

Код МРНТИ 52.13.05

*А.Б. Рымқұлова, Ш.Б. Зейтинова, Д.К. Жумадилова, А.Е. Касымжанова

КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

МАССИВТІҢ СУЛАНУЫНЫҢ АШЫҚ КЕНІШ ЖАҒДАУЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Андатпа. Жәйрем кен орны массивінің физика-механикалық қасиеттерін есептеу нәтижелері келтірілген, олар қабаттасатын қалыңдық, әлсіз жыныстар және қатты тау жыныстары топтарына бөлінеді. Slide бағдарламасында сол және оң жақтағы ашық кеніш жағдауының тұрақтылық есептеулері келтірілген. Модельдеу процесінде бұзылмаған массивтің қасиеттері кезең-кезеңімен табиғи және техногендік шығу тегінің сыртқы әсерлеріне ұшырайды. Нәтижесінде тау жыныстарының беріктік қасиеттері төмендейді. Бишоп пен Янбу әдістері бойынша құрғақ және суланған массивтегі ашық кеніш жағдауының тұрақтылық коэффициенттері анықталды.

Түйінді сөздер: геомеханика, геотехникалық талдау, деформация, жылжу аймақтары, ашық кен орындары, беткейлердің тұрақтылығын бағалау, тау сілемінің жылжуы, құлау, шекті тепе-теңдік әдісі, гидрогеология.

Modeling the effect of the waterlogging of the array on the stability indicators of the sides of the quarry

Abstract. The results of calculating the physical and mechanical properties of the Zhairam deposit massif, which are divided into groups of overlapping strata, weathered rocks and Rock formations, are given. Calculations of the stability of the left and right sides in the Slide program are presented. During the modeling process, the properties of an undisturbed massif are gradually exposed to external influences of natural and man-made origin. As a result, the strength properties of rocks decrease. The coefficients of stability of the sides of the quarry in dry and watered massif were determined using the Bishop and Yanbu methods.

Key words: geomechanics, geotechnical analysis, deformation, displacement zones, open deposits, slope stability assessment, mountain range displacement, collapse, limit equilibrium method, hydrogeology.

Моделирование влияния обводненности массива на показатели устойчивости бортов карьера

Аннотация. Даны результаты расчета физико-механических свойств массива Жайремского месторождения, которые распределены на группы перекрывающая толща, выветрелые породы и скальные породы. Представлены расчеты устойчивости левого и правого борта в программе Slide. В процессе моделирования свойства ненарушенного массива поэтапно подвергаются внешним воздействиям природного и техногенного происхождения. В результате снижаются прочностные свойства горных пород. Определены коэффициенты устойчивости бортов карьера в сухом и обводненном массиве по методам Бишоп и Янбу.

Ключевые слова: геомеханика, геотехнический анализ, деформация, зоны сдвижения, открытые месторождения, оценка устойчивости откосов, сдвижение горного массива, обрушение, метод предельного равновесия, гидрогеология.

Кіріспе

Ашық кеніш жағдауының тұрақтылығы инженерлік-геологиялық, гидрогеологиялық және технологиялық факторлардың кешенімен анықталады, олардың ішінде жағдаудың тұрақтылығына келесі заттар үлкен әсер етеді: тау жыныстарының беріктігі, қатпарлануы және жарықшақтығы, опырлуына бейімділігі, ісінуі және сырғуы, сондай-ақ тектоника және гидрологиялық жағдайлары [1].

Зерттеудің басты мақсаты гидрогеологиялық жағдайлардың Жәйрем кен орнының ашық кенішінің деформациялануына әсерін анықтау болды.

Жер асты суларының ашық кеніш жағдауының тұрақтылық жағдайына әсері әр түрлі жолдармен көрінеді. Су массив жыныстарының физика-механикалық қасиеттерін өзгерте отырып, тау жыныстарының ашық кенішінің құрамдас бөліктеріне салмақтық әсер етеді. Атап айтқанда, судың қысымы арқылы ығысу жазықтығындағы қалыпты кернеулер және жердегі ішкі үйкелісті толығымен алып тастауы мүмкін [2].

Шетелдік авторлардың еңбектерін талдау барысында Хунань провинциясында орналасқан Учанпин қалайы кенішінің мысалында шекті тепе-теңдік әдісі туралы ғалым Ping Zou-дың еңбектерін келтіруге болады. Автор өз зерттеулерінде ауырлық күшінің әсерінен кемер қиябетінің шекті тепе-теңдік дәстүрлі әдісімен құлап кетуін мүмкін екенін көрсетеді. Автор қол жетімді ығысу кедергісінің қажетті тепе-теңдікке қатынасы ретінде анықталған қауіпсіздік коэффициентін қамтамасыз ететін бірқатар зерттеулер жүргізді. Шекті тепе-теңдік әдісі ретінде Феллениус әдісі, жеңілдетілген Бишоп әдісі, жеңілдетілген Янбу әдісі және Спенсер әдісі қолданылды [3].

Зерттеу әдістері

Западный және Дальнезападный учаскелерінде геомеханикалық зерттеулер жүргізілді. Оның ішіне 24 ұңғыманы бұрғылау кірді, оның 5-і бағдарланған өзекпен жұмыс істеуде қиындықтардың туындауына байланысты қайта бұрғыланды [4]. Екі жалпыланған санатқа бөлінген массивтің қасиеттерін анықтау бойынша сынақтар кешені жүргізілді:

1. Бұрғылаудың жалпы көлемінің 32%-ын құрайтын қабаттасатын қалыңдық/топырақ және желдетілген жыныстар (Дальнезападный учаскесінде ұңғымаларды бұрғылау ашық кеніштің тарихи контурлары шегінде жүргізілгеніне қарамастан);

2. Негізінен тау жыныстарының екі түрі (эктас алевриттер мен эктастар) ұсынылған және бұрғылаудың жалпы көлемінің 53%-ін құрайды.

Сынамалардың шектеулі санына байланысты қабаттасатын қалыңдық пен желдетілген жыныстар бірлесіп талданды. Зертханалық зерттеулердің нәтижелері бұл тау жыныстарының қасиеттері өте ұқсас екенін көрсетті (1-кестені қараңыз), сондықтан орташа мәндер мен орташа квадраттық ауытқулардың шамалы алшақтығын ескере отырып, бұл тау жыныстарын олардың қасиеттеріне қарай аймақтарға бөлу қажеттілігі жоқ. Минералогиялық қатынастарды массивтің қасиеттерімен салыстырған кезде беріктік көрсеткіштерінде, жарықшақтық жиілігінде немесе жарықшақтардың арасындағы қашықтық пен жарықшақтық қасиеттерінде аз ғана ауытқулар байқалды. Бұл Запад-ный және Дальнезападный учаскелерінде геомеханикалық талдау шеңберінде біртекті массив ретінде модельдеуге болатынын және тау жыныстарын бөлуді қажеті етпейтінін көрсетті [4].

Кесте 1

Учаскелерді аймақтарға бөлу кезінде пайдаланылған зертханалық сынақтардың нәтижелері

Table 1

Results of laboratory tests used in the zoning of sites

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний, использованные при зонировании участков

| Тау жынысы | | Тығыздық, г/см ³ | Үзілуге кедергісі, МПа | Қысуға кедергісі, МПа | Ілінісу, МПа | Үйкеліс бұрышы, град. |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Әлсіз тау жыныстар | Қабаттасатын қалыңдық | 2,01 | | | | |
| | Желдетілген жыныстар | | | | | |
| Қатты жыныстар | Әктас алевролит | | | | | |
| | Әктас | 2,74 | 10,2 | 72,6 | 32,8 | 21,0 |
| | Орташа | 2,71 | 7,8 | 94,0 | 33,9 | 17,9 |
| | Әктас алевролит | 2,70 | 10,9 | 76,0 | 33,3 | 19,7 |

Нәтижелер және талқылау

Дальнезападный учаскенің суланған және құрғақ массивін есептеу және графикті сызу үшін Slide бағдарламасында есептелінген және Мор-кулонның беріктік (бұзылу) критерийі негізінде массивтің беріктік қасиеттерінің есептік мәндері 1-кестеде келтірілген. Талдау Бишоп пен Янбу әдісі бойынша шекті тепе-теңдік мәнін шығара отырып, дөңгелек цилиндрлік сырғанау беттерін оңтайландырылған іздеу арқылы жүргізілді. Бишоп әдісі – әр түрлі жүктеме жағдайларында көлбеудің қауіпсіздік коэффициентін (FoS) анықтау үшін қолданылатын көлбеу тұрақтылықты талдау әдісі. Бишоптың әдісі бойынша кесінділер арасындағы күш көлденең бағытты сақтайды, көлденең ауырлық күші ескеріле отырып қабылданады. Вертикальды ауырлық күші есепке алынбайды. Дөңгелек сырғанау бетінің тұрақтылық коэффициентін келесі теңдеу арқылы алуға болады [5]:

$$FS = \frac{\sum [cb + W \tan \varphi (\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \varphi}{FS})]}{\sum W \sin \alpha}, \quad (1)$$

FS – тұрақтылық коэффициенті;

c – меншікті ілінісу;

φ – ішкі үйкеліс бұрышы;

W – бөлімнің салмағы;

b – бөлімнің сырғу жазықтығының ұзындығы;

α – бөлім негізінің көлбеу бұрышы.

Янбу әдісі Бишоптың әдісіне өте ұқсас. Геотехникалық тәжірибеде көшкін беткейлерін есептеу жүргізіледі. Айырмашылық мынада, бұл әдіс ығысу күштерінің тепе-теңдігін қанағаттандырады, ал моменттердің тепе-теңдігін қанағаттандыру сақталмайды [6]. Жеңілдетілген Янбу әдісімен есептеу кезінде салынған бөлімдегі күштердің таралу диаграммасы және күштердің көпбұрышы көлбеу

тұрақтылықтың қор коэффициентін есептеу формуласын алуға болады¹:

$$K_y = \frac{\sum_i [(c + \beta + N \cdot \tan \varphi) \cdot \sec \alpha]}{\sum_i W \cdot \tan \alpha + \sum \Delta E}, \quad (2)$$

K_y – қиябеттің тұрақтылық коэффициенті;

c – меншікті ілінісу;

φ – ішкі үйкеліс бұрышы;

W – бөлімнің салмағы;

N – бөлім тірегінің реакция күші;

β – бөлім негізінің ұзындығы;

α – бөлім негізінің көлбеу бұрышы;

ΔE – көлденең ұстау және ығысу күштерінің айырмашылығы.

Құлау ықтималдығы параметрлері (PoF) туралы түсінік алу үшін ықтималдық талдау жүргізілді. Әр түрлі гидрогеологиялық жағдайларға (құрғақ және суланған массив) сезімталдықтың графикалық талдауы жасалды. Мұндай талдау сезімталдық тау жыныстарының қасиеттерін ескере отырып, беткейлердің тұрақтылық шектерін түсіну үшін қажет болды. Гидрогеологиялық жағдайлар бастапқыда екі жағдайда қарастырылды [7]:

* Құрғақ массив (жер асты сулары жоқ);

* Суға қаныққан массив.

Осылайша, әлсіз тау жыныстардағы жағдаудың геометриясы гидрогеологиялық жағдайларға және 1-8 суреттерде келтірілген қауіп дәрежесіне байланысты болады. Бұл суреттерде құрғақ және суланған массивтегі шекті тепе-теңдік мәнін шығарумен Бишоп пен Янбу әдісі бойынша дөңгелек цилиндрлік сырғанау беттерін қолдана отырып, карьердің оң және сол жақтарының нәтижелері келтірілген. 2-кестеде гидрогеологиялық жағдайларды ескере отырып, 59-ші қиманың талдау нәтижелері көрсетілген [8].

¹ «Құрылыс жобасы» ғылыми-жобалық конструкторлық бюросы. Беткейлердің тұрақтылығын есептеу. URL: https://kb-sp.ru/services/geotekhnika/raschet_ustoychivosti_otkosov (дата обращения 12.12.2023).

Гидрогеологиялық жағдайларды ескере отырып, қималарды талдау нәтижелері

Кесте 2

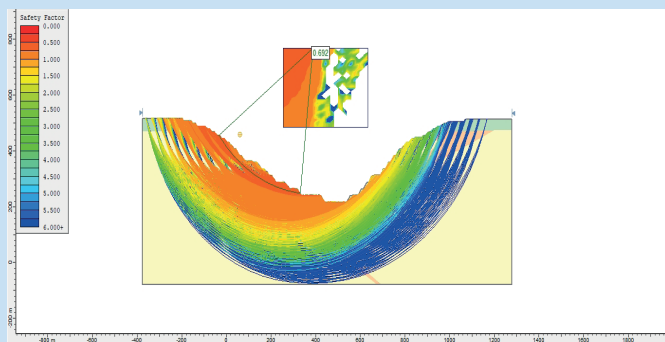
Results of the analysis of sections taking into account hydrogeological conditions

Table 2

Результаты анализа разрезов с учетом гидрогеологических условий

Таблица 2

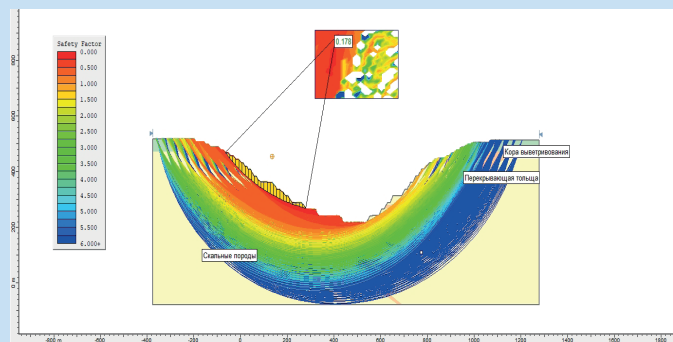
| Тілік | Жағдау жағы | Шама-шарттары | Бишоп әдісі | Янбу әдісі |
|-------|-------------|---------------------------|-------------|------------|
| 59 | Оң жағы | Массивтың сулану шартымен | 0,433 | 0,424 |
| 59 | Оң жағы | Құрғақ | 0,603 | 0,603 |
| 59 | Сол жағы | Массивтың сулану шартымен | 0,213 | 0,178 |
| 59 | Сол жағы | Құрғақ | 0,698 | 0,692 |



Сурет 1. Янбу әдісі бойынша сулануды есепке алмағанда, 59-қиманың сол жақ бортының тұрақтылығын есептеу.

Figure 1. Calculation of the stability of the left side of the section 59 without taking into account flooding by the Janbu method.

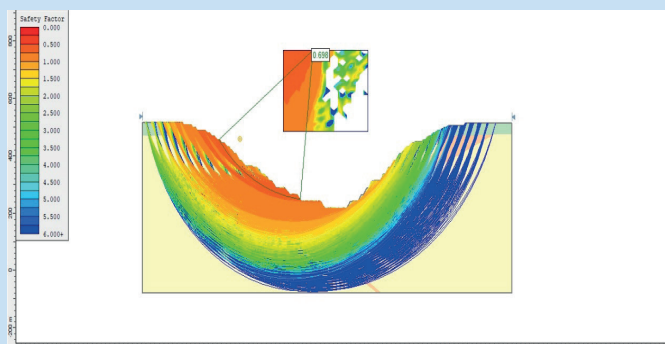
Рис. 1. Расчет устойчивости левого борта разреза 59 без учета обводнений по методу Ямбу.



Сурет 3. Янбу әдісі бойынша сулануды ескере отырып, 59-қиманың сол жақ бортының тұрақтылығын есептеу.

Figure 3. Calculation of the stability of the left side of the section 59, taking into account flooding by the Janbu method.

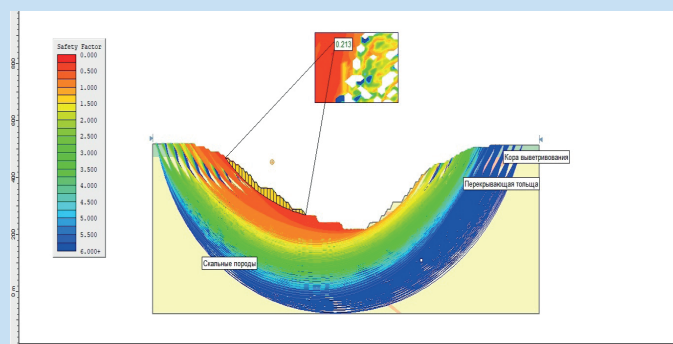
Рис. 3. Расчет устойчивости левого борта разреза 59 с учетом обводнений по методу Ямбу.



Сурет 2. Бишоп әдісі бойынша сулануды есептегенде 59-қиманың сол жақ бортының тұрақтылығын есептеу.

Figure 2. Calculation of the stability of the left side of the section 59 without taking into account flooding by the Bishop method.

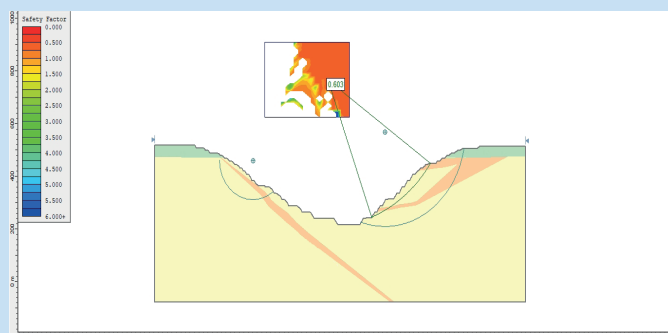
Рис. 2. Расчет устойчивости левого борта разреза 59 без учета обводнений по методу Бишоп.



Сурет 4. Бишоп әдісі бойынша сулануды ескере отырып, 59-қиманың сол жақ бортының тұрақтылығын есептеу.

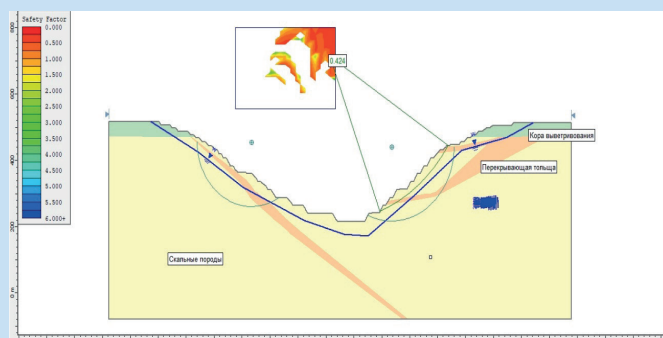
Figure 4. Calculation of the stability of the left side of the section 59, taking into account flooding by the Bishop method.

Рис. 4. Расчет устойчивости левого борта разреза 59 с влиянием обводнений по методу Бишоп.



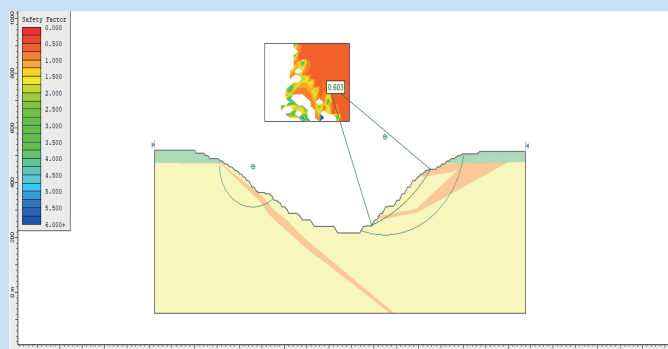
Сурет 5. Янбу әдісі бойынша сулануды есептемегенде 59-қиманың оң бортының тұрақтылығын есептеу.
Figure 5. Calculation of the stability of the starboard side of the section 59 without taking into account flooding by the Yanbu method.

Рис. 5. Расчет устойчивости правого борта разреза 59 без учета обводнений по методу Янбу.



Сурет 7. Янбу әдісі бойынша сулануды ескере отырып, 59-қиманың оң бортының тұрақтылығын есептеу.
Figure 7. Calculation of the stability of the starboard side of the section 59, taking into account flooding by the Yanbu method.

Рис. 7. Расчет устойчивости правого борта разреза 59 с влиянием обводнений по методу Янбу.



Сурет 6. Бишоп әдісі бойынша сулануды есептемегенде 59-қиманың оң жақ бортының тұрақтылығын есептеу.

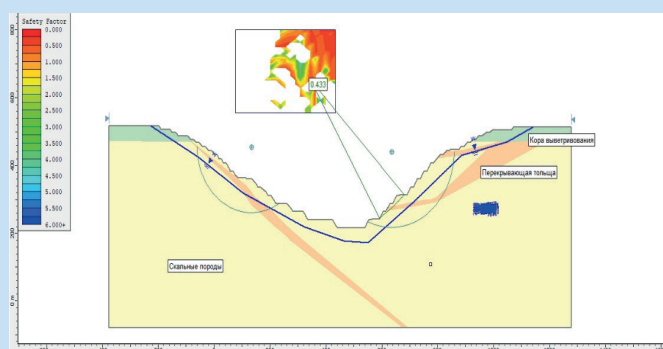
Figure 6. Calculation of the stability of the starboard side of the section 59 without taking into account flooding by the Bishop method.

Рис. 6. Расчет устойчивости правого борта разреза 59 без учета обводнений по методу Бишопа.

Алынған нәтижелер құрғақ жағдаудың толығымен тұрақты емес екенін көрсетеді, өйткені оның тұрақтылық коэффициенті 0,6-0,69, жер асты сулары жағдаудың тұрақтылығына қатты әсерін тигізеді және осы зерттеулерде орташа алғанда суланған борттың тұрақтылық коэффициенті 0,2-0,4 құрайды. Бұл зерттеулер кинематикалық талдауды және карьердің басқа аумақтарын қарастыруды қажет етеді. Жер асты суларын алып тастағаннан кейін, аршылған беткейлерді қосымша дренаждау аршылған тау жыныстарының тұрақтылығын қамтамасыз етеді деп болжануда [9].

Қорытындылар

Жер асты суларының әсері ашық кеніш қиябеттерінің деформациясына да әсер етеді. Алынған нәтижелерден келесі тұжырымдар алынады: ашық кеніш қиябеттерінің деформациясының сипатын бағалау кезінде кен орнының гидрогеологиясын (әсіресе әлсіз жыныстар үшін), атап



Сурет 8. Бишоп әдісі бойынша сулануды ескере отырып, 59-қиманың оң жақ бортының тұрақтылығын есептеу.

Figure 8. Calculation of the stability of the starboard side of the section 59, taking into account flooding by the Bishop method.

Рис. 8. Расчет устойчивости правого борта разреза 59 с влиянием обводнений по методу Бишопа.

айтқанда гидростатикалық өлшеу және судың гидродинамикалық қысымын ескеру қажет.

Ашық кеніш қиябеттерінің ықтималдық талдауы құлау ықтималдығының параметрлері туралы түсінік алу үшін жасалды, сонымен қатар кинематикалық талдау сияқты қосымша зерттеулерді қажет етеді.

1,0-ге тең шекті тепе-теңдікті (тепе-теңдік күйін) талдау нәтижесі Қазақстан Республикасының нормативтер бойынша жағдаулардың орнықтылығын анықтау үшін пайдаланылды, өйткені мықтылық қорының коэффициенті кесу кезінде тау жыныстарының беріктік параметрлеріне қолданылады.

Жобаланған жағдаулардың тұрақтылығын басқару үшін қабылданған және «бақыланатын тұрақсыздық» қағидаттарына негізделген беткейлердің жай-күйін бақылау стратегиясы ықтимал құлаудың қалыптасуының әртүрлі жағдайларында сәтті жұмыс істеуі өзекті.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Протосеня А.Г. Карьер жақтарының деформациясына инженерлік-геологиялық және гидрогеологиялық жағдайлардың әсері. / А.Г. Протосеня, А.В. Чебаков. // Тау-кен институтының жазбалар. 2011. Көл. 189. Б. 244-247 (орыс тілінде)
2. Фисенко Г.Л. Карьерлер мен үйінділердің тұрақтылығы: М.: Жер Қойнауы, 1965. Б. 378 (орыс тілінде)
3. Ping Zou. Учанпин Оңтүстік қалайы кеніші үшін көлбеу тұрақтылықты талдау. / Ping Zou, Ergo Zhao, Zhonghua Meng, Aibing Li, Zhengyu Liu, Wanjie HU. // Діріл инженериясы журналы. 2019. Көл. 21. Шығ. 4. Б. 998 (ағылшын тілінде)
4. Жәйрем кен орнының ТЭН (feasibility study) сатысындағы геомеханикалық зерттеулер туралы есеп. / SRK Consulting, Қазақстан Республикасы, 2016, 60 б. (орыс тілінде)
5. Бишоп А.В. Беткейлердің тұрақтылығын талдауда сырғанау шеңберін қолдану. // Геотехника. 1955. №5. Б. 7-17 (ағылшын тілінде)
6. Янбу Н. Тұрақтылықты талдау үшін композиттік сырғанау беттерін қолдану. // Еуропалық жер беткейлерінің тұрақтылығы конференциясының материалдары. Стокгольм, Швеция – Балкема, Роттердам: 1954. Б. 43-49 (ағылшын тілінде)
7. Paul G., Marinos Ph.D., Vassilis Marinos, Evert Hoek Ph.D. Геологиялық беріктік индексі (gsi): тау жыныстарының инженерлік қасиеттерін бағалауға арналған сипаттамаларды анықтау құралы. // Ерекше жағдайларда жерасты жұмыстары. 2007. Б. 13-21 (ағылшын тілінде)
8. Зеркаль О.В. Топырақ қасиеттерінің анизотропиясының беткейлердің тұрақтылығына әсерін бағалау. / О.В. Зеркаль, И.К. Фоменко. // Инженерлік зерттеулер. 2013. №9. Б. 44-50 (орыс тілінде)
9. Пустовоитова Т.К. Карьерлер борттарының тұрақтылығын болжауды инженерлік-геологиялық қамтамасыз ету. // Социалистік елдердегі маркшейдерлік іс. 1988. Көл. 2. Б. 250-256 (орыс тілінде)

REFERENSES

1. Protosenya A.G. Vliyanie inzhenerno-geologicheskikh i gidrogeologicheskikh uslovij na deformirovanie bortov kar'era. / A.G. Protosenya, A.V. Chebakov. // Zapiski Gornogo instituta. 2011. T. 189. S. 244-247 [The influence of engineering-geological and hydrogeological conditions on the deformation of the sides of the quarry. // Notes of the Mining Institute. 2011. Vol. 189. P. 244-247] (in Russian)
2. Fisenko G.L. Ustojchivost bortov karerov i otvalov: M.: Nedra, 1965, S. 378. [Stability of quarry sides and dumps: M.: Nedra, 1965, P. 378] (in Russian)
3. Ping Zou. A slope stability analysis for southern Wuchangping tin mine. / Ping Zou, Ximo Zhao, Zhonghua Meng, Aibing Li, Zhengyu Liu, Wanjie Hu. // Journal of vibroengineering. 2019. Vol. 21. Issue 4. P. 998 (in English)
4. Otchet o geomehanicheskikh issledovaniyah na stadii TEO (feasibility study) mestorozhdeniya Zhajrem. / SRK Consulting, Respublika Kazakhstan, 2016, 60 s. [Report on geomechanical studies at the feasibility study stage of the Zhajrem deposit. / SRK Consulting, Republic of Kazakhstan, 2016, 60 p.] (in Russian)
5. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. // Geotechnique. 1955. №5. P. 7-17 (in English)
6. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis. // Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. Stockholm, Sweden – Balkema, Rotterdam: 1954. P. 43-49 (in English)
7. Paul G. Marinos Ph.D., Vassilis Marinos, Evert Hoek Ph.D. The geological strength index (gsi): a characterization tool for assessing engineering properties for rock masses. // Underground works under special conditions. 2007. P. 13-21 (in English)
8. Zerkal O.V. Ocenka vliyaniya anizotropii svojstv gruntov na ustojchivost sklonov. / O.V. Zerkal, I.K. Fomenko. // Inzhenernye izyskaniya. 2013. №9. S. 44-50 [Assessment of the effect of anisotropy of soil properties on slope stability. // Engineering surveys. 2013. №9. P. 44-50] (in Russian)
9. Pustovojtova T.K. Inzhenerno-geologicheskoe obespechenie prognoza ustojchivosti bortov karerov. // Markshejderskoe delo v socialisticheskikh stranah. 1988. T. 2. S. 250-256 [Engineering and geological support for the forecast of stability of quarry sides. // Surveying in socialist countries. 1988. Vol. 2. P. 250-256] (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Протосеня А.Г. Влияние инженерно-геологических и гидрогеологических условий на деформирование бортов карьера. / А.Г. Протосеня, А.В. Чебаков. // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 244-247 (на русском языке)

2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов: М.: Недра, 1965, С. 378 (на русском языке)
3. Ping Zou. Анализ устойчивости склона для южного оловянного рудника Учанпин. / Ping Zou, Ergo Zhao, Zhonghua Meng, Aibing Li, Zhengyu Liu, Wanjie Hu. // Журнал виброинженерии. 2019. Т. 21. Вып. 4. С. 998 (на английском языке)
4. Отчет о геомеханических исследованиях на стадии ТЭО (feasibility study) месторождения Жайрем. / SRK Consulting, Республика Казахстан, 2016, 60 с. (на русском языке)
5. Бишоп А.В. Использование скользящего круга при анализе устойчивости склонов. // Геотехника. 1955. №5. С. 7-17 (на английском языке)
6. Янбу Н. Применение композитной поверхности скольжения для анализа устойчивости. // Материалы Европейской конференции по устойчивости земляных склонов. Стокгольм, Швеция – Балкема, Роттердам: 1954. С. 43-49 (на английском языке)
7. Paul G., Marinos Ph.D., Vassilis Marinos, Evert Hoek Ph.D. Индекс геологической прочности (gsi): инструмент определения характеристик для оценки инженерных свойств горных массивов. // Подземные работы в особых условиях. 2007. С. 13-21 (на английском языке)
8. Зеркаль О.В. Оценка влияния анизотропии свойств грунтов на устойчивость склонов. / О.В. Зеркаль, И.К. Фоменко. // Инженерные изыскания. 2013. №9. С. 44-50 (на русском языке)
9. Пустовойтова Т.К. Инженерно-геологическое обеспечение прогноза устойчивости бортов карьеров. // Маркшейдерское дело в социалистических странах. 1988. Т. 2. С. 250-256 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Рымқұлова А.Б., «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының докторанты, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан), a.rymkulova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2116-6371>

Зейтинова Ш.Б., PhD докторы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан) zeitinova_rmpi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3489-8969>

Жумадилова Д.К., «Маркшейдерлік іс және Геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан), dinara91.08@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3959-5980>

Касымжанова А.Е., «Маркшейдерлік іс және Геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан), aizhan_kasymzhanova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6181-8637>

Information about the authors:

Rymkulova A.B., doctoral candidate of the Department «Development of mineral deposits», NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zeitinova Sh.B., PhD, Acting Associate professor of the Department «Development of mineral deposits», NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhumadilova D.K., Senior lecturer of the Department «Surveying and geodesy», NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Kasymzhanova A.E., Senior lecturer of the Department «Surveying and geodesy», NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Рымқұлова А.Б., докторант кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Зейтинова Ш.Б., доктор PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Жумадилова Д.К., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и Геодезия», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Касымжанова А.Е., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и Геодезия», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)