

С.Е. Тиржанова , Ж.Т. Кожаяев* , Ж.Д. Байгурын ,
М.М. Нарбаев , О.К. Абдрахманов , Ж.Ж. Жалгасбаева 

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*e-mail: kozhaev_zh@mail.ru

ЛАЗЕРЛІК СКАНЕРЛЕУ НЕГІЗІНДЕ ЖЕРАСТЫ ҚАЗБАЛАРЫНЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАРЫН ПАРАМЕТРЛІК БАҒАЛАУ

Мақала жерасты тау-кен қазбаларындағы деформациялық процестерді бақылаудың геодезиялық әдістерін, атап айтқанда лазерлік сканерлеу негізінде деформацияларды параметрлік бағалау әдістемесін жан-жақты зерттеуге арналды. Жұмыста жерасты қазбалары деформацияларының негізгі сипаттамасы ретінде лазерлік сканердің көмегімен тікелей өлшенетін қима аудандарының өзгерістері: көлденең (ΔS) және тік немесе бойлық (ΔP) аудандық параметрлері қолданылатын жаңа кешенді тәсіл әзірленді. Басты назар тау массивінің орнықтылығын бақылаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін заманауи лазерлік сканерлеу мен классикалық тахеометриялық өлшеулерді біріктіруге, сондай-ақ осы алынған параметрлер негізінде жыныстардың құрылымдық әлсіреу коэффициентін ($K_{\text{қә}}$) және материалдың Пуассон коэффициентін одан әрі есептеуге аударылды. Тәжірибелік зерттеулер оңтүстік-шығыс кенді денесінің (ОШҚД) екі терең горизонтында MINEiGeoSight сканерінің көмегімен бес айлық уақыт аралығымен жүргізіліп, үш өлшемді цифрлық модельдерді өзара салыстыру арқылы сәтті орындалды. Нақтыланған деректер тау-кен қазбалары қималарының біркелкі емес кеңею заңдылықтарын айқын түрде көрсетіп, тау жыныстары массивінің жылжу үрдістерін сипаттады. Лазерлік сканерлеуді қолдану деформацияның сыни және қауіпті аймақтарын дәл анықтауға, сонымен қатар өзгеретін учаскелердің нақты геометриялық модельдерін алуға мүмкіндік берді. Тектоникалық және гравитациялық жүктемелердің қазбалардың тұрақтылығына әсері талданып, терең горизонттардағы кернеулердің ықпалы толық дәлелденді. Тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін арттыру мақсатында осы параметрлік бағалауды ескеретін тұрақты геодезиялық мониторингті ұйымдастыру бойынша тиісті практикалық ұсынымдар әзірленді. Алынған нәтижелер маркшейдерлер, геомеханиктер, инженер-құрылысшылар және жерасты құрылысы жөніндегі мамандар үшін практикалық қызметте және өндірістік іс-тәжірибеде кеңінен қолдануға өте пайдалы болып табылады.

Түйін сөздер: геодезиялық бақылау, деформациялар, жерасты қазбалары, лазерлік сканерлеу, тау жыныстарының орнықтылығы.

S.E. Tirzhanova, Zh.T. Kozhaev*, Zh.D. Baigurin,
M.M. Narbayev, O.K. Abdrakhmanov, Zh.Zh. Zhalgasbayeva

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: kozhaev_zh@mail.ru

Parametric deformation assessment of underground workings based on laser scanning

The article is devoted to a comprehensive study of geodetic methods for monitoring deformation processes in underground mine workings, specifically focusing on the methodology of parametric deformation assessment based on laser scanning. A new integrated approach has been developed in this study, where changes in cross-sectional areas – specifically, transverse (ΔS) and longitudinal (ΔP) area parameters measured directly using a laser scanner are utilized as the primary characteristics of underground working deformations. Particular attention is paid to the integration of modern laser scanning and classical tachymetric (total station) measurements, which ensure high accuracy in monitoring rock mass stability, as well as to the subsequent calculation of the rock structural weakening coefficient (K_{sw}) and the Poisson's ratio of the material based on the obtained parameters.

Experimental studies were successfully conducted at two deep horizons of the southeastern ore body (SEOB) using a MINEiGeoSight scanner with a five-month interval and were implemented through the cross-comparison of three-dimensional digital models. The refined data clearly demonstrated the regularities of non-uniform expansion of mine working cross-sections and characterized the displace-

ment trends of the rock mass. The application of laser scanning made it possible to precisely identify critical and hazardous deformation zones, as well as to obtain accurate geometric models of the changing sections.

The influence of tectonic and gravitational loads on the stability of workings was analyzed, and the impact of stresses at deep horizons was fully substantiated. To improve mining safety, corresponding practical recommendations for organizing regular geodetic monitoring were developed, taking into account this parametric assessment. The results obtained are highly beneficial for mine surveyors, geomechanicians, civil engineers, and underground construction specialists for wide application in practical activities and industrial operations.

Keywords: geodetic monitoring, deformations, underground workings, laser scanning, rock stability.

С.Е. Тиржанова, Ж.Т. Кожаев*, Ж.Д. Байгурын,
М.М. Нарбаев, О.К. Абдрахманов, Ж.Ж. Жалгасбаева
Satbayev University, Алматы, Казахстан
*e-mail: kozhaev_zh@mail.ru

Параметрическая оценка деформаций подземных выработок на основе лазерного сканирования

Статья посвящена всестороннему исследованию геодезических методов контроля деформационных процессов в подземных горных выработках, в частности, методике параметрической оценки деформаций на основе лазерного сканирования. В работе разработан новый комплексный подход, в котором в качестве основных характеристик деформаций подземных выработок используются определяемые непосредственно с помощью лазерного сканера изменения площадей их сечений: поперечного (ΔS) и продольного (ΔP) площадных параметров. Основное внимание уделено интеграции современного лазерного сканирования и классических тахеометрических измерений, обеспечивающих высокую точность контроля устойчивости горного массива, а также последующему расчету коэффициента структурного ослабления пород (K_{co}) и коэффициента Пуассона материала на основе полученных параметров.

Экспериментальные исследования были успешно проведены на двух глубоких горизонтах юго-восточного рудного тела (ЮВРТ) с помощью сканера MINEiGeoSight с интервалом в пять месяцев и реализованы путем взаимного сопоставления трехмерных цифровых моделей. Уточненные данные наглядно продемонстрировали закономерности неравномерного расширения сечений горных выработок и охарактеризовали тенденции сдвижения массива горных пород. Применение лазерного сканирования позволило точно выявить критические и опасные зоны деформации, а также получить точные геометрические модели изменяющихся участков.

Проанализировано влияние тектонических и гравитационных нагрузок на устойчивость выработок, а также полностью доказано воздействие напряжений на глубоких горизонтах. В целях повышения безопасности горных работ разработаны соответствующие практические рекомендации по организации регулярного геодезического мониторинга с учетом данной параметрической оценки. Полученные результаты являются крайне полезными для маркшейдеров, геомехаников, инженеров-строителей и специалистов по подземному строительству для широкого применения в практической деятельности и производственном опыте.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, деформации, подземные выработки, лазерное сканирование, устойчивость горных пород.

Кіріспе

Қазіргі заманғы маркшейдерлік-геодезиялық тәжірибеде жерасты лазерлік сканерлеу тау-кен қазбаларының деформацияларын мониторингілеудің неғұрлым ақпараттық және дәлдігі жоғары әдістерінің бірі ретінде қарастырылады. Оны қолдану жер асты кеңістігінің егжей-тегжейлі үш өлшемді үлгілерін алуға, қазбалар геометриясының өзгерістерін тіркеуге, жергілікті ығысу, қирау және қима кеңею аймақтарын анықтауға, сондай-ақ пайдалану процесінде тау

жыныстары массивінің орнықтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Мұндай зерттеулер өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз ету, әлеуетті қауіпті учаскелерді уақтылы анықтау және жерасты құрылыстарын пайдаланудың сенімділігін арттыру үшін маңызды мәнге ие.

Жалпы жағдайда «деформация» термині бақылау объектісі пішінінің (контуріның) өзгеруін білдіреді. Геодезиялық практикада деформацияны объектінің бастапқы жағдайына қатысты орнының өзгеруі ретінде қарастыру қабылданған (Киселёв, 2011; ГОСТ 24846-2012).

Жер асты лазерлік сканерлеу контекстінде деформация деп бақылау объектісі пішінінің (контурының) жалпы өзгерісін ғана емес, сонымен қатар оның геометриялық параметрлерінің бастапқы немесе жобалық жағдайдан сандық белгіленетін ауытқуын түсіну керек. Кезеңдік нүктелер бұлттарын және олар бойынша құрылған цифрлық модельдерді салыстыру негізінде деформациялық өзгерістердің сипатын, бағытын және қарқындылығын айқындауға мүмкіндік туады, бұл дәстүрлі желілік өлшемдермен салыстырғанда геодезиялық бақылау мүмкіндіктерін едәуір кеңейтеді.

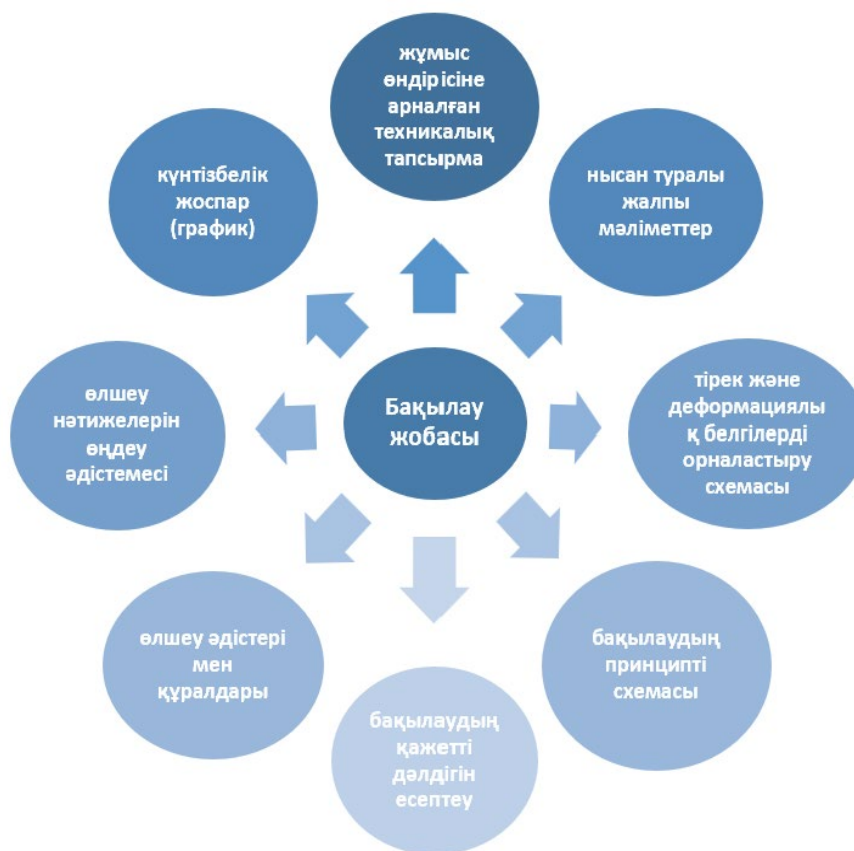
Жерасты лазерлік сканерлеу нәтижелері бойынша алынған деректер осы жұмыстағы кейінгі есептеулер үшін бастапқы негіз болды. Нүктелер бұлттарының және құрылған сандық үлгілердің базасында қазбалардың геометриялық параметрлері айқындалды, ΔS және ΔP кима

аудандарының өзгерістері есептелді, сондай-ақ массивтің деформациялық жай-күйі мен оның құрылымдық әлсіреу параметрлерін одан әрі бағалау орындалды. Осылайша, осы зерттеудегі лазерлік сканерлеу жерасты қазбаларының жай-күйін визуализациялау құралы ретінде ғана емес, сонымен қатар тау жыныстарының орнықтылығын бағалауға және деформацияның қауіпті аймақтарын болжауға бағытталған талдамалық және есептік рәсімдер үшін бастапқы ақпаратты алу құралы ретінде де қолданылады.

Салыстырмалы және кейінгі есептік талдау үшін жарамды деректерді алу үшін жерасты лазерлік сканерлеу түсірілім учаскелерін таңдауды, сканерлеу станцияларының орналасуын, кеңістіктік байланыстыру тәсілдерін, түсірілім параметрлерін және қайта өлшеу аралықтарын қамтитын алдын ала негізделген бақылау схемасы бойынша орындалуы тиіс (1-сурет).

1-сурет

Геодезиялық әдістермен бақылау жобасының құрамы



Ескерту: автор құрастырған

Мұндай жұмыстарды ұйымдастыру цифрлық үлгілерді дұрыс салыстыруды, қазбалар геометриясының өзгерістерін бөліп алуды және деформация параметрлерін есептеу үшін бастапқы деректерді алуды қамтамасыз етеді. Осыған байланысты, бұл зерттеудің негізгі мақсаты – лазерлік сканерлеу мәліметтері негізінде жерасты қазбалары қималарының аудандық параметрлерін есептеу арқылы деформациялық үдерістерді сандық және параметрлік тұрғыдан бағалау әдістемесін негіздеу болып табылады.

Әдеби шолу

Зерттеу әдебиеттерінде дәстүрлі геодезиялық бақылау әдістері кеңінен талданған. Мысалы, Labant және т.б. (2020) еңбегінде ашық карьер жағдайында GNSS және тахеометриялық өлшеулерді үйлестіру мәселелері сипатталған. Авторлар GNSS сигналдарын статикалық пункттерді анықтау мен карьер кертпештері (қабаттары) мен қоймаларының картасын құру үшін қолдануды ұсынды, ал тахеометрия дәстүрлі түрде негізгі биіктік және шағын көлденең ығысуларды анықтауға бағытталған. Nguyen және т.б. (2024) GNSS технологияларының ашық және жерасты кеніштеріндегі ығысуларды бақылаудағы тиімділігін атап өтті. Олар RTK және PPP-GNSS әдістерінің кеңінен қолданылуын көрсете отырып, болашақта бұл технологияларды жасанды интеллектімен біріктіру мүмкіндігін қарастырды.

Өндірістік үдерістерге автоматтандырылған геодезиялық жүйелер де белсенді енгізілуде. Мысалы, Jiráňková және т.б. (2025) өлшеу дәлдігін верификациялау үшін автоматты бақылау жүйесін қолданды. Олар бағдарламаланған нивелирлеу жүйесімен жүргізілген тұрақты бақылаулардың дәлдігін тексере отырып, ығысуларды шамамен 3,15 мм деңгейінде жоғары дәлдікпен анықтауға болатындығын дәлелдеді.

Геодезиялық бақылау саласында лазерлік сканерлеу технологиясы соңғы жылдары қарқынды дамып келеді. Singh және т.б. (2023) жасаған шолуда жерасты кеніштерінде лазерлік сканерлеуді қолдану тәжірибесі жан-жақты талданып, оның жоғары дәлдігі мен кең көлемді 3D модельдер алу мүмкіндігі ерекше көрсетілген. Алайда, аталған шолу авторлары сканерлеу технологиясының қоршаған орта факторларына (шаң, ылғал) тәуелділігін және нақты уақыт

режимінде деректер алмасудың жеткіліксіздігін негізгі шектеулер ретінде келтірді.

Лазерлік сканерлеуді өндірістік жағдайларға бейімдеудің бірнеше тәсілдері ұсынылды. Сui және т.б. (2019) жылжымалы (рельстік) лазерлік сканерлеу жүйесін метро тоннелінде қолдана отырып, көлденең қималардың ығысуын миллиметрлік дәлдікпен анықтады. Бұл әдіс дәстүрлі тахеометриялық бақылаумен салыстырғанда өлшеу жылдамдығын едәуір арттырып, 0,5–1,5 мм аралығындағы жоғары дәлдікті қамтамасыз етті. Технология тоннелдердегі ауқымды геометриялық деформацияларды жедел анықтауға мүмкіндік бергенімен, арнайы техникалық шешімдерді қажет етеді.

Кеңістігі шектелген (тар) тау-кен қазбалары жағдайында қолданылатын портативті лазерлік сканерлеу құрылғыларының мүмкіндіктері де зерттелуде. Мысалы, Kütims және т.б. (2021) қолмен ұстайтын мобильді лазерлік сканерлерді жанғыш тақтас (oil shale) кенішінде сынақтан өткізді. Алынған координаттар мен дәстүрлі TLS (жерүсті лазерлік сканерлеу) деректерінің айырмашылығы 2–5 см аралығын құрады. Мобильді сканерлеудің дәлдігі дәстүрлі тахеометриялық әдістермен салыстырғанда төменірек болғанымен, ол жерасты кеңістігінің толық 3D моделін жедел құруға мүмкіндік береді (Kütims және т.б., 2021).

Әдебиеттерді талдау барысында анықталған осы олқылықтар ұсынылып отырған зерттеу жұмысының бағытын негіздейді. Бұл жұмыста жоғары дәлдікті лазерлік сканерлеу мен классикалық тахеометриялық бақылауды біріктіру арқылы жерасты кеніштеріндегі деформацияларды толық 3D модельдерде сипаттау көзделген. Сондай-ақ, алынған деректер негізінде тау жыныстарының құрылымдық әлсіреу көрсеткіштерін есептеу әдістемесі нақтыланды. Жерасты құрылыстарында жоғары ажыратымдылықты сканерлеу деректері мен геомеханикалық модельдерді интеграциялау тәсілі отандық тәжірибеде алғаш рет қолданылып отыр. Осылайша, бұған дейінгі зерттеулерде толық шешімін таппаған масштабтау және деформацияларды нақты уақыт режимінде мониторингілеу мәселелері қамтылды.

Қорыта айтқанда, бұл зерттеу халықаралық ғылыми еңбектерде жеткілікті қарастырылмаған ерекше жағдайларда тиімді жұмыс істейтін жоғары дәлдікті әдістемені ұсынады. Көпформатты датчиктер (TLS және тахеометрия) мен

геомеханикалық есептеулерді кешенді интеграциялау бұрынғы техникалық шектеулерді еңсеруге, деформация процестерін дәл болжауға және кеніштердің орнықтылығын жоғары дәлдікпен бағалауға мүмкіндік берді.

Әдіснама

Зерттелетін объектіде кен орнын игерудің техникалық жобасына сәйкес тау-кен алабындағы гравитациялық және тектоникалық күштік өрістердің жиынтық әсері әрдайым толық көлемде ескерілмейді. Тау-кен жұмыстарын жүргізу және пайдалану процесінде жекелеген учаскелерде жыныстардың тұтастығының бұзылуымен, жарықтардың, қауіпті ажыраулардың (заколдардың) және басқа да құрылымдық бұзылулардың, оның ішінде пликативтік, дизъюнктивтік және флексуралық деформация нысандарының дамуымен қатар жүретін жыныстардың кернеулі-деформацияланған жай-күйі өзгереді. Нәтижесінде дәл осы жарықшақтық жерасты қазбалары геометриясының өзгеруін, олардың бүйір қабырғалары мен төбесінің тұрақтылығының төмендеуін, сондай-ақ жергілікті опырылу ықтималдығын айқындайтын негізгі факторлардың біріне айналады.

ТМД және Қазақстанның кен орындарындағы жарықшақтық мәселелері бірқатар ғалымдар мен өндірушілердің еңбектерінде егжей-тегжейлі қаралды (Машанов, 1966; Машанов және т.б., 2015; Нурпеисова, 2012; Chen және т.б., 2025). Орындалған зерттеулер жарықшақты тектониканың тау жыныстарының механикалық қасиеттеріне, массивтің құрылымына және тау-кен техникалық процестердің өту ерекшеліктеріне елеулі әсер ететінін көрсетті. Академик С.Г. Авершин атап өткендей, жарықшақтық тау жыныстарының жылжуын анықтайтын маңызды факторлардың бірі болып табылады (Иофис және т.б., 2014). Осыған байланысты жерасты қазбаларының деформацияларын талдауды массивтің жай-күйін сипаттайтын негізгі параметрлердің бірі ретінде жарықшақтарды міндетті түрде ескере отырып жүргізген жөн.

Мұндай бағалаудың неғұрлым тиімді құралдарының бірі лазерлік сканерлеу негізінде геодезиялық мониторинг болып табылады. Лазерлік сканер және электрондық тахеометр сияқты дәлдігі жоғары геодезиялық құралдарды пайдалану қазбалардың кеңістіктік геометриясы туралы сенімді деректер алуға, олардың

контурларының өзгерістерін тіркеуге және шатыр мен бүйір қабырғаларының жергілікті деформацияларын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе деформациялық процестер күрделі және біркелкі емес сипатта болатын жарықшақтығы жоғары учаскелерде маңызды.

Жұмыстағы қуыстарды (бос кеңістіктерді) жерасты лазерлік сканерлеуді GeoSight (Канада) компаниясының MINEiGeoSight сканері орындады. Дұрыс кеңістіктік байланыстыруды қамтамасыз ету үшін «AltynExCompany» АҚ маркшейдерлік бөлімі ұсынған маркшейдерлік нүктелердің координаттары мен белгілері пайдаланылды (ТОО Антал, 2019). Сканердің жағдайы сызықтық қилыстыру әдісімен айқындалды, ал бағдарлау сканерге бекітілетін арнайы алмалы-салмалы маркалар бойынша электрондық тахеометрмен жүзеге асырылды (2-сурет). Лазерлік сканерлеудің алынған деректері қазылып алынған кеңістіктің цифрлық үлгілерін құру үшін ғана емес, сондай-ақ қима алаңдарының өзгеруін және массивтің құрылымдық әлсіреу дәрежесін сипаттайтын деформация параметрлерін кейінгі есептеу үшін пайдаланылды.

Тау-кен қазбасының бүйір қабырғаларының орнықтылық ықтималдығын бағалау үшін, жарықтардың азимуталдық бұрыштық мәндерін және әлсіреу жазықтығында опырылымдардың (құлаулардың) бағыттарын ескере отырып, орнықтылық қорының коэффициентін есептеу ұсынылады (Fu және т.б., 2021). Осы коэффициентті есептеуді сызаттар мен әлсіреген аймақтардың геометриялық параметрлерін, сондай-ақ қазба қабырғаларының беріктік сипаттамаларына әсер ететін факторларды ескеретін келесі формуланы пайдалана отырып орындауға болады:

$$n = \frac{tg\varphi}{tg\beta} + \frac{2K_{кэ} \times \sin\alpha}{\gamma \times (H - h) \times \sin(\alpha - f)} \quad (1)$$

мұндағы n – орнықтылық қорының коэффициенті; φ – жарықтар бойындағы орташа үйкеліс бұрышы; $K_{кэ}$ – құрылымдық әлсіреу коэффициенті; γ – жыныстың меншікті салмағы; H – сфералық пішінді ескере отырып алынған тау-кен қазбасының биіктігі; h – тау-кен қазбасының тікбұрышты пішінінің биіктігі; f – жарықтың құлау бұрышы; α, β – қазбаның бүйір қабырғасының көлбеу бұрыштары.

2-сурет

Блоктағы бос кеңістіктерді жерасты лазерлік сканерлеу



Ескерту: автор құрастырған

Құрылымдық әлсіреу коэффициенті тау-кен қазбасының бүйір қабырғасы бойынша анықталған жарықтар арасындағы қашықтыққа байланысты анықталады (1-кесте) (Копытов және т.б., 2013).

Тау-кен қазбаларындағы деформацияларды өлшеу абсолюттік ығысуларды ғана емес, деформациялық үдерістердің сипатын да

ескеруді талап етеді. Тау жыныстарының орнықтылығын талдауда маңызды параметрлердің бірі Пуассон коэффициенті болып табылады, ол материалдың бойлық және көлденең деформацияларының арақатынасын көрсетеді. Оны ескеру сыртқы әсерлер кезінде жыныс массивінің мінез-құлқын неғұрлым дәл болжауға мүмкіндік береді.

1-кесте

Жыныстардың жарықшақтығына L_{op} байланысты $K_{кә}$ құрылымдық әлсіреу коэффициентінің тәуелділігі

Жарықшақтар арасындағы қашықтық L_{op} , м	$K_{кә}$ құрылымдық әлсіреу коэффициенті
>1,0	0,9
0,8-1,0	0,8
0,5-0,8	0,6
0,2-0,5	0,3
0,1-0,2	0,15

Сызықтық параметрлерді пайдалана отырып, ε (бойлық деформация) және ε_1 (көлденең деформация) анықталады:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

мұндағы Δl – салыстырмалы бойлық ұзару немесе қысқару, м; l_0 – бастапқы (жобалық) ұзындық, м.

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3)$$

мұндағы Δd – салыстырмалы көлденең ұзару немесе қысқару, м; d_0 – бастапқы (жобалық) ұзындық, м.

Тау-кен ісі немесе маркшейдерия контекстіндегі Пуассон коэффициенті, әдетте, созылу немесе сығылу кезіндегі материалдың көлденең деформациясының оның бойлық деформациясына қатынасын сипаттайды және келесі формуламен анықталады:

$$\mu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \quad (4)$$

Геодезиялық бақылаулар нәтижелері бойынша бойлық және көлденең деформацияны ескеретін ΔS және ΔP аудандық параметрлері пайдаланылады:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S_{\text{пр}}}; \varepsilon_1 = \frac{\Delta P}{P_{\text{пр}}} \quad (5)$$

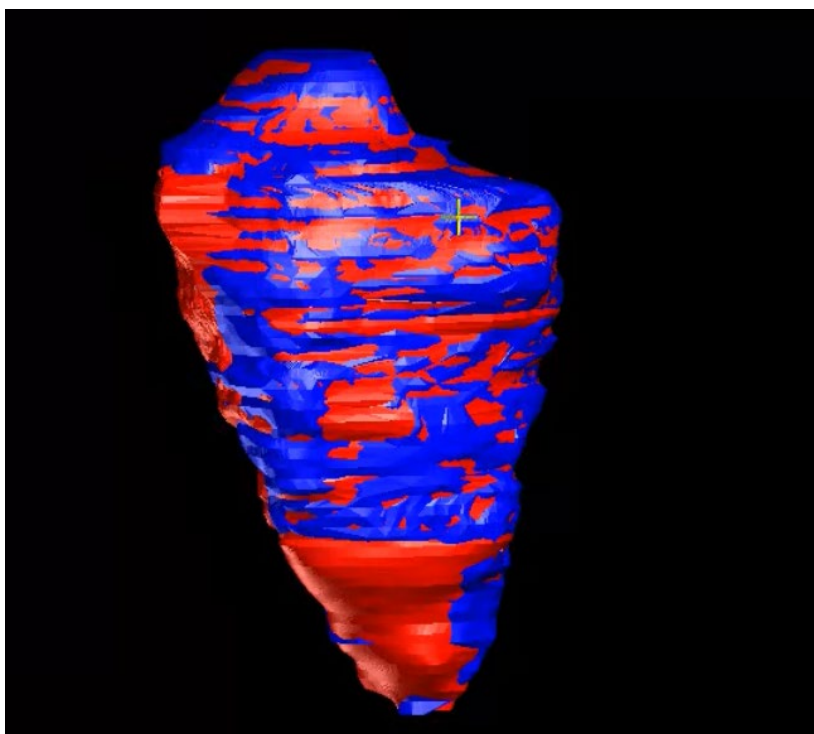
мұндағы ΔS , ΔP – тау-кен қазбасының қималарының бойлық аудандары, $S_{\text{пр}}$, $P_{\text{пр}}$ – тау-кен қазбасы қималарының жобалық аудандары.

Нәтижелер және талқылау

Қуыстарды (бос кеңістіктерді) сканерлеу оңтүстік-шығыс кенді денесі (ОШКД) мысалында екі терең горизонтта (гор. -60 м, -100 м) екі станциядан жүргізілді. Сканерлеу қадамы 2°-ты құрады. Көрнекілік үшін бес айлық уақыт айырмашылығымен орындалған №7 және №8 екі кезеңнің лазерлік сканерлеу деректері ұсынылған (3-сурет).

3-сурет

№ 7 кезеңнің қаңқалық моделі – көк, № 8 кезеңің қаңқалық моделі – қызыл



Ескерту: автор құрастырған

Лазерлік сканерлеу деректері қазбалардың бүйір қабырғалары мен төбесіндегі бұзылуларды, сондай-ақ тау-кен қазбаларындағы тау массасының әртүрлі опырылу және құлау түрлеріне (қабыршақ тәрізді немесе жазық аудандық жекеленулер түрінде) әсер ететін

бойлық және көлденең деформацияны ескеретін ΔS және ΔP аудандық параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді (2-кесте).

Тау-кен қазбалары қималарының аудандық параметрлері өзгерісін талдау барлық қарастырылған учаскелерде қималар ауданының

ұлғайғанын көрсетті. Ең үлкен өсім iii-iii қимасында тіркелді (4-сурет), мұнда аудан 516,95 м²-ге ұлғайған, бұл жобалық мәннің 6,8%-

ын құрайды. Сонымен қатар, ең аз өзгеріс i-i қимасында байқалды, мұнда айырмашылық небәрі 33,51 м² (0,7%) болды.

2-кесте

Тау-кен қазбасы қималарының аудандары және олардың деформациясы

ОШКД қимасы	№7 кезеңдегі аудан, м ²	№8 кезеңдегі аудан, м ²	Жобалық аудан, м ²	ΔS , м ²	ε
i-i	5009,8631	5043,3780	5000	33,5148	0,007
ii-ii	5419,0507	5540,2795	5000	121,2288	0,024
iii-iii	7177,0334	7693,9801	7500	516,9467	0,068
iv-iv	6926,0254	7031,5473	7000	105,5219	0,015

Ескерту: автор құрастырған

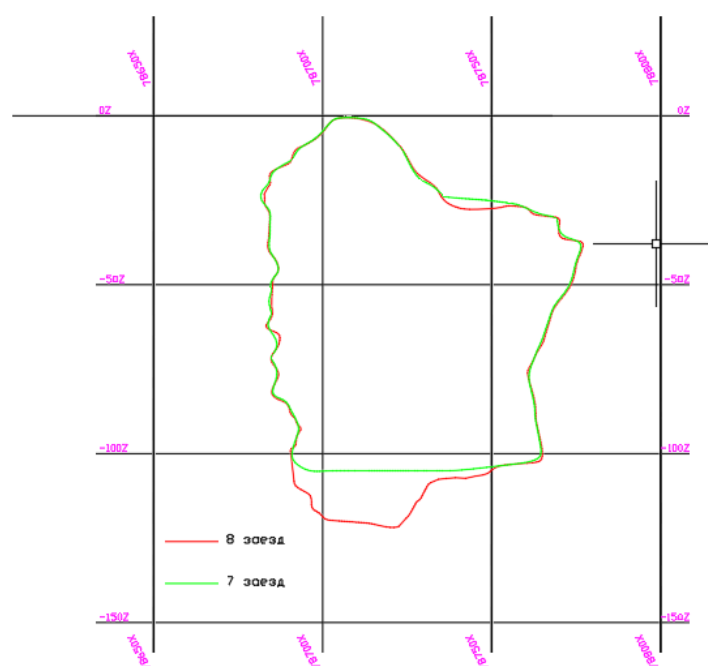
Деформациялар динамикасы тау-кен қазбаларының біркелкі емес кеңеюін көрсетеді, бұл тау жыныстарының жарықшақтылық дәрежесі, тау қысымы және тектоникалық бұзылыстардың болуы сияқты әртүрлі геомеханикалық жағдайлармен байланысты. Терең горизонттарда деформациялар айқынырақ байқалады, бұл гравитациялық және тектоникалық кернеулердің әсерімен түсіндіріледі. Негізгі өзгерістер көлденең қималар бағытында орын алған, бұл ΔP

аудандық параметрлерінің ұлғаюымен расталады.

Бұдан бөлек, тау жыныстарының құрылымдық әлсіреу коэффициенті тіркелген өзгерістерге елеулі әсер ететіні анықталды: жарықшақтар арасындағы қашықтық неғұрлым аз болса, қималардың ұлғаю ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. Елеулі деформациялар байқалған жерлерде жыныстардың жарықшақтылығы сыни мәндерге жетуі мүмкін, бұл қазбалардың жергілікті кеңеюіне ықпал еткен.

4-сурет

iii-iii қимасы, № 7 және № 8 кезеңдер



Ескерту: автор құрастырған

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер жоғары дәлдікті геодезиялық өлшеулердің тау жыныстары массивтерінің орнықтылығын мониторингтеудің және ықтимал деформациялық үдерістерді анықтаудың тиімді құралы екенін растады. Лазерлік сканерлеу деректерін талдау негізінде жерасты қазбаларындағы деформациялардың біркелкі емес сипатқа ие екені, әрі ең елеулі өзгерістер тау жыныстарының жарықшақтылық дәрежесі жоғары аймақтарда болатыны анықталды. Тау-кен қазбалары кималарының ұлғаюы геомеханикалық үдерістермен, оның ішінде тектоникалық және гравитациялық кернеулердің әсерімен байланысты екені белгіленді. Терең горизонттарда деформациялық үдерістер күштірек байқалады, бұл жерасты құрылымдарының жай-күйін күшейтілген бақылауды талап етеді.

Зерттеу нәтижелері жарықтар арасындағы қашықтыққа байланысты тау жыныстарының құрылымдық әлсіреу коэффициенттерін анықтауға, сондай-ақ жарықшақтылықтың бүйір қабырғалар мен қазба төбесінің орнықтылығына әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Деформацияның аудандық параметрлері анықталды, бұл тау-кен қазбалары пішінінің өзгеру үрдістерін айқындауға және апаттық жағдайлардың туындау қаупін болжауға мүмкіндік берді.

Жұмыстың практикалық маңызы тау-кен қазбаларының жай-күйіне жедел бақылау жүргізуге және оларды бекіту бойынша уақтылы шаралар қабылдауға мүмкіндік беретін әдістемені әзірлеуде жатыр. Алынған нәтижелерді тау-кен кәсіпорындарын жобалау және пайдалану кезінде, сондай-ақ жерасты құрылыстарын пайдалану барысында орнықтылықты бағалау үшін кеңінен қолдануға болады.

Авторлардың үлесі

«Conceptualization, Tirzhanova S.E. and Kozhayev Zh.T.; Methodology, Baygurin Zh.D.; Software, Narbayev M.M.; Validation, Kozhayev Zh.T., Tirzhanova S.E. and Zhalgasbayeva Zh.Zh.; Formal Analysis, Tirzhanova S.E.; Investigation, Tirzhanova S.E., Narbayev M.M. and Kozhayev Zh.T.; Resources, Abdrahmanov O.K. and Zhalgasbayeva Zh.Zh.; Data Curation, Kozhayev Zh.T. and Baygurin Zh.D.; Writing – Original Draft Preparation, Tirzhanova S.E.; Writing – Review & Editing, Kozhayev Zh.T. and Baygurin Zh.D.; Visualization, Abdrahmanov O.K. and Zhalgasbayeva Zh.Zh.; Supervision, Kozhayev Zh.T.; Project Administration, Narbayev M.M.; Funding Acquisition, Narbayev M.M. and Abdrahmanov O.K.»

Әдебиеттер

1. Киселёв, М. И., & Михелев, Д. Ш. (2011). *Геодезия* (8th ed.). Академия.
2. Стандартиформ. (2014). *Топырақтар. Ғимараттар мен құрылыстар негіздерінің деформацияларын өлшеу әдістері* (ГОСТ 24846-2012). Стандартиформ.
3. Стандарттау, метрология және сертификаттау жөніндегі мемлекетаралық кеңес. (2014). *Топырақтар. Ғимараттар мен құрылыстар деформацияларын өлшеу әдістері* (ГОСТ 24846-2012). Стандартиформ.
4. Машанов, А. Ж. (1966). Жер қойнауының гармониясы (жер қойнауы жағдайындағы жарықтардың даму заңдылықтары). In *Тау жыныстары механикасының мәселелері* (pp. 270–276). Наука.
5. Машанов, А. А., Сарыбаев, О. А., & Садықов, Б. Б. (2015). Жарықшақты массивтің беріктігі. *Қазақстанның тау журналы*, (2), 32–33.
6. Нурпеисова, М. Б. (2012). *Қазақстанның кенді кен орындарының геомеханикасы*. ҚазҰТУ.
7. Chen, X., Gao, W., He, T., Ge, S., Ma, P., & Zhou, C. (2025). Study on constitutive model of fractured rock masses by using statistical strength theory. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 48, 8274–8296. <https://doi.org/10.1002/mma.9758>
8. Иофис, М. А., Милетенко, И. В., & Нурпеисова, М. Б. (2014). *Геомеханика*. ҚазҰТУ.
9. АНТАЛ. (2019). *Ақтөбе облысы Мұғалжар ауданында орналасқан Юбилейное кен орнының тау-кен жұмыстарының жоспары: 1-том, 1-кітап. Геологиялық және гидрогеологиялық бөлім. Түсіндірме жазба*. АНТАЛ.
10. Fu, H., Chen, W., & Fu, J. (2021). Geological basis. In *Rock mechanics and engineering*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822424-3.00007-4>
11. Копытов, А. И., Першин, В. В., Клюкин, Г. К., & Войтов, М. Д. (2013). «Евразруда» кен орындарын игеру кезінде тау-кен қазбаларын бекітуді таңдау әдістемесі. *КузМТУ хабаршысы*, (2).
12. Labant, S., Bindzarova Gergelova, M., Kuzevicova, Z., Kuzevic, S., Fedorko, G., & Molnar, V. (2020). Utilization of geodetic methods results in small open-pit mine conditions: A case study from Slovakia. *Minerals*, 10(6), Article 489. <https://doi.org/10.3390/min10060489>

13. Nguyen, H. V., Pham, K. C., Nguyen, D. B., & Nguyen, L. Q. (2024). Application of the GNSS method in the monitoring of mine surface displacement: A systemic review. *Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 2(1). <https://doi.org/10.29227/IM-2024-01-115>
14. Jiráňková, E., Kajzar, V., & Koníček, P. (2025). Validation of the accuracy of automatic geodetic monitoring data for research into the vertical displacement of the ground surface caused by hard coal longwall mining. *Next Research*, 2(3), Article 100645. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100645>
15. Singh, S. K., Banerjee, B. P., & Raval, S. (2023). A review of laser scanning for geological and geotechnical applications in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 33(2), 133–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2022.09.022>
16. Cui, H., Ren, X., Mao, Q., Hu, Q., & Wang, W. (2019). Shield subway tunnel deformation detection based on mobile laser scanning. *Automation in Construction*, 106, Article 102889. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102889>
17. Kütümet, K., Ellmann, A., Väli, E., & Kanter, S. (2021). Underground oil shale mine surveying using handheld mobile laser scanners. *Oil Shale*, 38(1), 42–64. <https://doi.org/10.3176/oil.2021.1.03>

References

- Kiselyov, M. I., & Mikhelev, D. Sh. (2011). *Geodeziya* [Geodesy] (8th ed.). Akademiya.
- Standartinform. (2014). *Topyraqtar. Gimarattar men qurylystar negizderinin deformatsiyalaryn olsheu adisteri* [Soils. Methods for measuring deformations of the foundations of buildings and structures] (GOST 24846-2012). Standartinform.
- Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. (2014). *Topyraqtar. Gimarattar men qurylystar deformatsiyalaryn olsheu adisteri* [Soils. Methods for measuring deformations of buildings and structures] (GOST 24846-2012). Standartinform.
- Mashanov, A. Zh. (1966). Zher qoinaunyn garmoniyasy (zher qoinauy zhagdayyndagy zharyqtardyn damu zandylyqtary) [The harmony of the subsoil (patterns of fracture development in subsurface conditions)]. In *Tau zhynystary mekhanikasyyn maseleleri* [Problems of rock mechanics] (pp. 270–276). Nauka.
- Mashanov, A. A., Sarybaev, O. A., & Sadykov, B. B. (2015). Zharyqshaqty massivtin beriktigi [Strength of a fractured rock mass]. *Qazaqstannyn tau zhurnaly* [Mining Journal of Kazakhstan], (2), 32–33.
- Nurpeisova, M. B. (2012). *Qazaqstannyn kendi ken oryndarynyn geomekhanikasy* [Geomechanics of ore deposits of Kazakhstan]. KazNTU.
- Chen, X., Gao, W., He, T., Ge, S., Ma, P., & Zhou, C. (2025). Study on constitutive model of fractured rock masses by using statistical strength theory. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 48, 8274–8296. <https://doi.org/10.1002/mma.9758>
- Iofis, M. A., Miletchenko, I. V., & Nurpeisova, M. B. (2014). *Geomekhanika* [Geomechanics]. KazNTU.
- ANTAL. (2019). *Aqtobe oblysy Mugalzhar audanynda ornalasqan Yubileinoe ken ornynyn tau-ken zhumystarynyn zhospary: 1-tom, 1-kitap. Geologiyalyq zhane gidrogeologiyalyq bolim. Tusindirme zhazba* [Mining operations plan for the Yubileynoye deposit located in Mugalzhar district, Aktobe region: Vol. 1, book 1. Geological and hydrogeological section. Explanatory note]. ANTAL.
- Fu, H., Chen, W., & Fu, J. (2021). Geological basis. In *Rock mechanics and engineering*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822424-3.00007-4>
- Kopytov, A. I., Pershin, V. V., Klyukin, G. K., & Voitov, M. D. (2013). Evrazruda ken oryndaryn igeru kezinde tau-ken qazbalaryn bekitudi tandau adistemesi [Methodology for selecting support of mine workings in the development of Evrazruda deposits]. *KuzMTU habarshysy* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], (2).
- Labant, S., Bindzarova Gergelova, M., Kuzevicova, Z., Kuzevic, S., Fedorko, G., & Molnar, V. (2020). Utilization of geodetic methods results in small open-pit mine conditions: A case study from Slovakia. *Minerals*, 10(6), Article 489. <https://doi.org/10.3390/min10060489>
- Nguyen, H. V., Pham, K. C., Nguyen, D. B., & Nguyen, L. Q. (2024). Application of the GNSS method in the monitoring of mine surface displacement: A systemic review. *Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 2(1). <https://doi.org/10.29227/IM-2024-01-115>
- Jiráňková, E., Kajzar, V., & Koníček, P. (2025). Validation of the accuracy of automatic geodetic monitoring data for research into the vertical displacement of the ground surface caused by hard coal longwall mining. *Next Research*, 2(3), Article 100645. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100645>
- Singh, S. K., Banerjee, B. P., & Raval, S. (2023). A review of laser scanning for geological and geotechnical applications in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 33(2), 133–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2022.09.022>
- Cui, H., Ren, X., Mao, Q., Hu, Q., & Wang, W. (2019). Shield subway tunnel deformation detection based on mobile laser scanning. *Automation in Construction*, 106, Article 102889. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102889>
- Kütümet, K., Ellmann, A., Väli, E., & Kanter, S. (2021). Underground oil shale mine surveying using handheld mobile laser scanners. *Oil Shale*, 38(1), 42–64. <https://doi.org/10.3176/oil.2021.1.03>

Авторлар туралы мәлімет:

Сабина Еркиновна Тиржанова (жауапты автор) – техника ғылымдарының магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (Satbayev University) «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: rassmusenash@gmail.com).

Женис Турсуналиевич Кожаяев – PhD, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (Satbayev University) «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: kozhaev_zh@mail.ru).

Жаксыбек Джакупбекович Байгурын – техника ғылымдарының докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (Satbayev University) «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: baygurin@mail.ru).

Мағжан Мусаханұлы Нарбаев – Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (Satbayev University) магистранты (Алматы, Қазақстан, e-mail: maga_18_91@mail.ru).

Олжас Кеунимжайұлы Абдрахманов – Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (Satbayev University) докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: abdrahmanov4468@mail.ru).

Жадыра Жалғасбайқызы Жалғасбаева – Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (Satbayev University) докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: jadyra.jalgasbai@gmail.com).

Information about the authors:

Sabina Erkinovna Tirzhanova (corresponding author) – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan. E-mail: rassmusenash@gmail.com).

Zhenis Tursunaliyevich Kozhaev – PhD, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kozhaev_zh@mail.ru).

Zhaxybek Dzhakupbekovich Baigurin – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan, e-mail: baygurin@mail.ru).

Magzhan Musakhanuly Narbayev – Master's student at the Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan, e-mail: maga_18_91@mail.ru).

Olzhas Keunimzhayuly Abdrakhmanov – doctoral student at the Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan, e-mail: abdrahmanov4468@mail.ru).

Zhadira Zhalgasbaikzy Zhalgasbayeva – doctoral student at the Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan, e-mail: jadyra.jalgasbai@gmail.com).

Сведения об авторах:

Сабина Еркиновна Тиржанова (автор для корреспонденции) – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (Алматы, Казахстан, e-mail: rassmusenash@gmail.com).

Женис Турсуналиевич Кожаяев – PhD, ассоциированный профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (Алматы, Казахстан, e-mail: kozhaev_zh@mail.ru).

Жаксыбек Джакупбекович Байгурын – доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (Алматы, Казахстан, e-mail: baygurin@mail.ru).

Мағжан Мусаханұлы Нарбаев – магистрант Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (Алматы, Казахстан, e-mail: maga_18_91@mail.ru).

Олжас Кеунимжайұлы Абдрахманов – докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (Алматы, Казахстан, e-mail: abdrahmanov4468@mail.ru).

Жадыра Жалғасбайқызы Жалғасбаева – докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (Алматы, Казахстан, e-mail: jadyra.jalgasbai@gmail.com).