

Код МРНТИ 52.13.15

Д.К. Таханов, \*А.Б. Жиенбаев, М.Ж. Балпанова, Р.А. Мусин

«Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

## МАССИВТІҢ ТАБИҒИ КЕРНЕУЛІ КҮЙІНДЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІҢ ТАРАЛУ АЯСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ӘДІСІ

**Аннотация.** Бұл мақалада техногендік әсер ету кезінде тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін бағалаудың қолданыстағы әдістерін жіктеу және талдау және тау жыныстары массивінің орнықтылығын бағалаудың қазіргі әдістерінің қолданылуының шекараларын анықтау жүргізілді. Тау жыныстарындағы геомеханикалық процестердің физикасын сипаттау үшін әртүрлі мықтылық критерийлері қолданылады. Критерийлердің бір бөлігі эмпирикалық, ал бір бөлігі аналитикалық жолмен шығарылды. Осылайша, қолданыстағы бұзылу критерийлерін толық жіктеу қажеттілігі туындайды. Тау жыныстарын бұзу критерийлерін салыстыру нәтижесінде олардың артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Сондай-ақ, мақалада профессор О.Сабденбекұлының ұсынған БАБО әдістемесінің артықшылықтары сипатталған, бұл әдісті геомеханика мәселелерін шешудегі заманауи тәсілдердің талаптары тұрғысынан жетілдіру ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** таужыныстар массиві, бұзу критерийлері, сырғу бет, мықтылық құжаты, кені алынған кеңістік, деформация, Мор теориясы, тепе-теңдік шартыры, сырғу.

### Method for estimating the propagation zone of physical processes in the natural stressed state of the array

**Abstract.** This article classifies and analyzes the existing methods for assessing the stress-strain state of a rock mass under man-made impacts, and defines the limits of applicability of modern methods for assessing the stability of a rock mass. To describe the physics of geomechanical processes in a rock mass, various strength criteria are used. Some of the criteria were derived empirically, and some – analytically. Thus, there is a need for a full-fledged classification of existing destruction criteria. As a result of comparing the criteria for the destruction of rocks, their advantages and disadvantages were revealed. The article also describes the advantages of the BABO technique proposed by Professor Sabdenbekovuly O. It is proposed to improve this method from the standpoint of the requirements of modern approaches in solving geomechanics problems.

**Key words:** rock mass, fracture criterion, sliding surface, strength passport, developed space, deformation, Mohr theory, natural equilibrium arch, displacement.

### Метод оценки зоны распространения физических процессов в естественном напряженном состоянии массива

**Аннотация.** В данной статье проведена классификация и анализ существующих методов оценки оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород при техногенном воздействии, и определение границ применимости современных методов оценки устойчивости массива горных пород. Для описания физики геомеханических процессов в массиве горных пород используют различные критерии прочности. Часть критериев была выведена эмпирическим, а часть – аналитическим путем. Таким образом, возникает необходимость полноценной классификации существующих критериев разрушения. В результате сравнения критериев разрушения горных пород были выявлены их достоинства и недостатки. Также в статье описаны преимущества методики БАБО, предложенной профессором Сабденбековулы О. Предлагается совершенствовать данный метод с позиции требований современных подходов в решении задач геомеханики.

**Ключевые слова:** массив горных пород, критерий разрушения, поверхность скольжения, паспорт прочности, выработанное пространство, деформация, теория Мора, свод естественного равновесия, сдвижение.

### Кіріспе

Геомеханикада таужыныстар сілемін континуалды орта ретінде қарастырудың дұрыс еместігімен байланысты объективті проблемалар бар екені белгілі. Осыған байланысты таужыныстардың беріктік және деформациялық қасиеттерін анықтауда, олардың кернеулі-деформацияланған күйін есептеуде іргелі проблемалар туындайтыны да заңды [1-3].

Нақтысында таукен массиві өте жарықшақтанған (блокталған) орта болып табылады. Егер бастапқы түрінде оны әлі де үздіксіз орта ретінде қарастыруға болатын болса, онда таукен қазбаларынан туындаған деформациялар мен жергілікті бұзылулардан кейін бұл постулат дұрыс болмайды. Іс жүзінде кез-келген механикалық процесс, таукен массивінің квазитұтас орта ретінде деформациялануымен, сондай-ақ дезинтеграцияланған тау жыныстардың бұзылуымен және жылжуымен бірге жүреді. Бұл кернеулі-деформацияланған күйді бағалау үшін үздіксіз орта механикасын қолдануды қиындатады, ал бұл дегеніміз бағалаудың дәлдігіне де күмән келтіруге себеп болады.

Таужыныстардың массивіндегі геомеханикалық процестердің физикасын сипаттау үшін әртүрлі беріктік критерийлері қолданылады [4, 5]. Критерийлердің бір бөлігі эмпирикалық, ал бір бөлігі аналитикалық жолмен алынады. Осылайша, қолданыстағы бұзылу (қирау) критерийлерін толық жіктеу қажеттілігі туындайды.

Кестеден қазіргі уақытта таужыныстардың беріктігін жедел түрде дұрыс бағалауға мүмкіндік беретін ең аз кіріс

мәліметті қажет ететін әмбебап өлшем жоқ деп қорытындылауға болады.

Көптеген мұқият жүргізілген эксперименттердің нәтижелерін қорытындылай келе [3] зерттеушілер мынадай қорытындыға келеді:

1. Сынақ кезінде таужыныстар үлгілері негізінен сырғу түрінде қирайды;

2. Сырғу беттерінің көлбеу бұрыштарының шамасы мен байланыс күшінің тәуелділігі бүйірлік кернеулердің өсуімен өзгереді;

3. Сыналатын үлгілерге жүктеменің өсуімен бірге Мордың шектік шеңберлерінің орам сызығының қисықтық радиусы да өседі;

4. Таужыныстардың барлық түрлерінің орам сызықтары қисық пішінді болып келеді.

### Зерттеу әдістері

Тау-кен жыныстары үшін қолайлы Мор беріктік теориясы кең қолданыс тапқан. Бұл теория күрделі ширыққан күйдегі дененің әр нүктесіндегі жанама және қалыпты кернеулер арасындағы байланыстарға негізделген.

Мор теориясы бойынша бұзылу, не жанама кернеу  $\tau$ , шамасы үлгіге әсер етуші қалыпты кернеудің шамасының өсуімен қатар, белгілі бір шегі  $\tau_0$  мәнінен асып кетсе, не  $\tau = 0$  болғанда қалыпты  $\sigma$  созу күштері шектен асып кетсе басталады.

Шекті қалыпты және жанама кернеулер арасындағы байланыс графикте парабола түрінде кескінделеді. Ол

Кесме 1

Таужыныстардың бұзылу (қирау) критерийлерін салыстыру

Table 1

Comparison of rock destruction criteria

Таблица 1

Сравнение критериев разрушения горных пород

Критерий	Артықшылықтары	Кемшіліктері	Жыл	Материал түрі
Мор-Кулон	Кіріс параметрлерінің аздығына байланысты пайдалану оңай	Аралық бас кернеуді ескермейді	1773	Құмтас
	Көрнекі графикалық интерпретациясы бар	Төмендетілген нәтиже береді Сырғу бағыты әрдайым тәжірибелік мәліметтермен сәйкес келе бермейді		
Фон Мизес	Аралық басты кернеуді есепке алу	Кеуектілік қысымды ескермейді	1913	Металл және серпімді материалдар
	Графикалық интерпретация бар			
Гриффит	Таужыныстың деформациясындағы микрожарықтардың рөлін есепке алу	Аралық бас кернеуді ескермейді	1921	Жарықшақтанған таужыныстар
	Таужыныстарды Мор Кулон өлшемімен салыстыруға болады	Үш осьтік қысым күйін бағалау үшін бір параметр жеткіліксіз		
Хоок-Браун	Бүтін және жарықшақтанған жыныстар үшін де қолайлы	Аралық бас кернеуді ескермейді	1980	Тұтас және жарықшақтанған жыныстар
	Шахта қабырғаларының орнықтылығын есептеу кезінде кеңінен қолданылады	Тік және көлденең ұнғымалар үшін айырмашылықты көрсетпейді		
Серрано-Эстер-Оллан [6]	Аралық бас кернеуді ескереді	Модель параметрлерінің физикалық мағынасын нақтылау үшін қосымша зерттеулер қажет	2007	Гранит Уэстерли, доломит Данхэм
	Критерий үш осьтік созылу және қысу жағдайлары үшін әртүрлі кернеу мәндерін береді			
Квасьневски, Такахашаи [7]	Үш өлшемді есептерді шешу үшін бұрын келтірілген критерийлердің жетілдірілген түрі	Барлық таужыныстарға қолдануға келмейді	2010	Розбарк құмтасы, Ширахама құмтасы

жыныстың әр түрі үшін, бір қатар беріктік параметрлерін анықтау нәтижелері бойынша созылады. Профессор Ө. Сабденбекұлы Кулон Мордың өлшемдеріне сүйене отырып, кернеулердің өсуіне байланысты таужыныстардың кернеулі-деформацияланған күйін бағалау үшін өшетін тербелістер теориясының қабылдану мүмкіндігін негіздеп, О.С. ВАВО әдісін жасады [3, 8].

Бұл әдіспен беріктік паспортының орам сызығы екі бөліктен тұрады: созылу кернеулері үшін – параболалық, ал қысым кернеулері үшін – өшетін тербеліс қисығы. Орам сызықтың қисығының теңдеулері:

$$\tau_n^{KC} = [p(\sigma_{ni} + \sigma_c)]^{1/2}, \quad (1)$$

– Г.Н. Кузнецовтың созылу кернеулері жағындағы мұнда  $p = (2 - 2\sqrt{n+1} + n)\sigma_c$ ,  $m/m^2$  – параболаның параметрі;

$\sigma_{ni}$  – созылу кернеуінің айнаымалы мәні және мына шекте өзгереді

$$\sigma_c \leq \sigma_{ni} \leq \sigma_n^{KC}, \quad (2)$$

мұнда  $\sigma_n^{KC} = \sqrt{(0,5(\sigma_{KC} - p))^2 - p\sigma_c} + 0,5(\sigma_{KC} - p)$  – бір осьті қысу кезіндегі нормаль кернеу,  $t/m^2$ ;

$\sigma_{KC}$  – тау жыныстарының бір осьті қысуға беріктігі,  $t/m^2$ ;

$\sigma_c$  – тау жыныстарының бір осьті созуға беріктігі,  $t/m^2$ ;

$$\tau_{ni} = \sigma_{KC} \{0,5 \cos \rho_{KC} + [1 - e^{0,5(1 - \sin \rho_{KC}) - (\sigma_{ni}/\sigma_{KC})}] \operatorname{tg} \rho_{KC}\}, \quad (3)$$

– қысу кернеулері жағындағы.

Мұнда  $\rho_{KC}$  – таужыныстың ішкі үйкеліс бұрышы, град. (3) теңдеуден  $\tau_{ni}$  ордината нүктелерінің абсциссаға тәуелділігін көруге болады, және ол  $\sigma_n^{KC} \leq \sigma_{ni} \leq \infty$  шегінде өзгере алады.

Шектік кернеулердің шеңберлерінің орам сызығының (1) және (3) теңдеулері М.М. Протодьяконовтың теңдеуіне ұқсас аналогы болып табылады және оның  $\tau_{ni} = \tau_n^{max} \leq \infty$ , болады деген тұжырымын растайды, ал таужыныстың ішкі үйкеліс бұрышы  $\rho_{KC} = 0$  тұрақты болады деген қорытындыға сәйкес келеді [9].

М.М. Протодьяконов теңдеуімен салыстырғанда, бұл әдісте, шығу тегі күмән тудыруы мүмкін әртүрлі эмпирликалық коэффициенттер жоқ. Ұсынылған әдісте тау жыныстарының беріктік шегінің көрсеткіштерінің шамасы олардың паспорттарынан анықталады.

Таужыныстардың беріктік паспортын үш бөлікке бөліп қарастырады:

*созылу кернеулерінің әсер ету аймағына жататын учаске; кесу (таза сырғу) кернеудің әсер ету аймағына жататын учаске;*

*қысу кернеулердің әсер ету аймағына жататын учаске.*

Аталған учаскелердің біріншісі тау жынысының созылу кернеулерінің әсеріне қарсы тұру қабілетін көрсетеді. Паспорттың осы аймағында  $\sigma_{ni} \leq -\sigma_c$ , мұндағы  $\sigma_{ni}$  – қойылатын (жүктелетін) кернеулер және  $\sigma_c$  – таужыныстың созылғау беріктігі.

Беріктік паспорттың екінші бөлігінде кернеулер  $0 \leq \sigma_{ni} \leq \sigma_n$  шегінде өзгереді, мұнда  $\sigma_n < \sigma_n^{KC}$ .

Паспорттың үшінші бөлігі  $\sigma_n^{KC} \leq \sigma_{ni} \leq \infty$  шегіндегі кернеулердің өзгеруіне сәйкес келеді.  $\sigma_{ni} = \sigma_n^{KC}$  кезінде таужыныстар бір осыгі кернеу жағдайында болып, кейін тереңдіктің артуымен олар жан-жақты қысымда болады.

Таужыныстардың механикалық қасиеттерінің көрсеткіштерінің бірі  $\rho$  – ішкі үйкеліс бұрышы таужыныстың кернеулі күйіне тәуелді. Беріктік паспорттың алғашқы екі бөлігінде  $\rho = \text{constant}$  болады да, ал үшінші бөлімде  $\rho_{KC} \geq \rho_i \geq 0$  шегінде өзгереді.

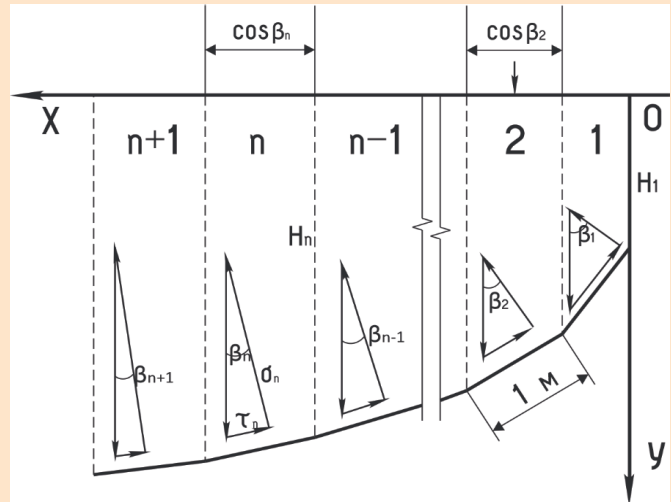
Жоғарыда аталған ерекшеліктерді ескере отырып, сырғу беттердің қисықтарының теңдеулері алынды [3]. Салынған беріктік паспорттан алынған ақпаратты талдау негізінде олардың физика-геометриялық қасиеттері мен «сырғу бет» ұғымының пайда болу табиғаты анықталады. Нәтижесінде таужыныстардың әр қабатындағы массивте тек өзіне ғана тән сырғу беттері мен олардың математикалық өрнектері бар екендігі анықталады.

Сонымен, көлбеу бұрыштары жоғарғыда  $\beta = 90^\circ$  болып және тереңдеген сайын  $\beta \rightarrow 0$  дейін өзгертін, сырғу беттерінің қисықтарын 0-1, 1-2, ..., (n-1) – n кесінділердің жиынтығы ретінде қабылдайды. Сырғу бетінің бір қисығын құрайтын кесіндінің ұзындығы «бірлік» алаңшалардың жиынтығы болып табылады. Бірлік алаңшалардың әрқайсысында ені  $\cos\beta_i$  болатын бағана бар және оның биіктігі сол бағанның табанының тереңдігіне тең (1-сурет).

Сонымен қатар,  $x(\beta)$  осі үздіксіз өседі, ал  $y(\beta)$  осі бойынша үзілісті өсіп келе жатқан сипатқа ие. Көрсетілген осьтік сызықтардың біріншісі-абсцисса осі, екіншісі – ординат осі. Нүктелердің ординаттары тек  $\beta_i$  функциялары болып табылады, егер олардың абсцисстері  $\beta_i$  бұрышын ескере отырып ординат осінің өсуімен анықталса, олардың белгілі шамаларын қабылдауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда келтірілген графикті физика-математикалық талдау негізінде дифференциалдық теңдеулерді құрастыра отырып, осы сырғу беттердің қисықтарының теңдеулері табылған:

$$\begin{aligned} x_{1i} &= 0,5(y_i - y_m) [(\cos\beta_i / \sin^2\beta_i) - \text{Intg}(\beta_i / 2)] \sin\beta_i; \\ x_{2i} &= (y_i - y_m) [\text{Intg}(\beta_i / 2)] \sin\beta_i; \\ x_{3i} &= 0,5(y_i - y_m) [(\cos\theta_i / \sin^2\theta_i) - \text{Intg}(\theta_i / 2)] \sin\theta_i; \\ y_i &= (\sigma_{ni} + \tau_n \text{tg}\theta_i) / \gamma, \end{aligned} \quad (4)$$



**Сурет 1. Бірлік алаңшалардағы таужыныс бағаналарының орналасу схемасы:**

*OX – жер беті; H – тереңдік (бағанның биіктігі); 1, 2, ..., n – бағаналардың реттік нөмірі.*

**Figure 1. The layout of the columns of rocks on single sites:**

*OX – the surface of the earth; H – depth (column height); 1, 2, ..., n – the ordinal number of columns.*

**Рис. 1. Схема расположения столбцов горных пород на единичных площадках:**

*OX – поверхность земли; H – глубина (высота столбца); 1, 2, ..., n – порядковый номер столбцов.*

мұнда  $x_1$  және  $x_2$  – сырғу беттердің қисықтарының абсциссалары;

$x_3$  – таужыныстың ішкі үйкеліс бұрышының өзгеруін сипаттайтын параметр, яғни екі сырғу беттің арасындағы бұрыш ( $\omega = 90^\circ + \rho$ );

$y_i$  – анықталатын нүктелердің ординаталары;

$\theta_i = 45^\circ + 0,5\rho_i$ ;

$\beta_i = \text{arctg}(\tau_n / \tau_{ni})$ ;

$y_m = \sigma_c / \gamma$  – массивтің тігінен ашылатын бөлігінің биіктігі;

$\gamma$  – таужыныстың көлемдік салмағы.

Сырғу бетінің қисық нүктелерінің координаталарын есептеу кезінде пайдаланылатын барлық шамалар таужыныстың беріктік паспорттан анықталады. Нүктелер координаталарының есептелген мәндеріне сәйкес тау-кен жұмыстарының графикалық құжатының масштабына сай келетін белгілі бір масштабта сырғу беттерінің қисықтары жасалады (2-сурет).

### **Нәтижелер және оларды талқылау**

Сонымен сырғу беттерінің қисықтығының өзгеру жылдамдығы таужыныстардың физика-механикалық қасиеттеріне байланысты (әлсіз жыныстар үшін процесс күшті жыныстарға қарағанда тезірек жүреді).

Сырғу беттердің 3 тобының қисық сызықтарын салу арқылы жер бетіне дейін жылжуды және деформация аймағының дамуын анықтауға болады. Бұл әдіс күрделі конфигурациясы бар және кенорындарындағы өлшемдері бір-біріне сәйкес келмейтін тау-кен қазбаларының орнықтылығын негіздеуде жақсы қолданысқа ие [10, 11].



Сурет. 2. Сырғу беттердің 3 тобының қисықтары.

Figure 2. Curves of 3 groups of sliding surfaces.

Рис. 2. Кривые 3-х групп поверхностей скольжения.

Сонымен қатар, профессор Ө.Сабденбекұлы ұсынған теория геомеханика мәселелерін шешудегі заманауи тәсілдердің талаптары тұрғысынан дамуды талап етеді. Атап айтқанда, осы уақытқа дейін сырғу сызықтарын қолдану тек жазық есептерде шешіліп келді, өйткені үш өлшемді өлшеуде сырғу сызықтарының қисықтарын құрудың математикалық аппараты болған жоқ. Сондай-ақ, тасжарықтарды есепке алғанда, тек әлсірететін фактор ретінде коэффициенттерді енгізу арқылы жүзеге асырылып келді.

Бұл ғылыми жобада осы теория бойынша әдісті дамыту үшін үшөлшемді (көлемдік) мәселеде орындау мақсатында есептерді шешудің жаңа алгоритмін жасау қажеттілігі туындайды. Тау-кен қазбаларының айналасындағы жарықшақты массивтегі деформация аймағының өзгеру заңдылықтарын тасжарықтар параметрлерінің сырғу беттердің қисықтығына әсерін ескере отырып зерттеу қажет. Созылу кернеуі аймағындағы (жер бетіне жақын) сырғу сызықтарының координаттарын (қисықтығы) анықтау толық зерттелмеген.

#### Қорытынды

Сырғу беттерінің қисықтарының теңдеулерін қолданып, кез-келген техногендік әсер ету кезінде жер қойнауындағы кез-келген учаскедегі таужыныстар массивінің кернеулі-деформацияланған күйін бағалауға мүмкіндік беретіні бұрыннан белгілі. Дегенмен жоғарыда аталған мәселелерді іргелі ғылым тұрғысынан қарастырса, геомеханика саласындағы өзекті бағыттардың бірі болары сөзсіз. Ал іргелі зерттеулерінің нәтижелері, табиғатты пайдаланудың тиімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етуде басты рөл атқаратын геомеханикалық процестер мен құбылыстарды тануды тереңдетіп, және Жер қойнауын игеруді геомеханикалық қамтамасыз етудің теориялық негіздерін жасайды.

#### Алғыс білдіру

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант №AP19677938). Жоба жетекшісі – Таханов Д.К.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Saeidi A., Deck O., Verdel T. Тау-кен жұмыстарының шөгуді аймақтарындағы тәуекелдерді талдау үшін ғимараттардың зақымдануын бағалау әдістерін салыстыру. // Инженерлік-геологиялық ізденістер. – 2013. – №31. – Б. 1073-1088 (ағылшын тілінде)
2. Соопер А.Н. Шөгуді мен көшкіндерден туындаған ғимараттардың зақымдануы туралы ақпаратты жіктеу, тіркеу, мәліметтер базасы және пайдалану. // Инженерлік геология және гидрогеологияның тоқсан сайынғы журналы. – 2008. – №41. – Б. 409 (ағылшын тілінде)
3. Сабденбекұлы Ө.С. Таужыныстардың сілеміндегі құрылыстар түзетін механика. // Қарағанды: №1 Инновациялық орталық. – 2006. – Б. 235 (қазақ тілінде)
4. Rahini R., Nygaard R. «Ұңғыманың тұрақтылығын талдауда сыну критерийлерін таңдаудың маңызы қандай», АҚШ-тың тау жыныстары механикасы. // Геомеханикасы бойынша 48-ші симпозиум, Миннеаполис, Миннесота, АҚШ. – 2014 (ағылшын тілінде)
5. Chang P., Xu G., & Huang, J. Динамикалық торға негізделген жерасты кенжарындағы DPM дисперсиясы мен таралуын сандық зерттеу. // Тау-кен ғылымы мен техникасының халықаралық журналы. – 2020. – №30. – Б. 471-475 (ағылшын тілінде)
6. Serrano J. Estaire, C. Olalla. «Хук-Браунның жойылу критерийін үш өлшемге дейін кеңейту», Халықаралық тау жыныстары механикасы қоғамының 11-ші конгресі, Лиссабон. – 2007 (ағылшын тілінде)
7. Kwasniewski M. and Takahashi M. «Деформацияға негізделген тау жыныстарын жою критерийлері». // Құрылыс және қоршаған ортаны қорғаудағы тау жыныстарының механикасы. – 2010. – Б. 45-56 (ағылшын тілінде)
8. Valranova M.Zh., Yessenbayeva G.A., Takhanov D.K. Шектеулі шиеленіс жағдайында бүйірлік қысым коэффициентін есептеу. // Қарағанды: Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ хабаршысы. – 2017. – №2. – Б. 14-19 (ағылшын тілінде)
9. Протодиаконев М.М. Мор кернеулерінің шекті шеңберлеріне конверттердің жалпыланған теңдеуі. // Тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін тау қысымымен қопару міндеттеріне қатысты зерттеу. – М.: КСРО ФА баспасы. – 1962. – Б. 27-38 (орыс тілінде).



10. Kozhagulov K.Ch., Takhanov D.K., Imashev A., Kozhas A.K., Balpanova M.Zh. Шахталардың үстіндегі жер бетінің шөгуді тікелей есептеу әдістері. // «Тау-кен ғылымдары журналы»: Ғылыми журнал, АҚШ. – 2020. – Т. 56. – Б. 184-195 (ағылшын тілінде)
11. Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nizametdinov R.F., Igemberlina M.B., Staňková, H. & Batyrshaeva Z.M. Жезқазған ауданындағы қайталама тау кен жұмыстарының әсерінен жер бетінің жылжуын талдау. // «Тау-кен ғылымдары журналы»: Ғылыми журнал, АҚШ. – 2021. – №57. – Б. 184-189 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Saeidi A., Deck O. & Verdel T. Comparison of Building Damage Assessment Methods for Risk Analysis in Mining Subsidence Regions. // *Geotech. Geol. Eng.* – 2013. – №31. – P. 1073-1088 (in English)
2. Cooper A.H. The classification, recording, databasing and use of information about building damage caused by subsidence and landslides. // *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology.* – 2008. №41. – P. 409 (in English)
3. Sabdenbekuly O.S. Mekhanika formirovaniya sooruzhenii v massive gornyykh porod [Mechanics of formation of structures in rock masse]. // Karaganda: Innovtsionnyi tsentr = Karaganda: Innovation Center. – №1. – 2006. – P. 235 (in Kazakh)
4. Rahini R., Nygaard R. «What Difference Does Selection of Failure Criteria Make in Wellbore Stability Analysis», 48th US Rock Mechanics. // *Geomechanics Symposium, Minneapolis, MN, USA, 2014 (in English)*
5. Chang P., Xu G. & Huang J. Numerical study of the dispersion and distribution of DPM in the face of an underground mine based on a dynamic mesh. // *International Journal of Mining Science and Technology.* – 2020. – №30. – P. 471-475 (in English)
6. Serrano A., Estaire J., Olalla C. «Extension of the Hoek-Brown failure criterion to three dimensions», 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 2007 (in English)
7. Kwasniewski M. and Takahashi M. «Strain-based failure criteria for rocks». // *Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering.* – 2010. – P. 45-56 (in English)
8. Balpanova M.Zh., Yessenbayeva G.A., Takhanov D.K. The calculation of the side pressure coefficient in conditions of the limited stress situation. // *Karaganda: Bulletin of E. A. Buketov Karsu.* – 2017. – №2. – P. 14-19 (in English)
9. Protodiakonov M.M. Obobshchennoe uravnenie ogibayushchikh k predel'nyim krugam napryazhenii Mora [Generalized equation of envelopes to limit circles of Mohr stresses]. // *Izucheniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornyykh porod v otnoshenii zadach vskrytiya gornym davleniem = Study of the physical and mechanical properties of rocks in relation to the problems of opening with rock pressure.* – M.: Izd-vo AN SSSR. – 1962. – P. 27-38 (in Russian)
10. Kozhagulov K.Ch., Takhanov D.K., Imashev A., Kozhas A.K., Balpanova M.Zh. Methods of Forward Calculation of Ground Subsidence above Mines. // *Journal of Mining Science: Scientific Journal, USA: Publishing House of the Pleiades Publishing.* – 2020. – Vol. 56. – P. 184-195 (in English)
11. Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nizametdinov R.F., Igemberlina M.B., Staňková, H. & Batyrshaeva Z.M. Analysis of Ground Surface Displacements under the Influence of Repeated Mining Activities in the Zhezkazgan Area. // *Journal of Mining Science.* – 2021. – №57. – P. 184-189 (in English language)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Saeidi A., Deck O., Verdel T. Сравнение методов оценки ущерба зданиям для анализа рисков в районах просадки горных работ. // *Инженерно-геологические изыскания.* – 2013. – №31. – С 1073-1088 (на английском языке)
2. Cooper A.H. Классификация, регистрация, базирование данных и использование информации о повреждении зданий, вызванных просадками и оползнями. // *Ежеквартальный журнал инженерной геологии и гидрогеологии.* – 2008. – №41. – С. 409 (на английском языке)
3. Сабденбекұлы О.С. Механика формирования сооружений в массиве горных пород. // *Караганда: Инновационный центр №1.* – 2006. – С. 235 (на казахском языке)
4. Rahini R., Nygaard R. «Какое значение имеет выбор критериев разрушения при анализе устойчивости ствола скважины». // 48-й симпозиум по механике горных пород. Геомеханика США, Миннеаполис, Миннесота, США. – 2014 (на английском языке)
5. Chang P., Xu G. & Huang J. Численное исследование дисперсии и распределения DPM в забое подземной разработки на основе динамической сетки. // *Международный журнал горной науки и техники.* – 2020. – №30. – С. 471-475 (на русском языке)
6. Serrano J. Estaire, C. Olalla. «Распространение критерия разрушения Хука-Брауна на три измерения». // 11-й конгресс Международного общества механики горных пород, Лиссабон. – 2007 (на английском языке)

7. *Kwasniewski M. and Takahashi M.* «Критерии разрушения горных пород на основе деформации». // *Механика горных пород в гражданском строительстве и охране окружающей среды.* – 2010. – С. 45-56 (на английском языке)
8. *Balpanova M.Zh., Yessenbayeva G.A., Takhanov D.K.* Расчет коэффициента бокового давления в условиях ограниченной напряженной ситуации. // *Вестник КарГУ им. Е.А. Букетова.* – 2017. – №2. – С. 14-19 (на английском языке).
9. *Протодьяконов М.М.* Обобщенное уравнение огибающих к предельным кругам напряжений Мора. // *Изучение физико-механических свойств горных пород в отношении задач вскрытия горным давлением.* – М.: Изд-во АН СССР. – 1962. – С. 27-38 (на русском языке)
10. *Kozhagulov K.Ch., Takhanov D.K., Imashev A., Kozhas A.K., Balpanova M.Zh.* Методы прямого расчета оседания грунта над шахтами. // «Журнал горных наук»: *Научный журнал, США.* – 2020. – Т. 56. – С. 184-195 (на английском языке)
11. *Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nizametdinov R.F., Igemberlina M.B., Staňková, H. & Baturshaeva Z.M.* Анализ смещений земной поверхности под влиянием повторных горных работ в районе Жезказгана. // «Журнал горных наук»: *Научный журнал, США.* – 2021. – №57. – С. 184-189 (на английском языке)

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Таханов Д.К.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Геология және пайда қазбалар орынын барлау» кафедрасының инженері (Қарағанды қ., Қазақстан), [takhanov80@mail.ru](mailto:takhanov80@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2360-9156>

**Жиенбаев А.Б.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан), [Zhienbaev@list.ru](mailto:Zhienbaev@list.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4347-8608>

**Балпанова М.Ж.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ механика кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [balpanova86@mail.ru](mailto:balpanova86@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1513-5317>

**Мусин Р.А.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [r.a.mussin@mail.ru](mailto:r.a.mussin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

#### Information about the authors:

**Takhanov D.K.**, engineer of the Department of «Geology and Exploration of mineral deposits» of the NAO «Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Zhienbayev A.B.**, doctoral student of the NAO «Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Balpanova M.Zh.**, Lecturer of the Department of Mechanics of the NAO «Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Musin R.A.**, Senior lecturer of the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

#### Сведения об авторах:

**Таханов Д.К.**, инженер кафедры «Геологии и разведки месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Жиенбаев А.Б.**, докторант НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Балпанова М.Ж.**, преподаватель кафедры механики НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Мусин Р.А.**, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)