

ӘБЕН АРДАНА СЕРЖАНҚЫЗЫ

**«Геокеңістіктік деректер негізінде әуе электр желі тіректерін 3D
қалпына келтіру әдістемесін жетілдіру»**

6D071100 – «Геодезия»
Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертацияға
АҢДАТПА

Ғылыми кеңесшілер:
PhD доктор, профессор
Ы.Жакыпбек
техника ғылымдарының докторы,
профессор Дай Хуаян

КІРІСПЕ

Диссертациялық жұмыс тақырыбының өзектілігі. Энергетикалық инфрақұрылымның үздіксіз және сенімді жұмысын қамтамасыз ету – кез келген елдің ұлттық қауіпсіздігі мен әлеуметтік-экономикалық дамуының негізі. Осы тұрғыдан алғанда, әуе электр беру желілерінің (ӘЭЖ) техникалық жағдайын уақтылы бақылау және ақаулардың алдын алу — аса маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Қазіргі таңда Қазақстанның көптеген өңірлеріндегі ӘЭЖ тіректері кең географиялық ауқымды қамтып, қолмен тексеру мен қызмет көрсетуге айтарлықтай ресурстық және уақыттық шығындарды талап етеді. Сонымен қатар, күрделі жер бедері, табиғи кедергілер және климаттық жағдайлар дәстүрлі бақылау әдістерінің тиімділігін төмендетеді.

Цифрлық геоақпараттық технологиялардың (LiDAR, фотограмметрия, дрон түсірілімдері, спутниктік бақылау және т.б.) дамуы — осы мәселелерді шешудің жаңа деңгейін ұсынады. Әсіресе, нүктелер бұлты негізінде тіректерді 3D модельдеу, олардың құрылымдық элементтерін автоматты түрде тану және мониторинг жүргізу мүмкіндігі заманауи техникалық қызмет көрсету мен жөндеу үрдістерін оңтайландыруға жол ашады.

Бүгінгі таңда бұл бағыттың өзектілігі келесі факторлармен артады:

- Қазақстан аумағының кеңдігіне байланысты ӘЭЖ жүйесінің таралуы мен құрылымдық әртүрлілігі;
- қолмен бақылаудың шектеулігі және кадр ресурстарының жетіспеушілігі;
- ӘЭЖ элементтерінің физикалық тозуы мен климаттық әсерге жиі ұшырауы;
- тіректердің күрделі геометриялық пішіндерін автоматты өңдеу қажеттілігі;
- цифрландыру мен «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасы шеңберінде энергетикалық нысандарды қашықтықтан басқару талаптарының артуы.

Осыған орай, тірек құрылымдарын дәл және сенімді қалпына келтіруді қамтамасыз ететін автоматтандырылған 3D модельдеу әдістерін әзірлеу мен енгізу – тек ғылыми тұрғыдан емес, сонымен қатар өндірістік-практикалық маңызы зор зерттеу бағыты болып табылады.

Жұмыстың мақсаты геокеңістіктік деректер негізінде әуе электр желі тіректерін 3D қалпына келтіру әдістемесін жетілдіру болып саналады.

Диссертациядағы шешілетін негізгі мәселелер:

- әуе электр желі мен тіректерінің жағдайын бақылау жұмыстарының дамуы мен қалпына келтіру әдістерін жан – жақты зерделеу;
- электр желілерін қалпына келтірудегі сызықтық сәйкестендірудің дәлдігін бағалау;
- электр желі тіректерін қайта бағыттау және сегменттеу әдістерін қолдануды ұсыну;

- бұрыштық нүктелер арасында топологиялық байланысты анықтау мен есептеу арқылы электр желі құрылымдарын қалпына келтіруді негіздеу.

Зерттеу әдісі. Алға қойылған міндеттерді шешуде жүйелі талдаулар мен жобалау әдістері, бағдарламаларды қолданудың стандартты әдісін енгізетін кешенді зерттеу әдістері қолданылды.

Диссертациядағы қорғалатын ғылыми қағидалар:

Электр желі тіректерін төменгі (төңкерілген үшбұрышты), ортаңғы (төртбұрышты) және жоғарғы немесе бүйірлік (күрделі) құрылымдарға бөлуге негізделген компоненттік алгоритм тірек құрылымдарын бөліп талдауға және олардың сегменттеу позицияларын дәл анықтауға мүмкіндік береді.

2D альфа-пішіндік және кездейсоқ іріктеу консенсусы (RANSAC) алгоритмдерін біріктіріп, тіректердің ішкі, сыртқы құрылымдарын, бұрыштық нүктелер арасындағы топологиялық байланыстарын анықтау арқылы олардың 3D координаттарын есептеуде тіректерді жоғары дәлдікпен және тиімділікпен қалпына келтіруге мүмкіндік береді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы.

Электр желі тіректерінің геометриялық ерекшеліктеріне сәйкес (төменгі, ортаңғы және жоғарғы бөліктер) компоненттік алгоритм тірек құрылымға негізделген сегменттеу тәсілі ұсынылды.

Электр тіректерін қалпына келтіруде ішкі және сыртқы бөліктерін модельдеу үшін 2D альфа-пішіндік және RANSAC алгоритмдерін үйлестіріп, 3D координаттарды есептеу негізінде бұрыштық нүктелер арасындағы топологиялық байланыстарды анықтау тәсілі тиімді қолданылды.

Ғылыми нәтижелер мен қорытындылардың негізделгендігі және сенімділігі мыналармен дәлелденеді:

- Электр желі тіректерінің құрылымдық ерекшеліктеріне және геометриялық сипаттамаларына байланысты ғылыми әдебиеттерге, алдыңғы зерттеулерге, сондай-ақ халықаралық тәжірибелерге сүйене отырып, әдістер мен модельдер таңдалды;

- Диссертацияда ұсынылған компоненттік құрылымға негізделген сегменттеу, 2D альфа-пішіндік, RANSAC алгоритмдері және топологиялық талдау тәсілдері өзара байланысты және кешенді түрде қолданылды;

- Ұсынылған алгоритмдер нақты әуе электр желілерінің лидар нүктелер бұлты мен бейнелік деректері негізінде сынақтан өткізіліп, олардың қолданбалы маңыздылығы және тиімділігі дәлелденді;

- Алынған нәтижелер дәстүрлі және балама әдістермен салыстырылып, модельдеу дәлдігі, қалпына келтіру уақыты және автоматтандыру деңгейі тұрғысынан артықшылықтары көрсетілді.

Осылайша, диссертациялық зерттеудің қорытындылары ғылыми тұрғыда негізделген, әдістемелік тұрғыдан жан-жақты дәлелденген және тәжірибеде қолдануға жарамды деп саналады.

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің оқу үдерісінде және өндірісте жобаларды жүргізгенде пайдаланылады.

Зерттеудің негізгі нәтижелері Тау-кен металлургия институтының ТКМК инновациялық-инжинирингтік орталығы құрамындағы «Күрделі құрылымдағы блоктардан кен өндіру технологияларын цифрлық және компьютерлік модельдеу жөніндегі ғылыми-зерттеу зертханасында» BR21881939 «Тау-металлургиялық кешен үшін ресурсты үнемдейтін энергия генерациялау технологияларын әзірлеу және инновациялық инжинирингтік орталық құру» бағдарламасы аясында алынды.

Жұмыстың апробациясы.

Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен нәтижелері мынадай конференцияларда баяндалды және талқыланды: «Инновациялық технологиялар – ҚР экономикасының кен өндіру және мұнай-газ салаларындағы іргелі және қолданбалы міндеттерді табысты шешудің кілті» тақырыбында Халықаралық ғылыми-техникалық «Сәтбаев оқулары» конференциясында (Алматы қ., 2019 ж.), ҚазКСР ҒА-ның корреспондент-мүшесі А.Ж. Машановтың 115 жылдығы мен ҚазКСР ҒА академигі Ж.С. Ержановтың 100 жылдығына арналған «Геокеңістіктік цифрлық инжинирингтегі инновациялық технологиялар» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция еңбектерінде (Алматы қ., 2022 ж.), сондай-ақ Actual Questions and Innovations in Science. Proceedings халықаралық ғылыми-техникалық конференцияда (Румыния, 2019).

Ғылыми жариялымдар.

Диссертация тақырыбы бойынша 11 ғылыми еңбек жарияланды. Олардың ішінде 5 мақала Қазақстан Республикасы білім және ғылым министрлігінің білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда, 4 мақала халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция жинақтарында, 1 мақала Web of Science базасында Q1 квантиліне енетін, процентилі 91% Remote Sensing журналында және мемлекеттік тілде «Геодезия» пәнінен оқулық жарық көрді.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі.

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан және 103 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 126 беттен, 74 суреттен тұрады.

ЖҰМЫСТЫҢ НЕГІЗГІ МАЗМҰНЫ

Бірінші тарауда электр желілерінің объектілерінің құрылымдық ерекшеліктері, олардың қауіпсіздік талаптары және бақылау құралдарының дамуындағы қазіргі заманғы үрдістер қарастырылады. Атап айтқанда, тіректердің геометриялық сипаттамалары, олардың желілердің орнықтылығын қамтамасыз етудегі рөлі, сондай-ақ деформация немесе бұзылу кезінде туындайтын негізгі тәуекелдер жан-жақты талданады. Тіректерді пайдалануға қатысты нормативтік талаптарға және техникалық қадағалау әдістеріне ерекше назар аударылады.

Сонымен қатар, әуе электр жеткізу желілерінің (ӘЖЖ) конструкцияларының күйін бақылауда қолданылатын әдістердің жіктелуі мен салыстырмалы талдауы келтіріледі. Бұған дәстүрлі визуалды және аспаптық әдістер (жерден инспекция жүргізу, теодолиттер мен лазерлік қашықтық өлшеуіштерді пайдалану) сияқты тәсілдермен қатар, қазіргі заманғы цифрлық технологиялар да кіреді: аэрофототүсірілім, лазерлік сканерлеу (LiDAR), фотограмметрия, ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА), сондай-ақ машиналық оқыту мен деректерді автоматты талдау әдістері. Бұл тәсілдердің тиімділігі, дәлдігі, уақыттық шығындары және әртүрлі жағдайларда қолданылу мүмкіндігі жарияланған зерттеулер мен практикалық мысалдар негізінде салыстырмалы түрде бағаланады.

Лидарлық технологиялар электр желілерін ажыратпай-ақ жоғары дәлдіктегі қашықтықтан мониторинг жүргізуге мүмкіндік берсе, компьютерлік көру әдістері ақаулар мен зақымдануларды автоматты түрде тануға мүмкіндік береді. Ал дәстүрлі тәсілдер қарапайымдылығы мен төмен құнының арқасында әлі де сұранысқа ие. Осылайша, бірінші тарау электр жеткізу желілерінің тіректерін реконструкциялау және құрылымдарын қалпына келтіру әдістерін әрі қарай зерттеу үшін теориялық және аналитикалық негіз қалайды. Инфрақұрылымдық объектілерді бақылаудың цифрландырылуы мен автоматтандырылуына қойылатын өсіп келе жатқан талаптарды ескере отырып, қолданыстағы шешімдерді жүйелі шолу мен бағалау техникалық қызмет көрсету мен мониторингтің тиімді әрі үнемді технологияларын әзірлеу жолындағы маңызды қадам болып табылады.

Екінші тарауда кеңістіктік деректер негізінде ӘЖЖ тіректерін 3D-модельдеу және реконструкциялаудың дәстүрлі және заманауи тәсілдері қарастырылады. Алдымен қолмен және жартылай автоматтандырылған модельдеу әдістеріне назар аударылады. Қолмен модельдеу жоғары дәлдікке ие болғанымен, айтарлықтай уақыт пен адам ресурстарын қажет етеді, бұл оның ауқымды жобаларда қолданылуын шектейді. Ал жартылай автоматтандырылған тәсілдер нүктелік бұлттарды талдау және конструкциялардың алдын ала берілген үлгілерін пайдалану арқылы модельдеуді жеделдетуге мүмкіндік береді. Бұл әдістер дәлдік пен өнімділік

арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді, әсіресе типтік немесе стандартты тірек формалары болған жағдайда.

Одан әрі ықтималдық геометриясына негізделген стохастикалық әдістер қарастырылады. Бұл тәсілдер бастапқы деректердегі белгісіздік пен шуды, сондай-ақ тіректер формаларының өзгергіштігін ескеруге мүмкіндік береді. Әсіресе LiDAR деректері толық емес немесе шуылы көп жағдайда тиімді. Стохастикалық модельдерді қолдану статистикалық сипаттамалар негізінде ықтимал конфигурациялардың жиынын модельдеу арқылы реконструкцияның дәлдігі мен орнықтылығын арттырады.

Сонымен қатар, эвристикалық әдістеме ұсынылады — ол тәжірибелік білімге, логикалық ережелер мен эмпирикалық тәуелділіктерге сүйенеді. Эвристикалық алгоритмдер қайталанатын үлгілерді тану, жалған сигналдарды сүзу және реконструкция параметрлерін оңтайландыру үшін қолданылады. Бұл тәсілдер үлкен көлемдегі деректерді өңдеу кезінде шешім қабылдауды автоматтандыруға және талдау процестерін жеделдетуге мүмкіндік береді.

Жалпы, қарастырылған әдістер нақты жағдайларда ӘЖЖ тіректерін реконструкциялауға арналған кең ауқымды құралдар жиынтығын көрсетеді. Олардың интеграциясы жергілікті зерттеулерден бастап ұлттық деңгейдегі жобаларға дейін икемді әрі масштабталатын шешімдер әзірлеуге жол ашады.

Үшінші тарауда сызықтық сәйкестендірудің дәлдігін бағалау әдістері мен критерийлері және проекцияларды талдау мен нүктелік бұлттарды өңдеу негізінде реконструкция сапасын арттыру тәсілдері қарастырылады. Сәйкестендіру сапасының негізгі көрсеткіші ретінде реконструкцияланған сызық сегменттерінің нақты геометриялық пішіндерге сәйкестік дәрежесі алынады (түзу және иілген өткізгіш учаскелері үшін).

Сандық бағалау үшін орташа квадраттық қате (RMSE), ішкі және сыртқы нүктелердің қатынасы, сондай-ақ 2D-проекциялардағы қателіктер қолданылады. Алдын ала деректерді сүзу дәлдікті арттырудың шешуші факторы болып табылады, себебі ол шудың және шектен тыс мәндердің әсерін азайтады. Торлы құрылымдар негізіндегі кластеризация әдістері маңызды сызықтық сегменттерді нүктелер массивінен бөліп алуға көмектеседі.

Хафф түрлендіруі нүктелік деректердің проекцияларында сызықтық құрылымдарды сенімді анықтауға мүмкіндік береді, ал оның ықтималдық нұсқалары үзілген немесе қысқа сызықтармен жұмыс істегенде нәтижені жақсартады. Сондай-ақ, RANSAC алгоритмі шығарындыларға төзімділігімен және деректердің кездейсоқ ішкі жиындары негізінде модельдерді сенімді түрде бөле алуымен ерекшеленеді. Бұл әдіс өткізгіштердің күрделі конфигурацияларын дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, классикалық және заманауи алгоритмдерді біріктіру LiDAR және аэрофототүсірілім арқылы алынған геокеңістіктік деректер негізінде электр желілерін реконструкциялауда жоғары дәлдік пен сенімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

4 тарау бойынша абстрактілі шаблон құрылымдарын қолдана отырып, электр тіректерін әуе лидарын (ALS) негізінде қайта құрастыру әдісі жан-жақты талданды. RIEGL VUX-1 құрылғысы арқылы жиналған жоғары тығыздықтағы нүктелік бұлт деректеріне сүйене отырып, тіректердің геометриялық пішіндерін дәл сипаттау және олардың 3D модельдерін автоматтандырылған түрде құру жолдары қарастырылды.

Жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде:

- тіректердің декомпозициясы мен реконструкциясы кезеңдерінде қолданылатын негізгі параметрлер (биіктік шектері, ен, сенімділік коэффициенті, RANSAC шегі т.б.) нақты анықталды;
- тірек құрылымының типіне қарай модельдің тиімділігі мен сәйкестік дәлдігі бағаланды;
- үлгілеу аралығы (sampling distance) мен нүкте тығыздығы модель сапасына тікелей әсер ететіні дәлелденді;
- 3D қалпына келтіру нәтижелері тірек элементтерінің кеңістікте нақты орналасуын қамтамасыз етіп, электр желілерінің қауіпсіздігін автоматты бағалауға негіз болады.

Бұл әдістеме күрделі тірек құрылымдарын жоғары дәлдікпен, уақыт үнемдей отырып, жартылай автоматты түрде модельдеуге мүмкіндік береді. Нәтижелер алдағы уақытта тіректердің деформациясын, қауіптілік аймақтарын немесе техникалық тексеруді автоматтандыру үшін кеңінен қолдануға жарамды.

Лидарлық технологияны пайдалану электр желілерінің тіректерін модельдеу және қалпына келтіру жұмыстарында:

- Уақыттық шығындарды ондаған есеге азайтады;
- Өлшеу дәлдігін арттырады;
- Еңбек және логистикалық ресурстарды қысқартады;
- Цифрлық деректерді автоматты өңдеуге мүмкіндік береді.

Сәйкесінше, бұл әдіс дәстүрлі тәсілмен салыстырғанда жоғары экономикалық тиімділікке ие және үлкен көлемді зерттеулер үшін оңтайлы шешім болып табылады.

Жүргізілген экономикалық талдау нәтижесінде электр желілерін 3D модельдеу және техникалық зерттеу мақсатында LiDAR технологияларын қолдану барысында инвестицияның қайтарымы (ROI) 200% құрайтыны анықталды. Бұл көрсеткіш лидарлық әдістің дәстүрлі геодезиялық тәсілдермен салыстырғанда тиімділігі жоғары екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, ROI-дің жоғары болуы жобаны ауқымды аумақтарда да тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыс «Геокеңістіктік деректер негізінде әуе электр желі тіректерін 3D қалпына келтіру әдістемесін жетілдіру» тақырыбына арналған. Бұл зерттеу энергетикалық инфрақұрылымды цифрландыру, техникалық қызмет көрсету тиімділігін арттыру және қашықтықтан мониторинг жүргізу салаларында ерекше маңызға ие.

Қазақстан аумағының кеңдігі, климаттық және жер бедерінің күрделілігі, сондай-ақ кадр мен ресурстық шектеулер – әуе электр желі (ӘЭЖ) тіректерінің жағдайын қолмен бақылаудың тиімділігін төмендетеді. Осы ретте геокеңістіктік технологияларды, соның ішінде LiDAR, фотограмметрия, БПЛА (дрон) түсірілімдерін және спутниктік деректерді қолдана отырып, электр тіректерінің 3D қалпына келтіру әдістерін жетілдіру – заманауи және өзекті ғылыми міндет ретінде алға қойылды.

Жұмыстың негізгі мақсаты – геокеңістіктік деректер негізінде әуе электр желі тіректерін 3D қалпына келтіру әдістемесін жетілдіру. Бұл мақсатқа жету барысында бірнеше маңызды ғылыми және қолданбалы міндеттер шешілді:

- ӘЭЖ тіректерінің құрылымын модельдеуде қолданылатын заманауи әдістерге шолу жасалып, олардың тиімділігі мен шектеулері анықталды;
- Сызықтық сәйкестендірудің дәлдігін арттыру және тіректерді автоматты түрде қайта бағыттау алгоритмдері ұсынылды;
- Тірек құрылымдарын геометриялық сипаттамаларына сәйкес үш негізгі компонентке (төменгі, ортаңғы, жоғарғы) бөлуге негізделген компоненттік алгоритм әзірленді;
- 2D альфа-пішіндік және RANSAC алгоритмдерін үйлестіріп қолдану арқылы тіректердің ішкі және сыртқы бөліктері, сонымен қатар бұрыштық нүктелер арасындағы топологиялық байланыстар анықталып, олардың 3D координаттары жоғары дәлдікпен есептелді.

Зерттеу нәтижелері нақты нүктелер бұлтты (point cloud) деректерінде сынақтан өткізіліп, дәстүрлі әдістермен салыстырғанда модельдеу дәлдігі мен автоматтандыру деңгейі едәуір жоғары екендігі дәлелденді. Жаңа ұсынылған әдістемелер тіректердің күрделі құрылымын тиімді ажыратып, олардың кеңістіктегі орналасуын қалпына келтіруде уақытты үнемдеуге және адами фактор тәуекелін азайтуға мүмкіндік береді.

Ғылыми жаңалық ретінде тірек құрылымдарының үш деңгейлі геометриялық құрылымына негізделген компоненттік сегменттеу тәсілі және 2D альфа-пішін мен RANSAC алгоритмдерін үйлестіру арқылы 3D модельдеу әдісі ұсынылды. Бұл тәсілдер тірек құрылымының әртүрлі типтері мен пішіндеріне бейімделіп, автоматты түрде жоғары дәлдікпен қалпына келтіруге қол жеткізеді.

Зерттеу нәтижелерінің дәлелділігі мен сенімділігі мына көрсеткіштермен негізделеді:

- Ғылыми әдебиеттер мен халықаралық тәжірибе ескеріліп, алгоритмдер мен модельдер заманауи талаптарға сай таңдалды;
- Ұсынылған әдістемелер кешенді түрде біріктіріліп, тәжірибелік деректер негізінде тексерілді;
- Әдістердің қолдану тиімділігі нақты ӘЭЖ объектілерінде тестіленіп, олардың өндірістік маңыздылығы көрсетілді;
- Алынған нәтижелер дәстүрлі әдістермен салыстырылып, олардың артықшылықтары – уақытты үнемдеу, модельдеу дәлдігі мен автоматтандыру деңгейі тұрғысынан нақтыланды.

Жұмыстың практикалық құндылығы – зерттеу нәтижелерін нақты өндірістік процестерге енгізу мүмкіндігінде. Атап айтқанда, әуе электр желілері тіректерінің техникалық жағдайын автоматтандырылған режимде бақылау, ақауларды алдын ала анықтау, техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстарын оңтайландыру, цифрландыру аясында инфрақұрылымды тиімді басқаруға жол ашады.

Диссертация нәтижелері Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың оқу процесінде және өндірістік жобаларда қолданылып, олардың тәжірибелік тиімділігі дәлелденді. Сонымен қатар, ғылыми нәтижелер халықаралық және республикалық конференцияларда баяндалып, сыннан өтті. Тақырып бойынша 11 ғылыми еңбек жарияланып, олардың ішінде беделді халықаралық ғылыми басылымдарда жарық көрген мақалалар мен оқулықтар бар.

Жалпы алғанда, диссертациялық жұмыс энергетика, геоақпараттық жүйелер, қашықтықтан зондау және цифрлық модельдеу салаларында жүргізілетін ғылыми-зерттеу және қолданбалы жобалар үшін маңызды негіз болып табылады. Зерттеу нәтижелері осы бағыттағы болашақ зерттеулерге серпін беріп, өндірістік тәжірибеде жаңа технологияларды енгізуге мүмкіндік ашады.

Алға қойылған мәселелердің шешілу толықтығын бағалау

Зерттеу барысында алға қойылған мақсат пен міндеттер толық көлемде орындалды. Әуе электр желі (ӘЭЖ) тіректерін геокеңістіктік деректер негізінде 3D қалпына келтіру әдістемесін жетілдіруге бағытталған ғылыми және қолданбалы мәселелер жан-жақты қарастырылып, кешенді түрде шешімін тапты. Тірек құрылымдарының күрделі геометриялық ерекшеліктерін ескере отырып, оларды компоненттік түрде модельдеу, 2D альфа-пішіндік және RANSAC алгоритмдерін біріктіру арқылы құрылымдық және топологиялық байланыстарды анықтау міндеттері толық орындалды. Зерттеу нәтижелері тәжірибелік деректермен дәлелденіп, ұсынылған әдістемелер нақты мысалдарда сынақтан өтті. Сонымен қатар, дәстүрлі әдістермен салыстыру арқылы модельдеу дәлдігі мен тиімділігі анықталып, алынған шешімдердің практикалық тұрғыдан да өзектілігі көрсетілді.

Ғылыми нәтижелерді нақтылы пайдалану туралы ұсыныстар мен бастапқы мәліметтер

Диссертациялық жұмыста алынған ғылыми нәтижелерді келесі салаларда тиімді қолдануға болады:

- Энергетикалық инфрақұрылымды басқару жүйелері – ӘЭЖ тіректерінің 3D моделін автоматтандырылған түрде алу арқылы техникалық қызмет көрсету және ақауларды болжау жұмыстарын оңтайландыруға болады.

- Геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) – тіректердің геометриялық және кеңістіктік деректерін нақты есептеп, цифрлық картаға енгізу арқылы инфрақұрылымды толықтай визуализациялауға және талдауға мүмкіндік туады.

- Қашықтықтан зондтау және мониторинг – спутниктік және дрон түсірілімдерін қолдану арқылы тіректерді үнемі бақылап отыру және өзгерістерді жедел анықтау жүзеге асады.

- Білім беру және ғылыми зерттеу – Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың оқу бағдарламасына енгізіліп, «Геодезия», «Цифрлық инжиниринг», «ГАЗ технологиялары» пәндерінде қолдануға болады.

Енгізудің техникалық-экономикалық нәтижелілігін бағалау

Ұсынылған 3D қалпына келтіру әдістемесінің техникалық-экономикалық тиімділігі келесі артықшылықтар арқылы көрінеді:

- Қызмет көрсетуге кететін уақытты қысқарту – автоматтандырылған модельдеу арқылы тіректерді өңдеу уақыты дәстүрлі әдістермен салыстырғанда 30–40% қысқарады;

- Адами фактор әсерін азайту – тіректерді цифрлық түрде тану мен бағалау арқылы қауіпті немесе қол жетімсіз аймақтарда жұмыс істеу қажеттілігі азаяды;

- Қателерді азайту және деректердің дәлдігін арттыру – ұсынылған алгоритмдер 3D модельдеудің дәлдігін 95%-ға дейін жеткізуге мүмкіндік береді;

- Техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту – нақты құрылымдық деректер негізінде жоспарланған жөндеу жұмыстары арқылы артық шығындардың алдын алуға болады;

- Ұзақмерзімді перспективада жүйенің тұрақтылығын арттыру – үнемі қадағаланатын және жаңартылып отыратын цифрлық модельдер арқылы желі жұмысының сенімділігі қамтамасыз етіледі.

Осылайша, әдістеменің енгізілуі техникалық қызмет көрсету мен жөндеу процестерін оңтайландырып, өндірістік шығындарды едәуір қысқартады.

Осы саладағы таңдаулы жетістіктермен салыстырғандағы орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау

Зерттеу нәтижелері халықаралық деңгейдегі алдыңғы қатарлы жұмыстармен салыстырғанда ғылыми жаңалығы мен қолданбалы құндылығы бойынша бәсекеге қабілетті болып табылады. Нақты айтқанда:

- Remote Sensing секілді беделді журналдарда жарияланған жұмыстарда тіректерді қалпына келтіру үшін көбіне классикалық RANSAC әдісі немесе

машиналық оқыту тәсілдері қолданылады. Алайда бұл әдістер тіректердің күрделі геометриясы мен құрылымдық элементтерін дәл айыруда шектеулі.

- Осы диссертацияда компоненттік құрылымға негізделген үш деңгейлі модель (төменгі, ортаңғы, жоғарғы бөліктер) және 2D альфа-пішіндік + RANSAC алгоритмдерін біріктіре қолдану арқылы модельдеу дәлдігі мен тиімділігі арттырылды.

- Бұған қоса, тірек нүктелері арасындағы топологиялық байланысты автоматты анықтау арқылы олардың кеңістіктегі құрылымын нақты бейнелеу қамтамасыз етілді – бұл халықаралық деңгейде сирек қолданылатын, бірақ аса маңызды тәсілдердің бірі.

Жалпы, диссертациялық жұмыстың ғылыми деңгейі қазіргі заманғы геоақпараттық және қашықтықтан зондтау технологиялары саласында жүргізіліп жатқан халықаралық зерттеулермен үйлесімді, әрі олардың негізін жаңаша әдістермен толықтырады.

Диссертацияның негізгі мазмұны келесі ғылыми еңбектерде жарияланған:

1. Shichao Chen, Cheng Wang, Huayang Dai, Hebing Zhang, Feifei Pan, Xiaohuan Xi, Yueguan Yan, Pu Wang, Xuebo Yang, Xiaoxiao Zhu, Ardana Aben. Power Pylon Reconstruction Based on Abstract Template Structures Using Airborne LiDAR Data // Remote Sens. 2019, 11, 1579 Процентиль 92,809 ISSN: 20724292.

2. Әбен А.С., Жакыпбек Ы. Алматы метрополитені құрылысы кезіндегі қаланың геодезиялық торабын қайта қалпына келтірудің маңыздылығын талдау // Вестник КазНУ-Алматы, 2019, №2. С. 88-92. ISSN 1680-9211..

3. Әбен А.С., Ы. Жакыпбек, А. Әсетқызы. Изучение важности строительства метрополитена в мегаполисе для улучшения пассажиропотока и создания его геодезической опорной сети // Алматы, Горный журнал Казахстана, 2019, №4. -С.12-15. ISSN 2227-4766

4. Ы. Жакыпбек, Т.Калыбеков, С.В.Турсбеков, А.С. Әбен. Малеев кен орнының мысалында лазерлік сканерлеуді қолдану тиімділігі // Горный журнал Казахстана, 2023, №4. С. 48-52.

5. Е.Б.Кенжехан, Ы. Жакыпбек, Ж.Т.Кожаев, А.С. Әбен. Жолбарысты, Шован, Келіншектау алтын кен орындарында жоспарлы-биіктік негіздеме картасын құру // Горный журнал Казахстана, 2023, №6. С. 48-53.

6. А.С. Әбен, Х.Дай, Ы. Жакыпбек, Б.Б.Күмісханова. Электр желі тректерін қалпына келтірудегі LiDAR деректерін геодезиялық есептеу // Горный журнал Казахстана, 2025, №3. С.18-24.

7. Әбен А.С., Әсетқызы А., Жакыпбек Ы. Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйені пайдаланумен қалалық геодезиялық тораптарды құруды зерделеу // Труды Сатпаевских чтений «Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК», 2019. Т 1. С. 837-841. ISBN 978-601-323-145-7.

8. Әбен А.С., Жакыпбек Ы.. Дәстүрлі геодезиялық әдістерді метрополитен құрылысында қолдануды талдау // Actual Questions and Innovations in Science. Proceedings – Craiova: Eurasian Center of Innovative Development «DARA», 2019. P. 82-85. ISBN 978-601-341-174-3.

9. Тойшы А.Б., Жакыпбек Ы, Әбен А.С.. Бұрғылау штретін лазерлік сканерлеу арқылы кен қазбаларын модельдеу // Развитие горно-металлургического комплекса Казахстана по реализации государственного инвестиционного проекта. Труды международной научно-технической конференции, Алматы, КазНУ им.К.И.Сатпаева, 2022. С.238-241.

10. Бектас А.Д., Әбен А.С. Сызықтық объектілерді геодезиялық камтамасыз ету // Труды Международной научно-практической конференция посвященной к 115-летию член-корр. АН КазССР А.Ж.Машанова и 100-летию Академика АН КазССР Ж.С.Ержанова «Инновационные технологии в геопространственной цифровой инженерии», Алматы, 2022. С.56-61.

11. Аукажиева Ж.М., Калыбеков Т., Әбен А.С., Муратова А.М. Геодезия (оқулық). Алматы: New book, 2021