

Бакирова Гульназ Сайлаувна 8D06102 – «Компьютерлік және программалық инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған «Федеративті машиналық оқытуды қолдану арқылы модельдер мен әдістерді әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Білім беру ортасы жаһандық цифрлықтандыру дәуіріне енуде, сондықтан осы салада таратылған және құпия деректерді талдауға арналған құралдар үнемі дамып отырады. Нәтижесінде федерацияланған машинамен оқыту әдістеріне ғылыми және практикалық қызығушылық артып келеді. Көп мөлшерде ақпарат жинау кезінде құпия деректерді қорғауға қойылатын қатаң талаптар орталықтандырылған өңдеу мүмкіндіктерін шектейді. Қазіргі заманғы білім беру жүйелерінде жиналған оқушылардың оқу белсенділігін, мінез-құлық ерекшеліктерін және психо-эмоционалдық күйін көрсететін деректердің құпиялылығын сақтау аса маңызды міндет болып табылады.

Таратылған деректермен жұмыс істегенде федерацияланған оқытудың әлеуеті шетелдік зерттеулердің нәтижелерімен расталады. Орталықтандырылған оқытумен салыстыруға болатын модельдердің дәлдігі федерацияланған агрегацияның негізгі механизмі арқылы қамтамасыз етіледі. Тұрақсыз конвергенция мен жаһандық модель сапасының төмендеуі теңгерімсіз және гетерогенді деректермен сипатталады, бұл зерттеулерде көрініс табады. Ғылыми әдебиетте осы шектеулерді еңсеру үшін жетілдірілген федерацияланған оқыту схемалары ұсынылған. Сервер жағындағы оңтайландыруға негізделген тәсілдер оқыту процесінің тұрақтылығын арттыруға және конвергенциясын жеделдетуге бағытталған, ал проксимальды реттеуді қолданатын әдістер жергілікті модельдердің дивергенциясын шектеуге және деректердің гетерогенділігі жағдайында оқытуды тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Клиенттер арасында бастапқы деректерді тасымалдамай-ақ жоғары дәлдікке қол жеткізу мүмкіндігі көлденең федерацияланған оқыту саласындағы қосымша зерттеулерде көрініс табады.

Жеке деректерді қорғау мәселелеріне академиялық әдебиетте ерекше назар аударылады. Федерацияланған оқыту – білім беру және әлеуметтік жүйелер үшін ең перспективалы әдістердің бірі, ол аналитикалық тиімділікті ақпараттық қауіпсіздік талаптарына сәйкестікпен үйлестіруге мүмкіндік береді.

Зерттеулерді талдау федеративті оқыту саласындағы жұмыстардың басым бөлігі дифференциалданатын модельдер мен нейрондық желі архитектураларына бағытталғанын көрсетті. Федеративті тәсілдерді дифференциалданбайтын машинамен оқыту алгоритмдеріне, атап айтқанда Random Forest сияқты ансамбль модельдеріне қолдану. Жергілікті

модельдердің статистикалық өкілдіктеріне негізделген федерацияланған агрегация әдістерін әзірлеу жеткілікті зерттелмеген. Білім беру мекемелерінен алынған нақты әртүрлі деректер негізінде студенттердің психо-эмоционалдық күйін талдаудың практикалық іске асырылуы ғылыми әдебиетте шектеулі түрде қарастырылған.

Таратылған құпия студент деректерін талдауға арналған дифференциалданбайтын модельдерге федерацияланған машинамен оқыту әдістерін әзірлеу және енгізу міндеті өте өзекті. Осы тапсырманы шешудің жолы – жеке ақпаратты қорғаудың жоғары деңгейін қамтамасыз ету, әртүрлі деректер орталарындағы жаһандық модельдердің тұрақтылығы мен сапасын арттыру, білім беру ортасының цифрлық трансформациясын дамыту және ақпараттық қауіпсіздік талаптарына қатаң сәйкес келетін интеллектуалды аналитикалық жүйелерді енгізу.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты – федерацияланған машинамен оқыту модельдері мен әдістерін әзірлеу және оларды практикалық қолдану арқылы таратылған құпия деректерді талдау кезінде жеке ақпаратты қорғау мен әртүрлі деректер жағдайында оқытудың тұрақтылығын қамтамасыз ету.

Зерттеу мақсаттары:

1. Таратылған студент деректерінің ерекшелік кеңістігін жинау, алдын ала өңдеу және үйлестіру жүйесін енгізу.

2. Жергілікті модельдердің статистикалық бейнелеулеріне негізделген дифференциалданбайтын ансамбль модельдері үшін федерацияланған агрегация әдістерін әзірлеу.

3. Серверге бастапқы деректерді жібермей-ақ жергілікті ақпаратты өңдеу арқылы таратылған құпия деректерді талдауға арналған федерацияланған машинамен оқыту архитектурасын әзірлеу.

4. Әзірленген модельдердің әртүрлі IID емес деректер жағдайындағы тиімділігін, тұрақтылығын және конвергенциясын эксперименттік бағалау жүргізу.

Зерттеу объектісі – таратылған құпиялы студенттік деректер жасалып, федерацияланған машинамен оқыту әдістері арқылы олардың психо-эмоционалдық күйін талдау және болжау үшін қолданылатын білім беру ортасы.

Зерттеу тақырыбы – ақпараттың құпиялылығын қамтамасыз ете отырып, таратылған және әртүрлі деректер негізінде студенттердің психо-эмоционалдық күйін талдау және болжауға арналған федерацияланған машиналық оқыту әдістері мен алгоритмдері.

Зерттеу әдістері:

1. Федеративті оқыту жүйесінің және веб-платформаның архитектурасын әзірлеудегі жүйелік талдау және жобалау әдістері.

2. Алдын ала деректерді өңдеу және түрлендіру әдістері: тазарту, валидация, аномалияларды өңдеу, сипатты кодтау және уақыттық сипаттамаларды түрлендіру.

3. Жергілікті модельдердің статистикалық өкілдіктерін агрегациялауға негізделген ансамбльдік және федерацияланған машинамен оқыту әдістері.

4. Жаһандық модельдің сапасын, тұрақтылығын және конвергенциясын бағалауға арналған математикалық статистика және есептеу эксперименттері әдістері.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы мынада:

1. Дифференциалданбайтын Random Forest Regression ансамбльдік модельін модификациялау және кеңейту тәсілі әзірленіп, іске асырылды; ол модель параметрлерінің классикалық агрегациясын жергілікті модельдердің статистикалық өкілдіктерінің агрегациясымен алмастыруға негізделген, яғни ерекшелік маңыздылығы векторлары, бұл гетерогенді IID емес деректер таралымдары жағдайында оқыту процесінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

2. Шынайы әлемдегі таратылған білім беру орталарында жұмыс істегенде жергілікті ақпаратты өңдеуді, жаһандық модельдің тұрақтылығын және деректердің құпиялылығын қамтамасыз ететін таратылған құпия деректерді талдауға арналған федеративті машинамен оқыту модельдері мен әдістері әзірленді.

3. Клиенттердің бастапқы деректерін серверге жібермей-ақ жергілікті жаңартуларға негізделген жаһандық модель құруды қамтамасыз ететін федерацияланған оқыту архитектурасы ұсынылды, бұл құпиялылық пен жеке деректерді қорғау талаптарына сәйкестікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің теориялық маңызы: машинамен оқыту теориясына негізделген таратылған деректерді талдау мәселелерін зерттеу. Зерттеу барысында біз орталықтандырылмаған деректер жиынтығында федерациялық оқыту алгоритмдері ретінде FedAvg, FedOpt және FedProx-ты, ал болжаулар үшін ансамбльдік машинамен оқыту моделі ретінде Random Forest Regression-ды қолдандық, сондай-ақ классикалық статистикалық талдау әдістері мен деректерді алдын ала өңдеуді негізгі әдістер ретінде пайдаландық. Жұмыс деректерді дайындаудан нәтижелерді бағалауға дейінгі машинамен оқытудың стандартты кезеңдерін ұстанды. Ол Python тілінде scikit-learn, pandas, NumPy және matplotlib кітапханаларын пайдалана отырып жүзеге асырылды, бұл эксперименттерді жеңілдетіп, визуализацияны айқын етті.

Зерттеудің практикалық маңызы: зерттеу дифференциалданбайтын ансамбльдік Random Forest Regression моделін қолдануға бейімделген тәсілді әзірлеу және енгізу арқылы федерацияланған машинамен оқыту әдістерін дамыту мен кеңейтуді мақсат етеді. Жұмыс модель параметрлерінің классикалық агрегациясын жергілікті модельдердің статистикалық бейнелеулерінің, яғни сипатты маңыздылық векторларының агрегациясымен алмастыруды ұсынады, бұл гетерогенді (бөлек біркелкі таратылмаған) таратылған деректер жағдайында оқыту процесінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Клиенттердің бастапқы деректерін серверге жібермей-ақ жергілікті жаңартуларға негізделген жаһандық модель құруға мүмкіндік беретін федерацияланған оқыту архитектурасы әзірленді, бұл құпиялылық пен жеке деректерді қорғау талаптарына сәйкестікті қамтамасыз етеді.

Қорғаныс үшін ұсынылған негізгі нормалар:

• Таратылған және құпия студент деректерін талдауға арналған федерацияланған машинамен оқыту архитектурасы әзірленіп, енгізілді, ол бастапқы ақпаратты серверге жібермей-ақ жергілікті модельдерді оқытуға және жеке деректерді қорғау талаптарына сәйкес келуге мүмкіндік береді.

• FedAvg, FedOpt және FedProx федеративті оқыту алгоритмдері салмақтарды статистикалық көрсеткіштер — сипаттама маңыздылық векторлары агрегациялауға ауыстыру арқылы дифференциалданбайтын Random Forest регрессия моделіне бейімделді, бұл гетерогенді (IID емес) деректермен оқытудың тұрақтылығын қамтамасыз етті.

• Студенттердің психо-эмоционалдық күйін көрсететін нақты таратылған деректерде федерацияланған агрегация алгоритмдерінің тиімділігін салыстырмалы талдау жүргізілді, оның нәтижесінде FedProx IID емес таралымдар үшін ең жоғары тұрақтылықты қамтамасыз ететіні, ал FedOpt жаһандық модельдің конвергенциясын жеделдететіні анықталды.

Диссертациялық зерттеу барысында алынған келесі ғылыми нәтижелер оның ғылыми жаңалығын анықтайды:

• Таратылған студент деректерінің сипаттама кеңістігін жинау, алдын ала өңдеу және үйлестіру жүйесі іске асырылды.

• Жергілікті модельдердің статистикалық бейнелеулеріне негізделген дифференциалданбайтын ансамбль модельдері үшін федерацияланған агрегация әдістері әзірленді.

• Серверге бастапқы деректерді жібермей-ақ жергілікті ақпаратты өңдеу арқылы таратылған құпия деректерді талдауға арналған федерацияланған машинамен оқыту архитектурасы әзірленді.

• Әзірленген модельдердің әртүрлі (IID емес) деректер жағдайындағы тиімділігі, тұрақтылығы және конвергенттілігі бойынша эксперименттік бағалау жүргізілді.

Жұмыстың негізгі нәтижелері келесі жұмыстарда ұсынылды: Осы зерттеудің негізгі нәтижелері мен ғылыми жетістіктері Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Компьютерлік инженерия кафедрасы ұйымдастырған семинарларда таныстырылып, талқыланды. (2022–2026 жж.), Tenaga Nasional Малайзия (2024–2026 жж.). Диссертация тақырыбы бойынша 8 мақалалар жарияланды, оның ішінде PhD дәрежесіне диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелерін жариялау үшін: 1 мақала Web of Science мен Scopus халықаралық дерекқорларына енгізілген басылымдарда жарияланды; Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда 4 мақала жарияланды. 2 мақала Ақпараттық және Коммуникациялық Технологиялар Халықаралық журналы, Арнайы шығарылым, 1 мақала KazNTU Bulletin, Computing & Engineering журналында жарияланды.

1. Бакирова Г. С., Бектемысова Г. У., Ноп'ашикин Бинти Али. Federated Machine Learning for Monitoring Student Mental Health in Kazakhstan. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. E-ISSN:

2156-5570 P-ISSN: 2158-107X. Volume 16 Issue 10. 2025. стр. 212–220.
CiteScore - 2. Наивысший процентиль—47%. Квартиль - Q3.
[https://thesai.org/Downloads/Volume16
No10/Paper_22-
Federated_Machine_Learning_for_Monitoring_Student_Mental_Health.pdf](https://thesai.org/Downloads/Volume16_No10/Paper_22-Federated_Machine_Learning_for_Monitoring_Student_Mental_Health.pdf)

2. Бакирова Г. С., Бектемысова Г. У. Анализ алгоритмов федеративного обучения. Вестник КазАТК, Вестник Казахской Академии Транспорта и Коммуникации им. М.Тынышпаева, ISSN 2790-5802, - Том 131 №2, -2024г. С.: 297-304 DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-131-2-297-304>.

3. Бакирова Г. С., Бектемысова Г. У. Сравнительный анализ алгоритмов объединенного машинного обучения. Scientific Journal of Astana IT University. ISSN (P): 2707-9031 ISSN (E): 2707-904X, Volume 17, March 2024, P.:57-67. DOI: 10.37943/17BVCN7579.

4. Бакирова Г. С., Бектемысова Г. У., Ермуханбетова Ш., Шынторе Г. А., Умуткулов Д. Б., Мангышева Ж. С. Анализ актуальности и перспективы применения федеративного обучения. Вестник НИА РК, №2(92), 2024, С.: 56–65 DOI: 10.47533/2024.1606-146X.262_2024-w.pdf

5. Бектемысова Г. У., Ахмер Е. Ж., Сабденов А., Бакирова Г. С., Разработка модели для классификации документа (на примере паспортов). Вестник КазАТК, Вестник Казахской Академии Транспорта и Коммуникации им. М.Тынышпаева, ISSN 2790–5802, - Том 136 №1, -2025г. -С. 393–401 DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-136-1-393-401>

6. Бакирова Г. С., Бектемысова Г. У. Обзор о распределенном и федеративном машинном обучении для моделей больших данных. Международный Журнал Информационных и Коммуникационных технологий, Спецвыпуск 2023. ISSN 2708–2032 (print) ISSN 2708–2040 (online), Спецвыпуск 2023. стр. 89-96. <https://ydf.iitu.edu.kz/files/26-37-PB.pdf>

7. Бакирова Г.С., Бектемысова Г.У. Analysis of probable threats in the use of federated learning and their protection methods . Международный Журнал Информационных и Коммуникационных технологий, Спецвыпуск 2024. ISSN 2708–2032 (print) ISSN 2708–2040 (online), стр. 64-69. <https://ydf.iitu.edu.kz/files/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%YDF2024.pdf>

8. Бакирова Г.С., Бектемысова Г.У, Шайкемелов Г. Applications in federated machine learning. Вестник КазНТУ, Computing & Engineering, Том 1 №3, - 30.09. 2023г. С.: 25-28, DOI: <https://doi.org/10.51301/ce.2023.i3.05>

9. Бакирова Г. С., Бектемысова Г. У. Свидетельство на право охраны программы для ЭВМ № 62530 Республики Казахстан. Система анализа для выявления признаков психоэмоционального выгорания студентов с использованием методов федеративного обучения. заявка 26.09.2025; публикация 30.09.2025.

Нәтижелер. Зерттеу барысында федерацияланған машинамен оқытудың қазіргі тәсілдері зерттеліп, әртүрлі IID емес таратылған деректері бар модельдердің тұрақтылығы мен конвергенциясы мәселелерін ескере отырып, FedAvg, FedOpt және FedProx алгоритмдеріне ерекше назар аударылды. Ғылыми басылымдарды талдау федерацияланған оқыту құпия ақпаратты

өңдеу үшін перспективалы құрал екенін көрсетті, бірақ оны дифференциалданбайтын модельдерге қолдану жеткіліксіз зерттелген.

Зерттеу аясында студенттердің психо-эмоционалдық күйін көрсететін таратылған деректерді талдауға арналған федерацияланған оқыту архитектурасы әзірленіп, енгізілді. Қарастырайық архитектураны егжей-тегжейлі: ол клиент жағында Random Forest Regression әдісімен оқытылатын жергілікті модельдерден тұрады, бұл жоғары болжау дәлдігін және деректер шуылына төзімділікті қамтамасыз етеді, ал сервер жағында оқытылатын жаһандық модельдер сервер бөлігі бастапқы деректерге қол жеткізбей-ақ агрегацияны орындайды.

Деректерді жинау 1 қыркүйектен 30 қазанға дейінгі екі айлық кезеңде барлық клиенттерге жіберілген веб-платформа арқылы жүргізілді. Ақпараттық базаға тамақтану, физикалық белсенділік, ұйқы мен демалыс, психо-эмоционалдық күй, сондай-ақ уақыттық және сәйкестендіру сипаттамалары бойынша мәліметтер кірді. Мәліметтер бірнеше білім беру мекемелерінен жиналды, бұл нақты гетерогенділік жағдайларын модельдеуге мүмкіндік берді. Алдын ала деректерді дайындау қате жазбаларды тазалауды, ауытқуларды сүзгіден өткізуді, уақыттық атрибуттарды сандық форматқа түрлендіруді және `student_id` категориялық идентификаторын One-Hot Encoding әдісімен кодтауды қамтыды. Біз дұрыс федерацияланған агрегация үшін қажет жергілікті деректер жиынтықтары арасындағы ерекшелік кеңістігінің үйлесімділігін тексердік.

FedAvg, FedOpt және FedProx федеративті оқыту алгоритмдері дифференциалданбайтын Random Forest регрессиялық моделіне бейімделді: модель салмақтарын агрегациялау орнына статистикалық өкілдіктерді, яғни сипатты маңыздылық векторларын агрегациялау қолданылды, бұл федеративті оқытудың математикалық логикасын сақтап, жаһандық модельдің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Федерацияланған агрегация алгоритмдерінің салыстырмалы талдауы регрессия және классификация метрикалары арқылы жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, ол негізгі сапа деңгейін қамтамасыз етеді және эталон ретінде қолданылады, алайда деректердің айқын гетерогенділігінде оның конвергенциясы нашарлайды. Өз кезегінде, серверді оңтайландыруды қолдану арқылы ол жедел конвергенцияны көрсетеді, бірақ ең тұрақты оқытуды және сапаның ең аз ауытқуларын ұсынады. Глобалды модельдердің дәлдік пен шығын функцияларының динамикасы федеративті оқыту раундтары бойынша талданды. Барлық алгоритмдер дәлдіктің тұрақты өсуін және орталықтандырылған шығынның монотонды төмендеуін көрсетеді, бұл дұрыс конвергенцияның жүзеге асуын және артық үйретудің болмауын дәлелдейді. Нәтижесінде диссертациялық зерттеудің мақсаттары мен міндеттері орындалып, алынған нәтижелер студенттердің психо-эмоционалдық күйін талдауда таратылған құпия деректерге бейімделген федерацияланған оқыту әдістерін қолданудың тиімділігін растап, ғылыми да, практикалық та маңызы бар.

Бірінші тарауда федерацияланған оқытудың негізгі тәсілдері қарастырылып, синхронды көлденең Cross-Silo федерацияланған оқытуды таңдау негізделеді. Бірыңғай ерекшелік кеңістігін пайдалану бастапқы деректерді тасымалдамай-ақ жергілікті нәтижелерді дұрыс агрегациялауға мүмкіндік берді. Архитектура әлемдік модельдің тұрақты конвергенциясын, құпиялылықты сақтауды және әртүрлі деректер жағдайында оқыту тиімділігін қамтамасыз етіп, ұсынылған шешімнің білім беру ортасында қолданылу мүмкіндігін растады.

Екінші тарау федеративті оқыту алгоритмдері мен архитектураларын қарастырады және негізгі FedAvg пен FedSGD әдістері деректердің құпиялылығын қамтамасыз етеді, бірақ біркелкі емес (non-IID) таралымдар кезінде тұрақтылықты жоғалтатынын көрсетеді. Ал FedOpt пен FedProx проксимальды реттеу және серверді оңтайландыру арқылы тұрақтылықты арттырып, конвергенцияны жеделдетеді. Нәтижесінде FedAvg, FedOpt және FedProx әдістерін таңдау таратылған құпия деректерді талдауда ең теңдестірілген шешім болып табылады.

Үшінші тарауда студенттердің тамақтануы, физикалық белсенділігі, ұйқысы және психо-эмоционалдық күйі туралы мәліметтерді жинауға арналған веб-платформа, сондай-ақ Маслачтың күйзеліс деңгейін анықтау тесті (МВІ) анкетасы және оны зерттеуге бейімдеу қарастырылған. IID-ке жатпайтын деректерді өңдеу әдістері, құпиялылықты қамтамасыз ету және психо-эмоционалдық күйді талдауға арналған математикалық модельдер қарастырылған. Эмоционалдық сарқылуды болжау алгоритмдері, деректерді кодтау қағидалары және эмоционалдық сарқылу деңгейіне әсер ететін факторларды автоматтандырылған талдау сипатталған. Зерттеудің шектеулері мен ұсынылған тәсілді әрі қарай дамыту перспективалары да көрсетілген.

Төртінші тарауда студенттердің психо-эмоционалдық күйзелісін болжауға арналған FedAvg, FedOpt және FedProx федерацияланған оқыту алгоритмдерінің салыстырмалы талдауы ұсынылған. FedAvg тәуелсіз біркелкі емес (non-IID) деректермен шектеулі тиімділік көрсетеді, ал FedOpt серверді оңтайландыру арқылы жылдамырақ және тұрақты конвергенцияны қамтамасыз етеді, FedProx проксимальды реттеу арқылы оқытудың тұрақтылығын арттырады, бірақ конвергенциясы баяу. Нәтижесінде FedOpt негізгі алгоритм ретінде, FedProx жоғары гетерогенді деректер үшін тұрақты шешім ретінде, ал FedAvg бастапқы нүкте ретінде таңдалды.

Бесінші тарауда студенттердің тамақтануы, физикалық белсенділігі, ұйқысы және психоэмоционалдық күйзелісі туралы мәліметтерді жинауға арналған веб-платформа, сондай-ақ Маслач күйзеліс инвентаризациясы (МВІ) сауалнамасының құрылымы мен бейімделуіне талдау жасалады. IID-ке жатпайтын деректерді өңдеу әдістері, құпиялылықты қамтамасыз ету және күйзеліс деңгейін болжау алгоритмдері талқыланады. Деректерді кодтау, автоматтандырылған талдау және психо-эмоционалдық күйге әсер ететін факторларды анықтау тәсілдері сипатталып, зерттеудің шектеулері мен әрі қарай даму бағыттары көрсетілген.

«Қорытынды» бөлімінде таратылған құпия деректерде студенттердің психо-эмоционалдық күйін талдауға арналған федерацияланған оқыту архитектурасының қалай іске асырылып, зерттелгені көрсетілген. FedAvg, FedOpt және FedProx алгоритмдерін дифференциалданбайтын Random Forest регрессиялық моделіне бейімдеу IID емес деректер жағдайында жаһандық модельдің тұрақты конвергенциясын қамтамасыз етеді деп есептеледі. Нәтижелер ақпараттың құпиялылығын сақтай отырып, білім беру ортасында федерацияланған оқытудың практикалық қолданылуын растайды.

Автордың жеке үлесі. Диссертацияда сипатталған барлық негізгі нәтижелерді автор толтырып, құрастырған. Сонымен қатар, автор негізгі зерттеу қорытындыларын, талдауларды, модельдер мен бағдарламаларды жасады және PhD докторантының жұмысы мен зерттеулерінен алынған нәтижелер негізінде қорытынды жасалды.

Құрылымы мен жұмыстың көлемі. Диссертация кіріспеден, бес негізгі тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертацияның толық көлемі 144 беттен тұрады, оның ішінде 46 сурет пен 14 кесте бар. Библиография 105 атаудан тұрады.