@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2583-1751>

**Yanke Nikita Anatolievich**, master's student, Faculty of Innovative Technologies, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tol-minhrplay@gmail.com](mailto:tol-minhrplay@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-7478-5970>

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ  
«ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА.  
СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И  
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статьи для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

\* В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.

\* Количество соавторов одной статьи не более 5.

\* Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 % (согласно решению редакционной коллегии).

\* Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.

\* Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.

\* Двойное рецензирование (слепое) проводится конфиденциально, автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.

\* Квитанция об оплате предоставляется после принятия статей к публикации. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге.

\* докторантам НАО «Торайғыров университет» и иностранным авторам (без казахстанских соавторов) публикация в журнале бесплатно.

\* Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз. Ответственность за содержание статьи несет автор.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

**Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.**

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления. Журнал формируется исходя из количества не более 30 статей в одном номере.

**Периодичность издания журналов – 4 раза в год (ежеквартально).**

**Сроки подачи статьи:**

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

Научный журнал «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» выпускается с периодичностью 4 раза в год в сетевом (электронном) формате в следующие установленные сроки выхода номеров журнала:

- первый номер выпускается до 30 марта текущего года;
- второй номер – до 30 июня;
- третий номер – до 30 сентября;
- четвертый номер – до 30 декабря.

Статью (электронную версию и квитанции об оплате) следует направлять на сайтах:

- <https://vestnik.tou.edu.kz/>
- <https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>

Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

Автор, который внес наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и обозначается «\*».

Авторы из разных учебных заведений указываются цифрами <sup>1,2</sup>.

Для осуществления процедуры двойного рецензирования (слепого), авторам необходимо отправлять два варианта статьи: первый – с указанием личных данных, второй – без указания личных данных. При нарушении принципа слепого рецензирования статья не рассматривается.

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:**

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, в электронном варианте со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для Windows» (в форматах .doc, .docx, .rtf).

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы должен составлять **не менее 7 и не более 12 страниц печатного текста**. Поля страниц – 30 мм со всех сторон листа; Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).

Структура научной статьи включает название, аннотация, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список использованных источников (литературы) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

**Статья должна содержать:**

1. **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2. **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3. **Инициалы** (имя, отчество) **Фамилия** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (жирным шрифтом, по центру);

Автор, который внес наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и обозначается «\*».

Авторы из разных учебных заведений указываются цифрами <sup>1,2</sup>.

4. **Аффилиация** (организация (место работы (учебы)), страна, город) – на казахском, русском и английском языках. Полные данные об аффилиации авторов представляются в конце журнала;

5. **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий);

6. **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (рекомендуемый объем аннотации на языке публикации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец);

**7. Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

**8. Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. *Объем не менее 10, не более чем 20 наименований* (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки), преимущественно за последние 10–15 лет.

В случае наличия в списке использованных источников работ на кириллице (на казахском и русском языках), необходимо представить список литературы в двух вариантах: 1) в оригинале (указываются источники на русском, казахском и английском либо немецком языках); 2) романизированный вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках), то есть транслитерация латинским алфавитом. см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) *Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

**Онлайн сервис Транслитерация по ГОСТу – <https://transliteration-online.ru/>**

#### **Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.**

**Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом:** автор(-ы) (транслитерация либо англоязычный вариант при его наличии) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название при его наличии) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

• **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

• **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

**На отдельной странице (после статьи)**

В электронном варианте приводятся **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail** (номера телефонов для связи редакции с авторами, не публикуются);

**Сведения об авторах**

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

**ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ**

МРНТИ 04.51.59

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

**С. К. Антикеева\*, С. К. Ксембаева**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

*В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомым компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.*

*Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.*

## Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХКИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование: монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайғырова; СПб. : ГАФКиСим. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

## References

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie: suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

*С. К. Антикеева\**, *С. К. Ксембаева*  
Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

### **БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ**

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзіреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

*Кілтті сөздер:* теориялық модель, құзіреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

*S. K. Antikeeva\**, *S. K. Ksembaeva*  
Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

### **THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES**

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

*Keywords:* theoretical model, competencies, professional development, social workers.

### Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант Торайғыров университеті, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология», Торайғыров университет, Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology», Toraighyrov University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

### ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА» СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»

Редакционная коллегия научных журналов НАО «Торайғыров университет» «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» в своей профессиональной деятельности придерживаются принципов и норм Публикационной этики научных журналов НАО «Торайғыров университет». Публикационная этика разработана в соответствии с международной публикационной этической нормой Комитета по публикационной этике (COPE), этическими принципами публикации журналов Scopus (Elsevier), Кодекса академической честности НАО «Торайғыров университет».

Публикационная этика определяет нормы, принципы и стандарты этического поведения редакторов, рецензентов и авторов, меры по выявлению конфликтов интересов, неэтичного поведения, инструкции по изъятию (ретракции), исправлению и опровержению статьи.

Все участники процесса публикации, соблюдают принципы, нормы и стандарты публикационной этики.

Качество научного журнала обеспечивается исполнением принципов участников процесса публикации: равенства всех авторов, принцип конфиденциальности, однократные публикации, авторства рукописи, принцип оригинальности, принцип подтверждения источников, принцип объективности и своевременности рецензирования.

Права и обязанности членов редакционных коллегий научных журналов НАО «Торайғыров университет» «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» определены СО СМК 8.12.3-20 Управление научно-издательской деятельностью.

#### Права и обязанности рецензентов

Рецензенты научных журналов «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана», научно-популярного журнала «Краеведение», обязаны руководствоваться принципом объективности.

Персональная критика в адрес автора(-ов) рукописи недопустима. Рецензент должен аргументировать свои замечания и обосновывать свое решение о принятии рукописи или о ее отклонении.

Национальность, религиозная принадлежность, политические или иные взгляды автора(-ов) не должны приниматься во внимание и учитываться в процессе рецензирования рукописи рецензентом(-ами).

Экспертная оценка, составленная рецензентом должна способствовать принятию решения редакцией о публикации и помогать автору улучшить рукопись.

Решение о принятии рукописи к публикации, возвращение работы автору на изменение или доработку, либо решение об отклонении от публикации принимается редколлегией опираясь на результаты рецензирования.

**Принцип своевременности рецензирования.** Рецензент обязан предоставить рецензию в срок, определенный редакцией, но не позднее 2-4 недель с момента получения рукописи на рецензирование. Если рассмотрение статьи и подготовка рецензии в назначенные сроки невозможны, то рецензент должен незамедлительно уведомить об этом научного редактора.

Рецензент, который считает, что его квалификация не соответствует либо недостаточна для принятия решения при рецензировании предоставленной рукописи должен незамедлительно сообщить об этом научному редактору и отказаться от рецензирования рукописи.

**Принцип конфиденциальности со стороны рецензента.** Рукопись, предоставленная рецензенту на рецензирование должна рассматриваться как конфиденциальный материал. Рецензент имеет право демонстрировать ее и/или обсуждать с другими лицами только после получения письменного разрешения со стороны научного редактора журнала и/или автора(-ов).

Информация и идеи научной работы, полученные в ходе рецензирования и обеспечения публикационного процесса, не должны быть использованы рецензентом(-ами) для получения личной выгоды.

**Принцип подтверждения источников.** Рецензент должен указать научные работы, которые оказали бы влияние на исследовательские результаты рассматриваемой рукописи, но не были приведены автором(-ами). Также рецензент обязан обратить внимание научного редактора на значительное сходство или совпадение между рассматриваемой рукописью и ранее опубликованной работой, о котором ему известно.

Если у рецензента имеются достаточные основания полагать, что в рукописи содержится плагиат, некорректные заимствования, ложные и сфабрикованные материалы или результаты исследования, то он не должен допустить рукопись к публикации и проинформировать научного редактора журнала о выявленных нарушениях принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

## **Права и обязанности авторов**

Публикационная этика базируется на соблюдении принципов:

**Однократность публикации.** Автор(-ы) гарантируют что представленная в редакцию рукопись статьи не была представлена для рассмотрения в другие издания. Представление рукописи одновременно в нескольких журналах/изданиях неприемлемо и является грубым нарушением принципов, стандартов и норм публикационной этики.

**Авторство рукописи.** Лицо, которое внесло наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и указывается первым в списке авторов.

Для каждой статьи должен быть назначен автор для корреспонденции, который отвечает за подготовку финальной версии статьи, коммуникацию с редколлегией, должен обеспечить включение всех участников исследования (при количестве авторов более одного), внесших в него достаточный вклад, в список авторов, а также получить одобрение окончательной версии рукописи от всех авторов для представления в редакцию для публикации. Все авторы, указанные в рукописи/статье, несут ответственность за содержание работы.

**Принцип оригинальности.** Автор(-ы) гарантирует, что результаты исследования, изложенные в рукописи, представляют собой оригинальную самостоятельную работу, и не содержат некорректных заимствований и плагиата, которые могут быть выявлены в процессе.

Авторы несут ответственность за публикацию статей с признаками неэтичного поведения, плагиата, самоплагиата, самоцитирования, фальсификации, фабрикации, искажения данных, ложного авторства, дублирования, конфликта интересов и обмана.

**Принцип подтверждения источников.** Автор(-ы) обязуется правильно указывать научные и иные источники, которые он(и) использовал(и) в ходе исследования. В случае использования каких-либо частей чужих работ и/или заимствования утверждений другого автора(-ов) в рукописи должны быть указаны библиографические ссылки с указанием автора(-ов) первоисточника. Информация, полученная из сомнительных источников не должна использоваться при оформлении рукописи.

В случае, если у рецензентов, научного редактора, члена(-ов) редколлегии журнала возникают сомнения подлинности и достоверности результатов исследования, автор(-ы) должны предоставить дополнительные материалы для подтверждения результатов или фактов, приводимых в рукописи.

**Исправление ошибок в процессе публикации.** В случае выявления ошибок и неточностей в работе на любой стадии публикационного процесса авторы обязуются в срочном порядке сообщить об этом научному редактору и оказать помощь в устранении или исправлении ошибки для публикации

на сайте журнала соответствующей коррекции (Erratum или Corrigendum) с комментариями. В случае обнаружения грубых ошибок, которые невозможно исправить, автор(-ы) должен(-ны) отозвать рукопись/статью.

**Принцип соблюдения публикационной этики.** Авторы обязаны соблюдать этические нормы, связанные с критикой или замечаниями в отношении исследований, а также в отношении взаимодействия с редакцией по поводу рецензирования и публикации. Несоблюдение этических принципов авторами расценивается как грубое нарушение этики публикаций и дает основание для снятия рукописи с рецензирования и/или публикации.

#### **Конфликт интересов**

Конфликт интересов, по определению Комитета по публикационной этике (COPE), это конфликтные ситуации, в которых авторы, рецензенты или члены редколлегии имеют неявные интересы, способные повлиять на их суждения касательно публикуемого материала. Конфликт интересов появляется, когда имеются финансовые, личные или профессиональные условия, которые могут повлиять на научное суждение рецензента и членов редколлегии, и, как результат, на решение редколлегии относительно публикации рукописи.

Главный редактор, член редколлегии и рецензенты должны оповестить о потенциальном конфликте интересов, который может как-то повлиять на решение редакционной коллегии. Члены редколлегии должны отказаться от рассмотрения рукописи, если они состоят в каких-либо конкурентных отношениях, связанных с результатами исследования автора(-ов) рукописи, либо если существует иной конфликт интересов.

При подаче рукописи на рассмотрение в журнал, автор(-ы) заявляет о том, что в содержании рукописи указаны все источники финансирования исследования; также указывают, какие имеются коммерческие, финансовые, личные или профессиональные факторы, которые могли бы создать конфликт интересов в отношении поданной на рассмотрение рукописи. Автор(-ы), в письме при наличии конфликта интересов, могут указать ученых, которые, по их мнению, не смогут объективно оценить их рукопись.

Рецензент не должен рассматривать рукописи, которые могут послужить причинами конфликта интересов, проистекающего из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, имеющих отношение к рукописи.

В случае наличия конфликта интересов с содержанием рукописи, ответственный секретарь должен известить об этом главного редактора, после чего рукопись передается другому рецензенту.

Существование конфликта интересов между участниками в процессе рассмотрения и рецензирования не значит, что рукопись будет отклонена.

Всем заинтересованным лицам необходимо, по мере возможности избегать возникновения конфликта интересов в любых вариациях на всех этапах публикации. В случае возникновения какого-либо конфликта интересов тот, кто обнаружил этот конфликт, должен незамедлительно оповестить об этом редакцию. То же самое касается любых других нарушений принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

#### **Неэтичное поведение**

Неэтичным поведением считаются действия авторов, редакторов или издателя, в случае самостоятельного предоставления рецензии на собственные статьи, в случае договорного и ложного рецензирования, в условиях обращения к агентским услугам для публикации результатов научного исследования, лжеавторства, фальсификации и фабрикация результатов исследования, публикация недостоверных псевдо-научных текстов, передачи рукописи статей в другие издания без разрешения авторов, передачи материалов авторов третьим лицам, условия когда нарушены авторские права и принципы конфиденциальности редакционных процессов, в случае манипуляции с цитированием, плагиатом.

Теруге 09.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,50 Мб RAM

Шартты баспа табағы 10,01. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4318

Сдано в набор 09.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

7,50 Мб RAM

Усл.печ.л. 10,01. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4318

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

+7(718)267-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik.tou.edu.kz](http://www.vestnik.tou.edu.kz)

<https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>