



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2025_1_252
MFTAA 52.01.21

Б. Апшикур¹, Т.Т. Ипалаков², М.М. Алимкулов³, А.К. Капасов⁴

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

¹E-mail: bapshikur@edu.ektu.kz

²E-mail: Tlpalakov@ektu.kz*

³E-mail: m.alimkulov@alt.edu.kz

⁴E-mail: azamat040594@mail.ru

ТЕРЕҢ КАРЬЕР БОРТТАРЫНЫҢ ОРНЫҚТЫ ЕҢІСТЕРІНІҢ РЕСУРС САҚТАУШЫ ПІШІНДЕРІ МЕН ПАРАМЕТРЛЕРІН НЕГІЗДЕУ

ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ФОРМ И ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ ОТКОСОВ БОРТОВ ГЛУБОКОГО КАРЬЕРА

SUBSTANTIATION OF RESOURCE-SAVING FORMS AND PARAMETERS OF STABLE SLOPES OF THE SIDES OF A DEEP QUARRY

Аңдатпа: Зерттеудің мақсаты – әдістерді талдау негізінде терең карьерлер борттарының ұтымды, тұрақты бейінін таңдау және есептеудің тиімді әдістемесін әзірлеу. Мақалада әртүрлі геомеханикалық жағдайларда терең карьерлердің борт маңайындағы массивінің тау жыныстарының кернеулі-деформацияланған күйін бағалау бойынша жүргізілген зерттеулердің негізінде, карьерлік беткейлердің тұрақтылығының бұзылуын қалыптастырушы кеніштің геологиялық, гидрогеологиялық және тау-кен орнының техникалық шарт жағдайлардың себептері анықталды. Зерттеуде карьерлік беткейлер параметрлерінің тау-кен-геологиялық жағдайларға сәйкес келмеуі немесе осы жағдайлардың жеткіліксіз зерттелуі, тау-кен жұмыстарын дұрыс жүргізбеу, гидростатикалық және гидродинамикалық күштердің жыныстарға әсері, тау-кен-көлік кешенінің, жаппай жарылыстардың әрекетінен болатын динамикалық жүктемелер есепке алынды. Сонымен қатар, беткейлердің немесе қастарға іргелес учаскелердің қосымша жүктемелері, көлбеу параметрлерін есептеудің дұрыс емес әдісін қолдану секілді себептер айқындалды. Осыдан деформациялық құбылыстарды талдау негізінде, беткейлерде көшкіннің пайда болуын шарттайтын жағдайлар, тау жыныстары массивінің тепе-теңдік күйінің бұзылуына әкелетін күштердің көрінуіне ықпал ететін табиғи және жасанды процестердің жиынтығы екендігі дәлелденді.

Көлемдік қираудың вертикалды призмасын бөлу барысында шеңберлі цилиндрлік гипотеза базалық ретінде қабылданды. Алынған мәліметтер нәтижесінде карьер борттарының тұрақтылығын есептеу әдістері талданып, карьердің жұмыс борттарының бұрышының ұлғаюына 15-45 м сатысының биіктігі ең үлкен әсер ететіні анықталды. Жазық сатылы және жазық пішінді аралық контурлардың ұтымды еместігі айқындалды.

Зерттеу қорытындысының практикалық және теориялық негізінде карьердің жұмыс аймағының бүйірлік беткейінің тегіс дөңес профилі ең үнемді әдіс екендігі анықталды. Бұл бейін тұрақтылықты қамтамасыз етіп, адамдар мен технологиялық жабдықтардың қауіпсіз жұмыс жағдайларын құрумен қатар, тегіс профилімен салыстырғанда аршу жұмыстарының көлемін 25,3 мың м³ азайтуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: терең карьерлер, борттық массив, кернеулі деформацияланған жағдай, ішкі үйкеліс бұрышы, көлбеу бұрышы, көлбеу профилі, тұрақтылық шегінің коэффициенті.

Аннотация. Целью исследования является разработка эффективной методики выбора и расчета рационального, стабильного профиля борта глубоких карьеров на основе анализа методов. В статье на основании проведенных исследований по оценке напряженно-деформированного состояния горных пород бортового массива глубоких карьеров в различных геомеханических условиях выявлены причины геологических, гидрогеологических и технических условий горного месторождения, формирующих нарушение устойчивости карьерных склонов. В исследовании учитывалось несоответствие параметров карьерных склонов горно-геологическим условиям или недостаточное изучение этих условий, неправильное проведение горных работ, влияние гидростатических и гидродинамических сил на породы, динамические нагрузки от действия горно-транспортного комплекса, массивных взрывов. Кроме того, выявлены такие причины, как дополнительные нагрузки на склоны или прилегающие к бровкам участки, применение неправильного метода расчета параметров склона. Исходя из этого, на основе анализа деформационных явлений доказано, что условия, обуславливающие возникновение оползней на склонах, представляют собой совокупность природных и искусственных процессов, способствующих проявлению сил, приводящих к нарушению состояния равновесия массива горных пород.

В ходе разделения вертикальной призмы объемного разрушения в качестве основы была принята круговая цилиндрическая гипотеза. В результате полученных данных проанализированы методы расчета устойчивости бортов карьера и установлено, что наибольшее влияние на увеличение угла рабочего борта карьера оказывает высота ступени 15-45 м. Выявлена нерациональность плоскостных ступенчатых и плоскостных промежуточных контуров.

На практической и теоретической основе заключения исследования установлено, что наиболее экономичным методом является плоский выпуклый профиль боковой поверхности рабочей зоны карьера. Этот профиль обеспечивает устойчивость и, помимо создания безопасных условий работы людей и технологического оборудования, позволяет уменьшить объем вскрышных работ на 25,3 тыс. м³ по сравнению с плоским профилем.

Ключевые слова: Глубокие карьеры, Бортовой массив, Деформированное состояние под напряжением, Угол внутреннего трения, Угол наклона, Профиль наклона, Коэффициент Предела устойчивости

Abstract. The purpose of the research is to develop an effective methodology for selecting and calculating a rational, stable profile of the board of deep quarries based on the analysis of methods. Based on the conducted studies on the assessment of the stress-strain state of rocks of the side array of deep quarries in various geomechanical conditions, the causes of the geological, hydrogeological and technical conditions of the mining deposit, which form a violation of the stability of the quarry slopes, are identified in the article. The study took into account the discrepancy between the parameters of the quarry slopes and mining and geological conditions or insufficient study of these conditions, improper mining operations, the influence of hydrostatic and hydrodynamic forces on rocks, dynamic loads from the mining and transport complex, massive explosions. In addition, such reasons as additional loads on the slopes or areas adjacent to the eyebrows, and the use of an incorrect method for calculating slope parameters were identified. Based on this, based on the analysis of deformation phenomena, it is proved that the conditions causing the occurrence of landslides on the slopes are a combination of natural and artificial processes that contribute to the manifestation of forces leading to a disturbance of the equilibrium state of the rock mass.

During the separation of the vertical prism of volumetric fracture, the circular cylindrical hypothesis was adopted as the basis. As a result of the data obtained, methods for calculating the stability of the sides of the quarry were analyzed and it was found that the height of the step 15-45 m has the greatest effect on increasing the angle of the working side of the quarry. The irrationality of planar stepped and planar intermediate contours is revealed.

Based on the practical and theoretical conclusions of the study, it was found that the most economical method is a flat convex profile of the side surface of the working area of the quarry. This profile ensures stability and, in addition to creating safe working conditions for people and technological equipment, reduces the volume of stripping operations by 25.3 thousand m³ compared to a flat profile.

Keywords: Deep quarries, Side array, Deformed state under stress, Angle of internal friction, Angle of inclination, Slope profile, Coefficient of Stability limit

Кіріспе. Зерттеу объектісі ашық тау-кен жұмыстары кезіндегі массивке тау-кен-технологиялық әсер ету салдарынан туындайтын техногендік геомеханикалық процестер болып табылады.

Белгілі болғанындай, қатты пайдалы қазбалар кен орындарын игерудің ашық тәсілі, бірқатар объективті себептер бойынша тау-кен өнеркәсібі жүйесінде жетекші орынға ие болады. Олардың негізгілері келесідей (Мельник В. В., 2021):

1) пайдалы компоненттері аз болған кезде, күрделі тау-кен-геологиялық жағдайдағы пайдалы қазбалар кен орындарын пайдалануға тарту қажеттілігі. Мұндай кен орындарын қуатты технологиялық жабдықты қолдана отырып, үлкен қарқындылықпен және өнімділікпен ғана пайдалану тиімді, бұл тек Ашық тау-кен жұмыстары кезінде мүмкін болады.

2) жер қыртысының үстіңгі бөліктеріндегі кеніш қорының сарқылуына байланысты, қатты пайдалы қазбалар кен орындарын игеру тереңдігінің артуы (600-800 және одан да көп метрге дейін).

3) үлкен тереңдікте тау-кен жұмыстарын жүргізу қаупі, бұл тау-кен жұмыстары дамыған сайын, геомеханикалық жағдайдың нашарлауын келтіріп шығарады.

Осыған байланысты карьер бортының беткейлерінің тұрақтылығын басқарудың жылдам және сенімді әдістерін жасау үшін, геомеханикалық процестерді болжау және модельдеу мәселесі аса маңызды болып табылады (Nizametdinov, F.K. and Ozhigin, S.G. and Nizametdinov, N.F. and Oralbay, A.O., 2021).

Ашық тау-кен жұмыстарының тереңдігінің өсу үрдісі әртүрлі тау-кен геологиялық жағдайларында, тау жыныстарының көлбеу массивтерінің кернеулі-деформацияланған күйін бағалаудың есептік әдістерінің сенімділігі мен жеделдігін арттыру қажеттілігін туындатады. Осы негізде, терең карьерлердің борт беткейлерінің тұрақты параметрлерін есептеудің инженерлік әдістерін, борт беткейлерінің ұтымды формаларын жобалаудың сенімді әдістерін жасау қажет болады.

Жүргізілген зерттеу, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым Министрлігінің іргелі ғылыми жобалар бағдарламасы бойынша авторлар жүргізген ғылыми зерттеулердің нәтижесі болып табылады. Қойылған міндеттерді шешу тау-кен жұмыстарының тереңдігіне қарай, геологиялық және тау-кен-техникалық жағдайлары өзгерген кезде үлкен тереңдікте пайдалы қазбалар кен орындарын ашық игерудің тиімділігін арттыруға бағытталған (Rakhmangulov, A.; Burmistrov, K.; Osintsev, N., 2022). Жасалынған зерттеу жұмыстарын талдау нәтижесінде қатты пайдалы қазбалардың кешенді кен орындарын игеру жүйелері мен параметрлерін жоспарлау үшін, карьер бортының ұтымды және тұрақты беткейлерін таңдау мен жобалаудың жаңа әдістері келтірілген (Mahmudov, D.R.; Kadirov, V.R.; Karimov, SH.V. et al., 2020).

Бұл зерттеу нәтижелерінде тәуекелдерді бағалау және терең карьерлердің борттық еңісіндегі тау жыныстарының жүйелік сенімділігін талдау және жазық-сатылы бейіні бар еңістердің орнықты еңістерін бағалау әдістемесі, жазық сатылы бейіндегі еңістердің борттық массивінің кернеулі-деформацияланған жай-күйінің өзгеру заңдылықтарын зерттеумен, тегіс және күрделі профильдері бар карьердің бүйір беткейлерінің кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеру заңдылықтары бойынша пәндік зерттеулер негізінде, тиімді әдістермен ұсыныстар әзірленген (Апшикур Б., Ипалаков Т.Т., Капасов А.К., Алимкулов М.М. и др., 2021).

Материалдар және зерттеу әдістері. Терең карьерлердің борт беткейлерінің тұрақтылығы бойынша мәселелерді шешуде, нәтижелердің қажетті дәлдігін қамтамасыз ете отырып, нақты тау-кен геологиялық жағдайлары үшін ұтымды есептеу схемасын таңдау, көбінесе үлкен әдістемелік қиындықтармен байланысты болады. Бұл, жобаланатын және игерілетін кен орындарының табиғи жағдайларының алуан түрлілігімен, сондай-ақ беткейлердің тұрақтылығын есептеудің көптеген есептеу схемалары мен әдістерімен түсіндіріледі (Zairov Sh Sh, Nomdorov RU, Ashuraliev U.T., 2022).

Қазіргі уақытта мұндай әдістер жүз елуден асады (Zou P., Zhao X., Meng Z., Li A., et

al., 2019). Тау жыныстарының кернеулі-деформацияланған күйін заманауи зерттеулерде беткейлердің тұрақтылығын есептеу үшін сызықтық-деформацияланатын (Ignatiev, Sergey A.; Sudarikov, Aleksandr E., et al., 2021) және шекті кернеулі ортаның (Ипалаков Т.Т., Апшикур Б., Капасов А.К., 2019) есептеу модельдерінің екі тобы қолданылады. Бірінші жағдайда, тау жыныстарының деформациясы мен ондағы кернеулер арасындағы байланыс сызықтық заңдылықпен өрнектеледі. Бұл жағдайда есептеу кезінде суперпозиция әдісін қолдануға мүмкіндік беретін, күштердің тәуелсіздігі принципі қолданылады.

Осы принципті қолдана отырып, ең толық есептелген модель (Беляев Е.Н., А Бурднов.Е., Мурзин Н.В., 2023) жұмыста ұсынылған. Талдау нәтижесінде (Huang, Wengui., 2023) ұсынылған әдіс, қажетті дәлдікті қамтамасыз етпейтінін көрсетеді (көлбеудің шекті биіктігін 3,5 есеге дейін көтеру). Зерттеулерде қолданылатын тағы бір әдіс – элементтердің соңғы беріктігін анықтау әдісі, алынған моделде есептеуді жеткілікті сенімді етпейтін және практикалық есептеулерде белгілі шектеулермен, бірқатар кемшіліктерге ие.

Тау кен массивтері сызықты емес, серпімді орта болып саналмайды. Келесі зерттеу материалына (Markov, A; Khasanov, A.R.; Kazakov, A.N.; Khaqberdiyev, et al., 2022) сәйкес, тау массивтерінің тұрақтылығын бағалау үшін, элементтердің соңғы беріктігін анықтау әдісін пайдалану, шекті күй әдістерімен салыстырғанда, соншалықты дәл мәліметтер бере алмайды.

Кеніштердің құлама беткейлерінің кернеулі-деформациялық жағдайын және тұрақтылығын бағалау үшін, сызықты-деформацияланатын күй модельдерін қолданып есептеу әдістері 5 класқа бөлінеді (А, Б, В, Г, Д). Мұнда әдістер класын бөлудің негізгі жіктеу белгісі, құлама беткейлерінің параметрлерін анықтау принципі болып табылады (Пономарев А.Б., Богомоллова О.А., Богомоллов А.Н., 2022).

Массивтің шекті кернеу теориясына негізделген есептеу әдістері. Бұл топ үшін А класының әдістері, массивтердің шекті кернеуінің кейбір аймақтардың әрбір нүктелерінде байқалатындай сусымалы ортаның математикалық кескінделуіне негізделген (В.В. Соколовский, 1960. – 243 б). Іс жүзінде Б тобының әдістері, шектеулі қолданыста деуге болады, өйткені олардың негізінде жатқан шекаралық жағдайлар, жоғарғы бөлігінде тік қабырғасы бар көлбеудің ойыс формасын белгілейді, бұл әрдайым ауданның литологиясына сәйкес келмейді.

А класының әдістерін қолдану аясын кеңейту үшін, дөңес пішіндегі беткейлерді есептеу әдістемесі ұсынылған (С.С. Галушкевичтің дифференциалдық тепе-теңдік теңдеулерін шешудің графикалық әдісі) (Горшков Н.И., Краснов М.А., Жданова С.М., 2021).

Тұрақтылықты есептеудің В классы әдістері. Әдістердің негізінде белгілі бір аймақты қанағаттандыратын шекті тепе-теңдік шарты орындалады. Бұл жағдайда, массивтен ең әлсіз беттің орнын тауып, осы аймақпен шектелген дененің тепе-теңдік жағдайларын анықтау қажет (Калюжный А.С., 2021).

Аталған класс әдістері жобалау тәжірибесінде кеңінен ұсынылған. Сонымен қатар, жобалық схемалар – тегіс, дөңгелек-цилиндрлік, спиральды, қисық сызықты және сырғанау бетінің басқа формаларына арналған.

Сырғанау бетінің күрделі қисық пішіні. Есептеу әдістері, әлсіреген сырғанау беттерінің қисық сызығын есепке алуға негізделген әдістер тобына жатады (Wang, S., Ahmed, Z. & Wang, P., 2021). Осы топтың есептеу әдістері арасында ең танымал Г.А. Фисенко әдісі болды (Фисенко Г.А., 1966, 378 б.). Кемшілігі – құлау призмасының енін анықтау тәсілінің болмауы, бұл Г.А. Фисенко әдісін қолданған кезде есептеудің және алынған нәтижелердің екіұшты шешімін келтіріп шығарады.

Г класы бойынша есептеу әдістері. Аталған класс әдістердің екі тобын біріктіреді:

а) ВНИМИ әдістері (Тау-кен геомеханикасы және маркшейдер істер ғылыми-зерттеу институты – салааралық ғылыми орталығы);

б) Табиғи әлсіреген беттердің әртүрлі жағдайлары үшін, беткейлердің тұрақтылығының кеңістіктік есептерін шешу әдістері.

Кіші тобы әдістеріне Г.А. Фисенко, Н.Н. Куваев, Э.Л. Галустьян әзірлеген әдістер, КарПТИ (Қарағанды Мемлекеттік Техникалық Университеті) әдістері (И.И. Потапов, Р.П. Окатов), Гилропроект (Э.Г. Газиев, Э.А. Фрейберг), Л.В. Савков, В.Н. Попов және т.б. екінші кіші топқа Голдштейн М.Н. (1917 ж.), Маслов Н.Н. (1982 ж.), Тейлор Д.В. (1937 ж.), Тер-Архелян У.А. (1962 ж.) және т.б. әдістер жатады. Жеке топқа П.Н. Панюковтың күрделі сырғанау беті бар массивтің тұрақтылығын бағалаудағы кеңістіктік есептер туралы әдісін жатқызуға болады.

Жоғарыда аталған Г класының әдістерінің ерекшелігі – тау жыныстарының күрделі және жарылған орталарында тұрақтылық есептерін шешуге қабілеттілігі.

Беткейлердің тұрақтылығын бағалаудың ықтималдық әдістері (Д класы). Бұған еңіс аймағындағы массивтің құлау ықтималдығы статистикалық бағалаумен анықталатын әдістер кіреді (Kumar V., Himanshu N., Burman A., 2019).

Бұл класстағы әдістер, екі кіші топқа бөлінеді. Біріншісі тұрақтылықты бағалауда, тау жыныстары массивінің тұрақтылығына әсер ететін факторлар жиынтығының статистикалық бағалауы негізінде жүргізілетін әдістерді біріктіреді (Певснер М.Е., 1978, 255 б.). Екінші топқа сенімділік теориясы негізінде беткейлердің тұрақты параметрлері қалыптасатын әдістер кіреді (Serafimovski, Todor & Tasev, Goran et al., 2022).

Еңістердің тұрақтылығын анықтауда, ықтималдық әдістері әлі де кең таралмаған. Бірақ олар карьер беткейлерінің тұрақты параметрлерін сенімді негіздеу үшін үлкен келешегімен сипатталады.

Күрделі құрылымды полиметалл кен орындарын ашық әдіспен игеру кезінде, баланстық қорлардың көлемінен басқа, анықтаушы факторлар кен орнының тау-кен-геологиялық жағдайлары, тау жыныстары мен кендердің физикалық-механикалық қасиеттерінің пландағы және карьердің тереңдеуіне қарай өзгеруінің аймақтылығы, тау-кен массивінің құрылымдық-текстуралық ерекшеліктері болып табылады (Мельник В.В., 2021).

Аталғандардың соңғыларын карьер беткейлерінің тұрақтылығы мәселесін шешу кезінде ескеру қажет етіледі. Сонымен қатар, текстуралық-құрылымдық ерекшеліктер, жүйелер мен даму параметрлеріне айтарлықтай әсер етеді, өйткені көп бағытты тектоникалық кернеулердің беткейлерге әсері, айтарлықтай көлемдегі тау жыныстары массивінің жылжуына әкелуі мүмкін. Мұны кенішті игерудің көлікті және көліксіз жүйелерінде де ескеру қажет.

Кенішті игеру жүйесін таңдауды анықтайтын тау массивінің құрылымдық-тектоникалық ерекшеліктерінің элементтері-әлсіреу беттерінің кеңістіктік бағдары, олардың қарқындылығы, таралу формасы және әлсіреу беттерінің сипаты болып табылады.

Жоғарыда келтірілген анықтамалардың мәнін қысқаша талдаудан, карьерді бірнеше аспектілерде қарастыру қажет екендігі байқалады, яғни: геометриялық, технологиялық, техникалық және экономикалық (Mahmudov, D.R.; Kadirov, V.R.; Karimov, SH.V. et al., 2020).

Геометриялық мағынада карьер – бұл ашық тау-кен жұмыстарымен кен орнын игеру динамикасында жер бетінің үстінде немесе астында қалыптасатын көлемді дененің қимасы.

Технологиялық тұрғыдан бұл – жоғары өнімді технологиялық жабдықтар кешенін қолдана отырып, кеңістікте әртүрлі бағытта бағытталған пайдалы қазбалардың кен орындарын ең үнемді және қауіпсіз – ашық тәсілмен ашық өндіруге қызмет ететін тау-кен өндірісі.

Техникалық тұрғыдан алғанда, карьер – бұл тау-кен массасын дайындау, өндіру, тасымалдау бойынша технологиялық операцияларды функционалды түрде байланыс-

тыратын, жабдықты орналастыруға арналған жер бетінің үстінде немесе астында ашық типтегі тау-кен өндірісі. Қорыта айтқанда, карьер экономикалық объект ретінде минералды шикізаттың белгілі бір түрінің қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін, адамның экономикалық қызмет саласы болып табылады.

Жүйелік көзқарас тұрғысынан карьерді уақыт өте келе жартылай кеңістікте қарқынды дамып келе жатқан күрделі табиғи-технологиялық жүйе ретінде қарастырған жөн, өйткені кен орнының қорлары сыртқы ортаның жоғары өзгергіштігі жағдайында ашық тау-кен жұмыстарымен алынады. Мұндай жүйенің жұмыс істеу тиімділігі, оның барлық элементтерінің бағыты мен бірлік уақыттағы өзара әрекеттесуімен анықталады. Көпфункционалды технологиялық жүйе ретіндегі карьердің негізгі құрылымдық элементі – оның кертпелі сатысы (берма). Тау-кен жұмыстарының дамуы мен режиміне сәйкес, кен қорларын бағалауға, дайындауға және алуға байланысты тау-кен өндірісінің барлық технологиялық процестеріне саты шегінде практикалық шешім қабылданады (Nizametdinov, F.K. and Ozhigin, S.G. and Nizametdinov, N.F. and Oralbay, A.O., 2021).

Бұл игеру жүйесінің параметрлері мен кен денесінің жатыс элементтерінің байланыстары өзгерген жағдайда, жүктемелерді ең көп қабылдайтын кен сатысын қазынды бірлігі ретінде қабылдау қажеттілігін анықтайды (Ипалаков Т.Т., Апшикур Б., Капасов А.К., 2019).

Нәтижелері және оларды талқылау. Карьер борттары мен сатысының беткейлерінің деформациясы, көптеген факторлардың әсерінен тау жыныстарының қирауының механикалық процесі болып табылады.

Қазіргі уақытта карьер құламасы мен табиғи беткейлерді зерттеу, белгілі бір белгілерге сәйкес жүзеге асырылады – тау жыныстарының бұзылу сипаты мен жылдамдығы, процестің жүру тереңдігі, сырғанау бетінің пішіні. Бұл жағдайда көшкін құбылыстары мен деформациялық процестердің пайда болуына ықпал ететін жағдайларды зерттеуге баса назар аударылады. Бұл шарттар бірнеше топқа бөлінеді.

Аталғандардың негізгілері-тау-кен-геологиялық, гидрогеологиялық, климаттық және тау-кен-технологиялық болып табылады. Бұл жағдайлардың деформациялық процестердің пайда болуы мен жүруіне әсері келесідей (Пономарев А.Б., Богомоллова О.А., Богомоллов А.Н., 2022):

– учаскенің геологиялық құрылымы мен геотектоникасы, жыныстардағы деформациялық құбылыстардың пайда болуы мен олардың жүру жылдамдығына жалпы бейімділігін анықтайды (тау жыныстарының топтары, жарықшақ тектоникасының болуы, жарықтардың негізгі жүйелерінің бағыты мен ұзындығы және т.б.);

– массивтің сулы қабаты, деформациялық құбылыстардың қарқындылығы мен тереңдігіне ықпал етеді;

– климаттық жағдайлар, массивтің жер бетіне жақын бөліктеріндегі тау жыныстарының қирау процесінің басталуын анықтайды (орташа температура режимі, жауын-шашынның мөлшері мен сипаты және т.б.);

– тау-кен-технологиялық (бұрғылау-жару жұмыстарының ауқымы мен қарқындылығы, кен орнын игеру жүйесі, карьерлердің тереңдігі, борттардың еңістері мен саты еңістерінің еңіс бұрышы) массивтің жай-күйіне неғұрлым терең өзгерістер енгізетін және сайып келгенде ашық тау-кен жұмыстары аймағында деформациялық процестердің пайда болуын алдын ала айқындайтын негіз болып табылады.

Біз кен орны шегіндегі геологиялық факторлардың өзгергіштігін ескере отырып, карьердің жұмыс аймағының тау-кен технологиялық параметрлерін оңтайландырудың теориялық аспектілері мен әдістемелік әдістерін қарастырдық.

Бірақ технологиялық шешімдер, егер технологиялық тәртіп бұзылса және кен орнын игеру әртүрлі себептермен туындаған жобадан басқа параметрлер бойынша жүргізілсе, карьер борттарының тұрақтылығы шарттары бойынша жүзеге асырылмауы мүмкін. Түсті

металл кендерінің полиметалл кен орындарын игеру тәжірибесі, карьердің борттық массивінің тұрақтылығын жоғалтудан туындаған асқынуларға байланысты өндірістің бүкіл циклі бұзылған кезде, көбінесе ауыр зардаптармен көптеген мысалдарды келтіреді (Wang, S., Ahmed, Z. & Wang, P., 2021).

Зерттеу міндеті, көп сортты кендерді өндіру технологиясын геомеханикалық қамтамасыз ету, карьердің бортының беткейіне ұтымды және тұрақты бейін беру негізінен тұрады.

Карьер борты бейінінің конструкциясына байланысты өндірілетін кеннің, аршылған жыныстардың жылдық көлемі, аршудың ағымдағы коэффициенті, тауар массасының шығындарының сандық және сапалық көрсеткіштері өзгереді. Борт бейінін (профилін) таңдаудағы қателіктер деформацияға және беткейлердің бұрыштарын түзету жұмыстарын келтіріп шығарады. Бұл барыста аршу жұмыстарының көлемі артып кетеді.

Рационалды бейінді орнату және карьер бортының тұрақтылығын қамтамасыз ету, формула (1) арқылы шешілетін қарапайым оңтайландырылған есептеу болып табылады:

$$Z_t^{BP} = (1 + E_H)^{T-t} \cdot \sum_{jk} [(C_{jk}^V + C_{jk}^{TP} + C_{jk}^{OO}) \cdot V_{jk}^B] \rightarrow \min \quad (1)$$

келесі шарт барысында:

$$V_{jk}^B = Q_{ijk} \cdot n_j \rightarrow \min \quad (2)$$

$$V_{jk}^{TP} = n_j \cdot \sum_{ijk} Q_{ijk} \cdot l_{ijk}^p + \sum_{jk} V_{jk}^B \cdot l_{jk}^B \quad (3)$$

$$n_{cp} \rightarrow \min \{ \sum_{jk} V_{jk}^B / \sum_{ljk} Q_{ljk}^O \} \quad (4)$$

мұндағы: Z_t^{BP} – t -шы жылдағы аршу жұмыстарын жүргізуге арналған жиынтық шығындардың тг;

$C_{jk}^V, C_{jk}^{TP}, C_{jk}^{OO}$ – сәйкесінше j -горизонттың k -ші кенжарынан алынатын 1 м^3 аршылған жыныстарды қазу, тасымалдау және оларды үйіндіге шығару құны, тг.;

V_{jk}^B – j -ші горизонттың аршылған жыныстарының көлемі, мың/ м^3 ;

Q_{ijk} – j -горизонттың k -ші кенжарынан i -ші кен массасының мөлшері, т;

n_j – қабаттың аршу коэффициенті, $\text{м}^3/\text{т}$;

l_{ijk} – k -ші кенжардан кен қоймасына дейінгі арақашықтық, км;

l_{jk} – j -ші горизонттың k -ші кенжарынан тау жынысы үйіндісіне дейінгі арақашықтық, км;

n_{cp} – өңдеу басталғаннан бастап орташа аршу коэффициенті, $\text{м}^3/\text{т}$;

E_H – күрделі салымдар тиімділігінің нормативтік коэффициенті, $E_H = 0,12$;

T – карьердің жалпы бар болу уақыты, жыл;

T – карьердің пайда болғаннан бастап жұмыс жасау кезіндегі уақыт.

Есептеулер Николаевский мен Жәйрем карьерлерінің жағдайлары үшін келесідей шешілді:

1:4000 масштабтағы көлденең геологиялық планда дөңес-ойыс, жазық және басқа сатылы профильдерді қалпына келтіріп, оларды негізге және кейбір $H - hj$ -ге көлбеу бұрыштарын қою арқылы тұрақты тепе-теңдік жағдайына қоямыз да, Токмурзин Т.Т., Лисьев В.П., Ипалаков Т.Т. авторлар келтірген модельдеу әдісімен, сазды беткейдің құлау ықтималдығын бағалау, жұмыс аймағының геометриясын және көп сортты кендерді өндіру кезінде карьердің қалыпты жұмыс жағдайларын қамтамасыз ететін жұмыс жиектерін орналастыру мүмкіндігін ескере отырып, олардың әрқайсысы үшін ықтимал сырғанау беттерін есептейміз. Профиль формасының борттың тұрақтылығына әсері (Kadirov, Vokhid & Karimov, Sherzod, et al., 2021) ескеріледі.

Екі сынық сызығы бар жалпақ дөңес профильдің биіктігі, үш тең бөлікке бөлінеді.

Сатының көлбеу бұрыштары табанында – $45 + \rho/2$, ортаңғы бөлігінде – жазық беткейдің көлбеу бұрышы (ρ – тау жыныстарының ішкі үйкеліс бұрышы) тең қабылданады.

Бір сатылы еңістің биіктігі екі тең бөлікке бөлінеді. Бөліктердегі саты жиектерінің көлбеу бұрыштары бір-біріне $\alpha = \alpha_l = 45^\circ$ (1-сурет) және 38° (2-сурет) тең қабылданады. Бір сатылы профильдің қауіпсіздік бермасының ені формула (5) бойынша анықталады:

$$r = H_n \cdot t \cdot m/n \tag{5}$$

мұндағы: H_n – жұмысшы аймағының биіктігі, м;

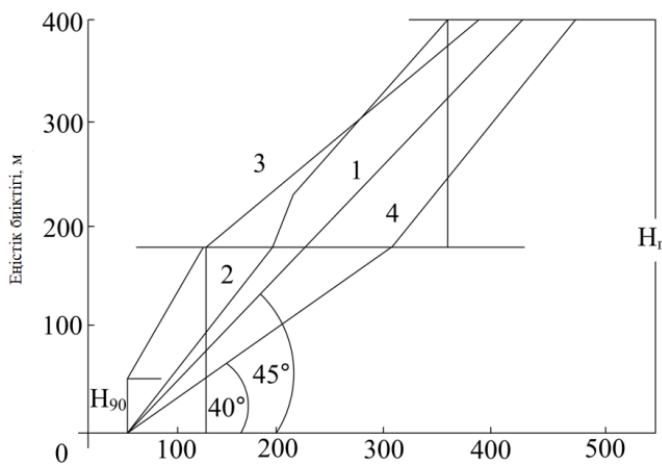
T – коэффициент; $t = r / \Delta$; $\Delta = h \cdot m$;

H – негіз кезіндегі α бұрышымен еңіс бөлігінің (учаскесінің) биіктігі;

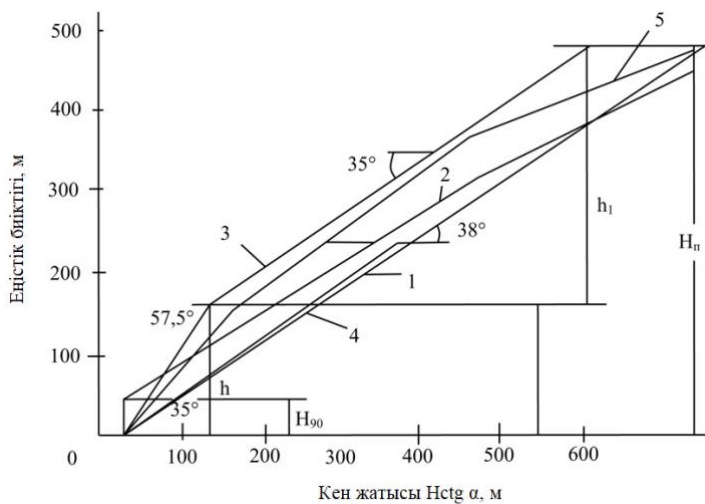
M – ықтимал құлау призмасының ені.

$$m = \sqrt{ctg\alpha \cdot ctg0,5(\alpha + \rho)} - ctg\alpha \tag{6}$$

мұндағы: n – тұрақты бейіні бар еңіс учаскелерінің саны.



1-сурет. Карьер терендігі 360 м болған кездегі борт беткейінің профилін оңтайландыру схемасы
Ескерту – автормен құрастырылған



2-сурет. Карьердің терендігі 480 м болған жағдайда борт беткейінің профилін

оңтайландыру схемасы

Ескерту – автормен құрастырылған

ψ көлбеу бұрышымен ең әлсіреген аймақ бойынша өтетін тегіс сырғанау беті бар сатылы профильдің шекті биіктігін нақтыланған формула (7) бойынша анықтайды (Mahmudov, D.R.; Kadirov, V.R.; Karimov, SH.V. et al., 2020):

$$H_n = H_{90} / [1 - (1 - ctg\alpha_{\exists} \cdot tg\psi) \cdot \lambda_c]^{-1} \quad (7)$$

мұндағы: H_n – сынық профильдің біртекті ортасындағы еңістің шекті биіктігі, м;

H_{90} – вертикаль бөліну жарықшағының тереңдігі, м;

$ctg\alpha_{\exists}$ – еңістің жаттық пішініне келтірілген сатылы профильдің эквивалентті көлбеу бұрышының котангенсі, град;

λ_c – еңістің формасын ескеретін коэффициент:

$$\lambda_c = 1 - (ctg\alpha_{\exists} - ctg\alpha) \cdot (ctg\psi - ctg\alpha)^{-1} \quad (8)$$

$$ctg\alpha_{\exists} = ctg\alpha + (1 - n^{-2}) \cdot (ctg\alpha - ctg\alpha_1) \quad (9)$$

мұндағы: ψ – массивтің ең әлсіреген аймағындағы төмендетілген сырғанау бетінің потенциалды жазықтығының көлбеу бұрышы (Пономарев А.Б., Богомоллова О.А., Богомоллов А.Н., 2022):

$$\psi = (\alpha_{\exists} + \rho)^{-2} + (\alpha - \alpha_{\exists}) / 1,5n \quad (10)$$

Карьер беткейлерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету бойынша ұсынылған шешімдерді эксперименттік нәтижелермен салыстыру барысында бірнеше маңызды аспектілер анықталды. Зерттеу барысында карьер беткейлерінің геомеханикалық тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталған теориялық және аналитикалық әдістер негізінде алынған параметрлер тәжірибелік деректермен салыстырылды. Сонымен қатар, карьер беткейлеріндегі көшкіндердің алдын алу үшін ұсынылған көлбеу параметрлерін есептеудің жетілдірілген әдістемесі, тәжірибелік деректерге негізделген салыстыру арқылы дұрыстығын дәлелдеді. Динамикалық жүктемелер, гидростатикалық және гидродинамикалық күштердің әсері, сондай-ақ жаппай жарылыстар нәтижесінде пайда болатын кернеулерді бағалау тәжірибеде ұсынылған бейіннің тұрақтылығын растап, оның артықшылықтарын көрсетті.

Қорытынды. Геометриялық құрылымдар мен профильдің тұрақтылығын есептеу барысында $CM = 350 \text{ кн/м}^2$, ішкі үйкеліс бұрышы $\rho = 25^\circ$, жыныстар массивінің тығыздығы $\gamma_n = 25 \text{ кн/м}^2$, тау жыныстарының беріктік сипаттамаларына $k_u = 1,3$ тұрақтылық коэффициенті енгізілді.

Есептік талдау нәтижесі көрсеткендей, неғұрлым ұтымды бейін (пор минимум, Z_t^{BP} минимум, V_{jk}^B минимум) бір сынықты және H_{90} табанымен (H_{90} – Т массиві үзілген кездегі вертикаль жарықшақтың пайда болу тереңдігі), жазық-дөңесті бейін болып табылады. Бірақ табанында H_{90} бар профиль, техникалық жағынан қолайсыз, сондықтан көлбеу табанынан төмен жатқан қорлардың алынуын қамтамасыз ету мүмкін болмайды.

Осыдан, карьердің жұмыс аймағының бүйірлік беткейінің тегіс дөңес бейіні (профилі), тұрақтылықты қамтамасыз етумен қатар, адамдар мен технологиялық жабдықтардың қауіпсіз жұмыс жағдайларын қамтамасыз етеді және тегіс профильмен салыстырғанда аршу жұмыстарының көлемін азайту $25,3$ мың м^3 қа дейін азайтуға болатын ең үнемді болып табылады.

Тау жыныстары массивінің тұрақтылығына және кәсіпорын қызметінің экономикалық көрсеткіштеріне, еңіс геометриясының кешенді әсерін зерттеу негізінде, көп сортты кендерді өндіру барысында режимді жоспарлау үшін, тау-кен жұмыстары мен жұмыс

аймағының параметрлерін басқаруға мүмкіндік беретін карьер борты еңісінің ұтымды конструкциясы теориялық тұрғыдан негізделді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Ғылыми мақаланы жазу процесінде генеративті ЖИ және оның көмегімен технологияны қолдану туралы хабарлама. Мақаланы жазу барысында ЖИ (жасанды интеллект) немесе басқа да нейрожүйелер қолданылған жоқ.

Әдебиеттер тізімі

- Huang, Wengui. (2023). Stability of Homogeneous Slopes: From Chart to Closed-Form Solutions and from Deterministic to Probabilistic Analysis. *International Journal of Geomechanics*. 23. 04023136. <https://doi.org/10.1061/IJGNAL.GMENG-8258>.
- Ignatiev, Sergey A.; Sudarikov, Aleksandr E., et al. (2021). "Determination of the stress-strain state of rock mass and zone of inelastic deformation around underground mine excavation using modern methods of numerical modelling" – *Journal of Sustainable Mining*: Vol. 20: Iss. 3, Article 7. Available at: <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1324>
- Kadirov, Vokhid & Karimov, Sherzod, et al. (2021). Study on the influence of the deformation zones of the quarry sides on the rock mass movement. *E3S Web of Conferences*. 304. 02002. 10.1051/e3sconf/202130402002.
- Kalyuzhny A.S. (2023). Impact of static loading from mining equipment on the bench stability in hard rocks. *Russian Mining Industry*.(3):116–121. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-116-121>
- Kumar V., Himanshu N., Burman A. (2019). Rock slope analysis with nonlinear Hoek–Brown criterion incorporating equivalent Mohr–Coulomb parameters // *Geotechnical and Geological Engineering*. Vol. 37, no. 6, pp.
- Mahmudov, D.R.; Kadirov, V.R.; Karimov, SH.V. et al. (2020). "Research of the Influence of Technological Factors on the State of the Sides of Deep Quarries,"// *Technical Science and Innovation*: Vol: Iss. 3, Article 15. <https://doi.org/10.51346/tstu-01.20.3-77-0079>
- Markov, A; Khasanov, A R.; Kazakov, A N.; Khaqberdiyev, et al. (2022). "Evaluation of the stress-strain state of the kochbulak and kyzylalma deposits with tectonic stresses included with the finite element method," *Technical science and innovation*: Vol. 2022: Iss. 3, Article 5. <https://doi.org/10.51346/tstu-01.22.3-77-01882>
- Nizametdinov, F. K. and Ozhigin, S. G. and Nizametdinov, N. F. and Oralbay, A. O. (2021). Monitoring of the Benches and Sides Stability of the Quarries. *Energy- and Resource-Saving Technologies of Developing the Raw-Material Base of Mining Regions*. pp. 46-65. DOI:10.31713/m10053
- Rakhmangulov, A.; Burmistrov, K.; Osintsev, N. (2022). Selection of Open-Pit Mining and Technical System's Sustainable Development Strategies Based on MCDM. *Sustainability*, 14, 8003. <https://doi.org/10.3390/su14138003>
- Serafimovski, Todor & Tasev, Goran et al. (2022). General features of some polymetallic ore deposits in the Republic of North Macedonia. *Geologia Croatica*. 75. 349-364. <https://doi.org/10.4154/gc.2022.27>.
- Wang, S., Ahmed, Z. & Wang, P. (2021). Study of critical failure surface influencing factors for loose rock slope. *SN Appl. Sci*. 3, 65 <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04108-9>
- Zairov Sh Sh, Nomdorov RU, Ashuraliev U.T. (2022). Increasing the Stability of the Sides of the Quarry by Forming a Concave Profile of the Slope of a High Ledge. *Insights Min Sci technol*; 3(4):555617. <https://doi.org/10.19080/IMST.2022.03.555617>
- Zou P., Zhao X., Meng Z., Li A., et al. (2019). "A slope stability analysis for southern Wuchangping tin mine," *Journal of Vibroengineering*, Vol. 21. – № 4. – Pp. 998–1014. – Jun., <https://doi.org/10.21595/jve.2019.20381>
- Апшикур Б., Ипалаков Т.Т., Капасов А.К., Алимкулов М.М. и др. (2021). Оценка динамики изменения напряженно-деформированного состояния грунтов рабочей зоны земляного полотна при повышении осевой вагонной нагрузки. *Вестник «ВКГТУ»*. – №2. – С. 12-19 // Apshikur B., Ipalakov T.T., Kapasov A.K., Alimkulov M.M. i dr. (2021). Ocenka dinamiki izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gruntov rabochej zony zemlyanogo polotna pri povyshenii osevoj vagonnoj nagruzki. *Vestnik «VKGTU»*. - №2.- S. 12-19. https://doi.org/10.51885/1561-4212_2021_1_12
- Беляев Е.Н., АБурдонов.Е., Мурзин Н.В.(2023). Прогнозирование и оценка устойчивости бортов, уступов разрезов и откосов отвалов на каменноугольном месторождении с использованием

- программных комплексов Geostudio И Plaxis 3D // Известия ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 1. С. 138-154 // Belyaev E.N., ABurdonov.E., Murzin N.V.(2023). Prognozirovaniye i ocenka ustojchivosti bortov, ustupov razrezov i otkosov otvalov na kamennougol'nom mestorozhdenii s ispol'zovaniem programmnyh kompleksov Geostudio I Plaxis 3D // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. Vyp. 1. S. 138-154
- Горшков Н.И., Краснов М.А., Жданова С. М. (2021). Напряженно-деформированное состояние и устойчивость бортов карьера Унгличкан // «Известия вузов. Горный журнал». – № 6. – С. 42-55 // Gorshkov N. I., Krasnov M. A., Zhdanova S.M. (2021). Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie i ustojchivost' bortov kar'era Unglichikan // «Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal». – № 6. – S. 42-55.
- Мельник В. В. (2021). Геомеханический мониторинг геофизическими методами при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом // Проблемы недропользования. – №4. – С. 36-43 // Mel'nik V.V. (2021). Geomekhanicheskij monitoring geofizicheskimi metodami pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh otkrytym sposobom // Problemy nedropol'zovaniya. – № 4. – S. 36-43.
- Ипалаков Т.Т., Апшикур Б., Капасов А.К. (2019). Расчет напряженно-деформированного состояния земляного полотна многопутного участка, сооружаемого на слабых основаниях с армированием геосеткой // Вестник «ВКГТУ». – № 3. – С. 21-28 // Ипалаков Т.Т., Апшикур Б., Капасов А.К. (2019). Расчет напряженно-деформированного состояния земляного полотна многопутного участка, сооружаемого на слабых основаниях с армированием геосеткой // Вестник «ВКГТУ». – № 3. – С. 21-28
- Калюжный А.С. (2021). Анализ результатов оценки устойчивости борта карьера при плоском и объемном вариантах расчета// ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень.; (10):123-133 // Kalyuzhnyj A.S. (2021). Analiz rezul'tatov ocenki ustojchivosti borta kar'era pri ploskom i ob'emnom variantah rascheta // GIAB. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'.; (10):123-133 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_123
- Пономарев А.Б., Богомолова О.А., Богомолов А.Н.(2022). Расчет устойчивости откосов: учеб.-метод. пособие – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 128 с. // Ponomarev A.B., Bogomolova O.A., Bogomolov A.N. (2022). Raschet ustojchivosti otkosov: ucheb.-metod. posobie – Perm': Izd-vo Perm. nac. issled. politekhn. un-ta. – 128 s. Available at: https://www-researchgate.net/publication/362467860_Raschet_ustojcivosti_otkosov-A5/related

Information about authors

Apshikur Baitak – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070010, Ust Kamenogorsk, Serikbaeva str, 19, Professor of the School of Earth, tel.8(701)698-1788, e-mail: bapshikur@edu.ektu.kz

Ipalakov T.T. – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 19 Serikbayeva str., Ust-Kamenogorsk, 070010, Doctor of Technical Sciences, Professor of the School of Earth Sciences, tel. 87772324179, e-mail: TIpalakov@ektu.kz87772324179, e-mail: TIpalakov@ektu.kz

Alimkulov Murat Mametkulovich – Academy of Logistics and Transport, 50012, Almaty, Shevchenko Str 97, associate Professor of the Department of "Construction Engineering", тел. 87078987691. E-mail: m.alimkulov@alt.edu.kz

Kapasov Azamat Kaisarovich – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070010, Ust-Kamenogorsk, Serikbaeva Str 19, master of science, lecturer of the School of Earth, tel. +7(775)9374044, e-mail: azamat040594@mail.ru