

**Базарбеков Икрам Медеуұлының**  
**«Когнитивті функциялары бұзылған ауруларды диагностикалау үшін**  
**жасанды интеллект модельдері мен әдістерін зерттеу» атты**  
**диссертациялық жұмысына, 8D06102 – «Компьютерлік және**  
**бағдарламалық инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша**  
**философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған**  
**АҢДАТПА**

**Өзектілігі**

Когнитивтік процестердің бұзылуымен қатар жүретін аурулар нейродегенеративті бұзылыстардың кең ауқымды класын құрайды және қазіргі заманның негізгі медициналық-әлеуметтік мәселелерінің бірі болып табылады. Осы патологиялар класында Альцгеймер ауруы (АА) басым орын алады, ол деменцияның барлық клиникалық жағдайларының 70%-ына дейінін құрайды. Осыған байланысты, осы диссертациялық жұмыста Альцгеймер ауруы зерттеу және диагностикалау әдістерін әзірлеу үшін базалық модель ретінде таңдалды, оның нәтижелері кейіннен когнитивтік бұзылыстардың басқа түрлеріне экстраполяциялануы мүмкін.

АА деменцияның ең кең таралған себебі болып табылады және әлем бойынша миллиондаған адамдарды қамтиды. ДДҰ (Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы) болжамы бойынша, науқастар саны 2050 жылға қарай үш есе артады. Қолданыстағы диагностикалық әдістер, мысалы МРТ (магниттік-резонанстық томография), ПЭТ (позитронды-эмиссиялық томография), КТ (компьютерлік томография), ЭЭГ (электроэнцефалография), МЭГ (магнитоэнцефалография) және жұлын сұйықтығын талдау жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді, бірақ қымбат, инвазивті немесе жаппай скрининг үшін қолжетімсіз болып табылады. MMSE (Mini-mental state examination), MoCA (Montreal cognitive assessment) сияқты стандартты когнитивтік тесттер ерте кезеңдерде жеткілікті сезімтал емес. Осыған байланысты жаңа сандық биомаркерлерді іздеу қажеттілігі артып келеді.

Белгілі болғандай, моторлық бақылау, атап айтқанда жазудың ұсақ моторикасы, айқын когнитивтік симптомдар пайда болғанға дейін әлсірей бастайды. Жазу кинематикасын талдауда жасанды интеллект әдістерін қолдану объективті және масштабталатын диагностикалық құралдарды жасау үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Алайда, терең оқытуды клиникалық практикаға енгізу көбінесе таңбаланған деректер жиындарының жетіспеушілігімен шектеледі. Осылайша, шектеулі таңдауларда жасанды интеллект модельдерін тиімді оқытуға мүмкіндік беретін әдістерді, соның ішінде синтетикалық деректерді қолдану арқылы әзірлеу аса өзекті міндет болып табылады.

Осылайша, зерттеудің өзектілігі Альцгеймер ауруымен ауыратын науқастар санының өсуімен және қолданыстағы скрининг құралдарының шектеулерімен негізделеді. ПЭТ сияқты стандартты визуализация әдістері радиоактивті индикаторларды қолдануды талап етеді және қолжетімділігі шектеулі, ал МРТ металл импланттары немесе клаустрофобиясы бар

науқастарға қарсы көрсетілім болуы мүмкін. Сонымен қатар, аурудың прогрессиясын үздіксіз динамикалық бақылауға арналған стандартталған механизмдер жоқ. Сондықтан, айтарлықтай неврологиялық зақымдану басталғанға дейін тәуекел тобындағы адамдарды анықтау үшін бастапқы медициналық буында енгізілуі мүмкін экономикалық тиімді, инвазивті емес және объективті сандық биомаркерлерге шұғыл қажеттілік бар.

Осы жұмыстың негізгі **мақсаты** – жасанды интеллект негізінде Альцгеймер ауруын ерте диагностикалау әдістерін зерттеу және бағалау. Ол жаңа сенсорлық деректер көздерін, атап айтқанда жазу кинематикасын, күрделі терең оқыту архитектураларымен және деректерді толықтыру әдістерімен біріктіруді көздейді, бұл ауруды диагностикалаудың дәлдігін, сезімталдығын және клиникалық қолжетімділігін арттыру үшін.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** шешілді:

1) МРТ, ПЭТ, ЭЭГ, МЭГ және сенсор деректерін қоса алғанда, әртүрлі аспаптық зерттеу әдістерінде қолданылатын заманауи ЖИ және машиналық оқыту әдістеріне сыни шолу жасау және жалпылау;

2) Моторлық бақылау бұзылыстарын көрсететін графомоторлық белсенділіктің кинематикалық сипаттамаларын тіркеуге арналған сенсорлық құрылғының архитектурасы мен прототипін әзірлеу;

3) Альцгеймер ауруы диагнозы қойылған науқастар мен сау еріктілерді қамтитын репрезентативті топтардан клиникалық жағдайларда жазу кинематика параметрлерін жинау арқылы эксперименттік іріктемені қалыптастыру;

4) Альцгеймер ауруы бар пациенттер мен бақылау тобындағы когнитивтік сау адамдар арасындағы жазу кинематикасындағы (жылдамдық, үдеу, тремор) айырмашылықтарды зерттеу және сандық бағалау;

5) Шектеулі клиникалық деректер мәселесін шешу үшін патологиялық үлгілерді математикалық модельдеу негізінде синтетикалық деректер генерациялау әдісін жүзеге асыру және бағалау;

6) LSTM, Attention, Transformer және CNN-BiLSTM модельдері негізінде салыстырмалы зерттеу жүргізу.

**Зерттеу нысаны** – когнитивтік бұзылыстармен байланысты нейродегенеративті ауруларды диагностикалау және мониторинг процесі.

**Зерттеу пәні** – жасанды интеллект модельдері, оқыту таңдауларын толықтыру үшін синтетикалық деректер генерациялау әдістері, сондай-ақ когнитивтік бағалау үшін қолданылатын жазу сенсорлық құралдары арқылы алынған кинематикалық сандық биомаркерлер.

### **Әдіснамасы**

Жұмыстың әдіснамалық негізін жазу тапсырмаларын орындау кезінде инерциялық сенсорлардан (IMU) алынған кинематикалық деректерді жинау және талдау құрайды. Сигналдарды алдын ала өңдеу және биомеханикалық параметрлерді есептеу үшін цифрлық сүзгілеу және математикалық модельдеу әдістері қолданылды. Таңдаудың шектеулілігі мәселесі синтетикалық деректерді стохастикалық генерациялау арқылы шешілді. Негізгі жіктеу құралы – кеңістіктік-уақыттық паттерндерді анықтауға мүмкіндік беретін

CNN-BiLSTM гибриді нейрондық желі архитектурасы. Модельдерді тексеру дәлдік, сезімталдық және ROC-қисық астындағы аудан метрикаларын бағалай отырып, кросс-валидация әдісімен жүргізілді.

**Қорғауға ұсынылатын ғылыми тұжырымдар:**

1) 6 еркіндік дәрежесінде қол қозғалысының кинематикасын жоғары жиілікте (100 Гц) тіркеуді қамтамасыз ететін инерциялық модуль негізіндегі сенсорлық құралдың (Smart Pen) архитектурасы мен техникалық жүзеге асырылуы, бұл стандартты бағалау әдістерімен анықталмайтын ұсақ моториканың жасырын бұзылыстарын объективтендіруге мүмкіндік береді.

2) IMU сигналдарының биомеханикалық уақыттық қатарлары негізінде 18 арналы белгілер кеңістігін қалыптастыру әдісі, оған туынды және интегралдық кинематикалық сипаттамалар (рывок, жылдамдық, бұрыштық үдеу, бағдар) кіреді, олардың статистикалық талдауы Альцгеймер ауруы бар пациенттер мен сау адамдар арасындағы топаралық айырмашылықтардың диагностикалық маңыздылығын растайды ( $p < 0,05$ ).

3) Патологиялық үлгілерді математикалық модельдеу негізінде синтетикалық деректер генерациялау әдісі, оның ішінде треморды имитациялау үшін стохастикалық шу енгізу алгоритмдері және брадикинезияны имитациялау үшін уақыт шкаласын сызықтық емес деформациялау, бұл клиникалық деректер тапшылығын өтеуге және модельдің қайта оқытылуын болдырмауға мүмкіндік береді.

4) Терең нейрондық желінің гибриді архитектурасы (CNN-BiLSTM), жергілікті аномалияларды (микротремор) анықтау үшін конволюциялық қабаттардың және уақыттық динамиканы (когнитивтік кідірістер) талдау үшін екі бағытты рекурренттік қабаттардың синергиясын жүзеге асырады, бұл AUC 0.96 болжау дәлдігін қамтамасыз етеді және классикалық машиналық оқыту алгоритмдерінен едәуір жоғары.

**Зерттеудің негізгі нәтижелері:**

1) Нейродегенеративті ауруларды диагностикалаудың заманауи әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді, ол қазіргі тәсілдердің маңызды шектеулерін (нейровизуализацияның жоғары құны, клиникалық шкалалардың субъективтілігі) анықтап, ұсақ моториканы объективті талдауға негізделген қолжетімді скрининг құралдарын әзірлеу қажеттілігін негіздеді.

2) Жазу кинематика параметрлерін тіркеуге арналған сенсорлық құрылғы әзірленді, оған біріктірілген инерциялық датчик (акселерометр, гироскоп) және арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету кіреді, бұл пациентке стресс әсерінсіз табиғи жазу жағдайында инвазивті емес деректер жинауға мүмкіндік береді.

3) 3D жазу кинематикасының эксперименттік деректер базасы жиналды, ол жоғары ажыратымдылықпен және динамикалық параметрлерді (рывок, микротремор) қамтумен сипатталады, бұл нейродегенерацияның жасырын үлгілерін анықтау және терең оқыту модельдерін тексеру үшін қажетті репрезентативтілікті қамтамасыз етеді.

4) Кіші таңдаулар жағдайында нейрондық желілерді оқыту үшін деректерді толықтыру әдісі қолданылды, ол патологиялық моторлық үлгілерді

(тремор және брадикинезия) математикалық модельдеуге негізделген, бұл клиникалық мысалдардың жетіспеушілігін өтеуге және модельдердің жалпылау қабілетін арттыруға мүмкіндік береді.

5) Рекурренттік және трансформерлік модельдер негізіндегі нейрондық желі архитектураларына салыстырмалы зерттеу жүргізілді: базалық LSTM – AUC 0,7779, LSTM+Attention – AUC 0,9597, Transformer Encoder – AUC 0,9268; CNN-BiLSTM гибриді архитектурасы жобаланып, тексерілді және барлық тәсілдердің ішінде ең жоғары нәтижелер көрсетті (AUC 0,963, Recall 0,930), бұл гибриді модельдердің артықшылығын дәлелдейді.

6) Жылдамдық, үдеу және тремор параметрлерінен тұратын кинематикалық көрсеткіштер жиынтығы анықталды, ол когнитивтік бұзылыстардың ерте кезеңдерін 93,4% сезімталдықпен диагностикалауға мүмкіндік береді.

### **Ғылыми жаңалығы**

Зерттеудің ғылыми жаңалығы – жазу кинематикасының динамикалық уақыттық қатарларын талдауға арналған CNN-BiLSTM гибриді нейрондық желі архитектурасын әзірлеу, сондай-ақ тремор мен брадикинезия сияқты патологиялық симптомдарды математикалық модельдеу негізінде синтетикалық деректер генерациялау әдісін құру болып табылады. Бұл тәсіл алғаш рет қалыптастырылған таңбаланған ұсақ моторика сигналдарының бірегей деректер базасымен толықтырылды және жоғары болжамдық дәлдікке (AUC 0.96) қол жеткізуге мүмкіндік береді.

**Диссертациялық жұмыстың теориялық маңыздылығы** нейродегенеративті ауруларды диагностикалау үшін терең оқыту әдістерін шектеулі деректер іріктемелері жағдайында қолданудың тиімділігін ғылыми тұрғыдан негіздеуде жатыр. Жұмыста нақты клиникалық деректер мен синтетикалық деректерді бірлесіп пайдалануға негізделген біріктірілген оқыту әдісі медициналық статистиканың тапшылығын өтеуге мүмкіндік беретіні дәлелденді. Симптомдардың физикалық табиғатын, атап айтқанда тремор мен брадикинезияны математикалық модельдеу оқыту іріктемесінің қажетті репрезентативтілігін қамтамасыз ететіні анықталды, бұл болжамдық модельдердің жоғары дәлдігі мен тұрақтылығына кепілдік береді.

Теорияға маңызды үлес ретінде жазу кинематикасын талдау үшін нейрондық желілердің гибриді архитектурасын қолданудың орындылығы негізделді. Конволюциялық қабаттарды жергілікті белгілерді анықтау үшін және рекурренттік қабаттарды уақыттық динамиканы талдау үшін біріктіру бір компонентті әдістермен анықтау мүмкін емес жасырын моторлық бұзылыстарды анықтауға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Нейропсихология және цифрлық биомаркерлерді талдау саласындағы бірқатар зерттеулер жазу моторикасының уақыттық параметрлері, атап айтқанда жылдамдық, латенттілік, үдеудің вариабельдігі статикалық графикалық сипаттамалармен салыстырғанда ерте когнитивтік бұзылыстардың неғұрлым сезімтал индикаторлары болып табылатынын көрсетті.

Диссертациялық жұмыстың **практикалық маңыздылығы** когнитивтік бұзылыстарды автоматтандырылған диагностикалауға арналған қолданбалы құралдарды әзірлеу және енгізуде жатыр.

Біріншіден, инерциялық өлшеу модульдері негізінде жұмыс істейтін сенсорлық құрылғы әзірленді. Бұл құрылғы экономикалық тұрғыдан тиімді және мобильді шешім болып табылады, ол алғашқы медициналық-санитарлық көмек деңгейінде халықты инвазивті емес жаппай скринингтен өткізуге мүмкіндік береді және медициналық персоналдан арнайы техникалық дайындықты талап етпейді.

Екіншіден, ұсынылған алгоритмдер негізінде ИМУ-сигналдардың биомеханикалық уақыттық қатарларын өңдеу және жіктеу үшін терең оқыту модельдері әзірленіп, эксперименттік түрде валидацияланды. Тиімділігі эксперименттік түрде расталды: патологияны тану дәлдігі 93,4%-ға жетті, бұл дәстүрлі машиналық оқыту әдістерінің көрсеткіштерінен жоғары.

Үшіншіден, қалыптастырылған жазудың үшөлшемді кинематикалық параметрлерінің аннотацияланған деректер базасы практикалық құндылыққа ие. Жасалған деректер жиыны диагностикалық модельдерді верификациялау үшін бірегей ресурс болып табылады және нейродегенеративті ауруларды талдаудың жаңа әдістерін әзірлеу үшін зерттеу топтары тарапынан пайдаланылуы мүмкін.

### **Нәтижелердің сенімділігі және негізділігі**

Алынған нәтижелердің сенімділігі және диссертацияның ғылыми қағидаларының негізділігі математикалық статистика әдістерін, сигналдарды цифрлық өңдеуді және терең оқыту әдістерін қамтитын іргелі математикалық аппаратты дұрыс қолданумен расталады. Ерекше маңызға қозғалыс кинематикасының физикалық негізделген модельдерін қолдану ие, мысалы, треморды стохастикалық модельдеу және уақыт шкаласының сызықтық емес деформациясы, бұл синтетикалық деректер генерациялау алгоритмдерінің нақты биомеханикалық процестерге сәйкестігін қамтамасыз етеді.

Зерттеудің эмпирикалық негізі ретінде 215 сыналушыдан тұратын репрезентативті іріктемемен жүргізілген клиникалық эксперименттер барысында алынған верификацияланған деректер жиыны қызмет етті, оның ішінде Альцгеймер ауруы диагнозы расталған 106 пациент және 109 сау ерікті бар. Қалыптастырылған іріктеменің көлемі қажетті сенімділік ықтималдығымен статистикалық мәнді бағалар алу үшін жеткілікті болып табылады. Бастапқы физикалық параметрлерді тіркеудің жоғары дәлдігі MPU-9250 калибрленген инерциялық модуль негізінде әзірленген Smart Pen құрылғысының аппараттық верификациясымен қамтамасыз етіледі, бұл эксперименттердің қайталанымдылығын қамтамасыз етеді.

Әзірленген нейрондық желі модельдерінің тиімділігін бағалау халықаралық тәжірибеде кеңінен қолданылатын стандартталған метрикаларды пайдалану арқылы жүргізілді, оның ішінде сезімталдық, спецификалық және ROC-қисық астындағы аудан. Қайта оқыту әсерін болдырмау және нәтижелердің тұрақтылығын растау үшін k-блоктар бойынша кросс-валидация процедурасы қолданылды. Сенімділіктің дәлелі ретінде

ұсынылған гибриді тәсілдің классикалық машиналық оқыту алгоритмдері мен бір компонентті нейрондық желілерге қарағанда артықшылығын бірдей тестілік іріктемелерде эксперименттік түрде растаған салыстырмалы талдау да қызмет етеді.

#### **Диссертациялық жұмыстың апробациясы**

Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен практикалық нәтижелері халықаралық ғылыми-техникалық конференцияларда ұсынылып, талқыланып, оң баға алды.

Осы зерттеудің нәтижелері келесі жарияланымдарда да ұсынылған:

1) Bazarbekov, I., Almisreb, A., Ipalakova, M., Bazarbekova, M., Daineko, Y. (2026). Sim-to-Real Domain Adaptation for Early Alzheimer's Detection from Handwriting Kinematics Using Hybrid Deep Learning. *Sensors*, 26(1), 298. <https://doi.org/10.3390/s26010298>;

2) Bazarbekov, I., Razaque, A., Ipalakova, M., Yoo, J., Assipova, Z., & Almisreb, A. (2024). A review of artificial intelligence methods for Alzheimer's disease diagnosis: Insights from neuroimaging to sensor data analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 92, 106023. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106023>;

3) Базарбеков И.М., Ипалакова М.Т., Дайнеко Е.А., Муханов С.Б. Альцгеймер ауруын диагностикалауға арналған robo-реп деректерін өңдеу және талдау: алдын ала нәтижелер. Қазақ-Британ техникалық университетінің хабаршысы. 2024; 21(3):78–89. <https://doi.org/10.55452/1998-6688-2024-21-3-78-89>;

4) Bazarbekov, I.; Ipalakova, M.; Daineko, Y.; Mukhanov, S.; Bazarbekova, M.; Zholdassova, Z.; Turgunova, A.; Kapyshev, G. Design of a smart handwriting tool for early detection of Alzheimer's disease. In *Proceedings of the 2025 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA)*, Antalya, Turkiye, 7–9 August 2025; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2025; pp. 1–6;

5) Yegemberdiyev, T., Daineko, Y., & Bazarbekov, I. (2025). Efficiency of artificial intelligence in the diagnosis of cognitive disorders. *Procedia Computer Science*, 265, 620–624. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.07.229>;

6) Базарбеков И.М., Ипалакова М.Т., Дайнеко Е.А., Жолдасова Ж.А., Базарбекова М.М., Асипова Ж.М. Қазақстан Республикасының 31.03.2025 ж. №56208 ғылым туындысына құқықты қорғау туралы куәлігі. Когнитивтік бұзылыстарды талдау үшін жазу моторикасы деректерін жинау және сипаттау әдістемесі.

Барлық көрсетілген жарияланымдарда ізденушіге міндеттерді қоюда, зерттеулер жүргізуде және мақалалардың негізгі мәтінін дайындауда жетекші рөл тиесілі.

#### **Мемлекеттік бағдарламалармен байланысы**

Диссертациялық жұмыс «Жас ғалым» жобасы (ИРН АР25796437) шеңберінде «Когнитивтік бұзылыстарды диагностикалау үшін машиналық оқыту әдістері мен жазу моторикасын талдау негізінде интеллектуалды жүйені

әзірлеу» тақырыбында жас ғалымдарды гранттық қаржыландыру аясында орындалды.

Зерттеу Қазақстан Республикасының даму стратегиясының басымдықтарына сәйкес келеді және 2024–2029 жылдарға арналған Қазақстан Республикасында жасанды интеллектті дамыту тұжырымдамасын іске асыруға үлес қосады, атап айтқанда дәрігерлік шешім қабылдауды қолдаудың отандық интеллектуалды жүйелерін әзірлеу және биомедициналық деректерді талдау үшін машиналық оқыту технологияларын қолдану бөлігінде. Әзірленген гибриді нейрондық желі моделі мен деректерді толықтыру әдісі ЖИ саласындағы ұлттық әлеуетті дамытуға ықпал етеді.

### **Диссертацияның негізгі мазмұны**

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Зерттеудің құрылымдық логикасы қолданыстағы ғылыми тәсілдерді талдаудан бастап, өз инженерлік-алгоритмдік жүйесін әзірлеуге және ұсынылған шешімдерді эксперименттік тексеруге дейінгі бірізді өтуді көрсетеді.

Бірінші бөлімде Альцгеймер ауруы мысалында нейродегенеративті аурулардың клиникалық аспектілеріне теориялық талдау ұсынылған. Заманауи аспаптық диагностика әдістері, оның ішінде нейровизуализация және нейрофизиологиялық технологиялар қарастырылған, сондай-ақ медициналық диагностикада қолданылатын машиналық оқыту әдістеріне шолу жүргізілген. Ерекше назар жазу кинематикасының параметрлерін ерте когнитивтік төмендеудің перспективалы сандық биомаркері ретінде талдауға аударылған. Бөлім ғылыми мәселені тұжырымдаумен және жаңа тәсілді әзірлеу қажеттілігін негіздеумен аяқталады.

Екінші бөлімде жазу кинематика параметрлерін тіркеуге арналған сенсорлық жүйенің инженерлік жүзеге асырылуы сипатталған. Аппараттық платформаны таңдау, құрылғы архитектурасы және инерциялық модульдерді интеграциялау қағидалары негізделген. Деректерді жинау және беру модулін жобалау, прототиптеу және бағдарламалық жүзеге асыру кезеңдері егжей-тегжейлі сипатталған. Сондай-ақ эксперимент жүргізу әдістемесі және қалыптастырылған клиникалық іріктеменің сипаттамасы келтірілген.

Үшінші бөлім сигналдарды цифрлық өңдеу алгоритмдерін, диагностикалық маңызды белгілерді шығару және оқыту деректер жиындарын қалыптастыруды әзірлеуге арналған. Пациенттер топтары мен бақылау іріктемесінде жазу кинематикасының сипаттамаларына салыстырмалы талдау нәтижелері ұсынылған. Клиникалық іріктеменің шектеулілігін өтеу және модельдердің жалпылау қабілетін арттыру мақсатында патологиялық моторлық үлгілерді математикалық модельдеу негізінде синтетикалық деректер генерациялау әдісі әзірленген.

Төртінші бөлімде классикалық және терең машиналық оқыту әдістері жүзеге асырылып, эксперименттік зерттелген. SVM, Random Forest, k-NN және логистикалық регрессия алгоритмдері бапталып, салыстырмалы талданған. Рекурренттік және трансформерлік модельдер негізіндегі нейрондық желі архитектураларына салыстырмалы зерттеу жүргізілген:

базалық LSTM, жұмсақ назар механизмі бар LSTM және Transformer Encoder. Биомеханикалық уақыттық қатарлардың кеңістіктік-уақыттық паттерндерін талдауға арналған CNN-BiLSTM гибриді архитектурасы негізделіп, әзірленген және барлық зерттелген тәсілдердің ішінде ең жоғары нәтижелер көрсеткен. Гиперпараметрлерді оңтайландыру және модельдердің тиімділігін стандартталған сапа метрикалары арқылы бағалау жүргізілген.

Қорытындыда зерттеудің негізгі нәтижелері тұжырымдалып, ғылыми және практикалық қорытындылар жинақталған, сондай-ақ когнитивтік бұзылыстарды диагностикалау үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану саласындағы әрі қарайғы зерттеулердің перспективалы бағыттары анықталған.

Диссертацияның толық көлемі 101 бетті құрайды, оның ішінде 21 сурет, 12 кесте, сондай-ақ 2 қосымша бар. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 132 жарияланымнан тұрады.