

**БЕСИМБАЕВА О.Г.** (Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан)

**ХМЫРОВА Е.Н.** (Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан)

**НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К.** (Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан)

**ОЛЕЙНИКОВА Е.А.** (Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан)

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЫХОДОВ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Рассматриваются вопросы оценки устойчивости южного борта карьера при отработке выхода угольного пласта Д<sub>6</sub>. Для оценки устойчивости южного борта карьера при отработке выходов угольных пластов применены современные методы исследований: изучение геологического строения и анализ состояния прибортового массива, создание наблюдательной станции и производство наблюдений, выполнение расчетов устойчивости прибортового массива южного борта карьера и анализ результатов выполненных исследований. Южный борт карьера сложен глинистыми отложениями мощностью до 5 м, далее алевролитами и аргиллитами мощностью до 10–20 м и угольным пластом мощностью до 5 м. Выполнено обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород, слагающих откосы уступов карьера, которые определяют напряженное состояние откосов, возникающих под воздействием внутренних и внешних сил. Инструментальные наблюдения по заложенной станции и съемка трещин на борту карьера позволили определить контуры зоны деформации и размеры оползневой призмы. Создана геомеханическая модель прибортового массива карьера и проведена оценка устойчивости по геологическому разрезу по линии максимальной глубины разработки. После выполненных мероприятий по пригрузке откосов южного борта карьера коэффициент запаса устойчивости составляет  $n_y = 1,69–173$ , что говорит о прекращении активной фазы деформирования борта и устойчивом его состоянии.

*Ключевые слова:* участок открытой отработки, геологическое строение, оценка устойчивости борта карьера, деформационные процессы, коэффициент запаса устойчивости, скальная пригрузка.

Эффективность и полнота отработки месторождений во многом зависят от того, насколько предельные параметры нерабочих бортов карьеров и отвалов соответствуют климатическим, геологическим, гидрогеологическим, технологическим и безопасным условиям эксплуатации. Практика показывает, что неучет любого из этих условий приводит к нарушению устойчивого составления откосов пород и развитию деформаций на всех этапах строительства и эксплуатации карьеров, последствия от которых приносят значительный материальный ущерб как прибортовому массиву, так и инфраструктуре и транспортным сетям, расположенным вблизи открытых разработок.

Опасность деформаций и нарушений устойчивости бортов и уступов карьера необходимо оценивать на основании изучения физико-механических свойств горных пород, инженерно-геологических и гидрогеологических условий эксплуатации карьера и результатов систематических наблюдений их состояния.

Целью исследования устойчивости прибортового массива является определение мест проявления и размеров деформаций пород, а также установление причин их возникновения. Оценка степени опасности деформаций и прогноз их развития позволяют предупредить аварийные ситуации и несчастные случаи.

Порядок отработки запасов угля пласта Д<sub>6</sub> на участке открытой отработки

определился горно-геологическими условиями залегания пласта и технологией горных работ по схеме одноковшовый экскаватор – обратная лопата с погрузкой в автомобильный транспорт. Оработка пласта производится от его выхода под наносы до горизонта +412 м.

Горно-геологические условия залегания угольного пласта Д<sub>6</sub> (мощность, наклонное залегание) определили применение транспортной системы разработки с вывозом вскрыши на внешний и внутренний отвалы и использованием ее для рекультивационных целей, а угля – на угольный склад.

Для оценки устойчивости южного борта карьера при отработке выходов угольных пластов использованы современные методы исследований и технологии, с помощью которых решены следующие задачи.

1. Изучены геологические условия залегания месторождения, а также физико-механические характеристики горных пород, рассмотрены горнотехнические вопросы открытой разработки выхода угольного пласта Д<sub>6</sub>.

2. Изучен план горных работ карьера на период выемки угольного пласта Д<sub>6</sub>, рассмотрены основные геологические разрезы с целью использования их в программном комплексе для оценки устойчивости бортов карьера. При этом основное внимание уделено определению литологического состава пород, слагающих прибортовой массив южного борта карьера, и их физико-механическим характеристикам.

Выделены геологические разрезы 7-7, 7а-7а, 7а3-7а3, а также построены дополнительно разрезы по линиям в районе максимальной ширины зоны сдвижения вкрест простирания южного борта карьера.

В силу специфических литологических и текстурных особенностей менее устойчивы в угленосной толще породы кровли и почвы угольных пластов, а также внутрипластовые прослои. Независимо от литологического состава породы непосредственной кровли и почвы ослаблены пластовыми водами и характеризуются более высокими значениями влажности и пористости (соответственно по 1–3 и 2–4 %), чем контактирующие с ними породы.

Выполненные исследования и изучение геологических разрезов и геологических колонок позволили определить литологический состав горных пород прибортового массива южного борта карьера.

На рис. 1 приведен план горных работ на момент начала отработки выхода угольного пласта.

По данным лабораторных исследований, покрывающие каменноугольные отложения кайнозойские глины относятся к высокопластичным грунтам пластичной консистенции. Глины характеризуются легкой размокаемостью. При увлажнении в горных выработках возможно оплывание.

Для выполнения расчетов устойчивости прибортового массива южного борта карьера по расчетным профильным линиям выполнено обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород всех литологических разностей, слагающих откосы уступов карьера, которые определяют напряженное состояние откосов, возникающих под воздействием внутренних и внешних сил. Так, южный борт карьера сложен глинистыми отложениями (мощностью до 5 м) и далее алевролитами и аргиллитами (мощность до 10–20 м). Кроме того, на геологическом разрезе наблюдается выход угольного пласта на поверхность мощностью до 5 м.

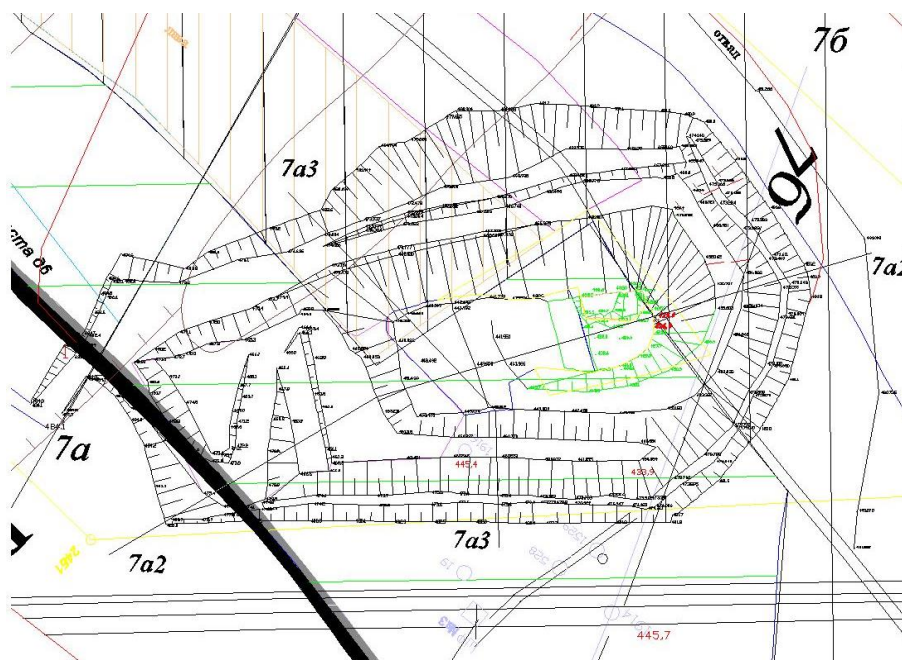


Рис. 1. План горных работ на момент начала отработки выхода угольного пласта

Для обоснования расчетных значений сцепления  $k$  и угла внутреннего трения  $\rho_0$  этих пород и контакта угольного пласта с алевролитами был использован метод аналогии. Нами ранее были проведены исследования прочностных свойств глин и алевролитов в натурных условиях на Южно-Топарском известковом карьере, где были получены усредненные значения по глинам:  $k = 1,5 \text{ т/м}^2$ ,  $\rho_0 = 18^\circ$ , а по алевролитам  $k = 5 \text{ т/м}^2$ ,  $\rho_0 = 21^\circ$ , согласно работе «Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьеров» [12, 14]. Расчетные прочностные свойства пород прибортового массива приведены в табл. 1.

Необходимо отметить, что деформационные процессы прибортового массива южного борта карьера произошли в весенний период, когда уровень обводненности

горного массива значительно повышается.

При ведении горных работ по отработке выхода угольного пласта Д<sub>6</sub> глубина карьера составляла 37,7 м, при этом генеральный угол наклона борта карьера был равен  $36^\circ$ .

В соответствии с требованиями «Правил обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах» [4] зона возможных деформаций от ведения горных работ определяется величиной 1,5 Н (глубины разработки). Для данного карьера зона возможных деформаций составляет 56,6 м. По плану горных работ на момент отработки видно, что заданный параметр не выдерживается, поэтому дорожное полотно автомобильной дороги Шахтинск–Сарепта попала в зону деформаций.

Таблица 1

Расчетные прочностные свойства пород прибортового массива

Наименование породы	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, градус	Сцепление, т/м <sup>2</sup>
Глинистые отложения	1,9	18	1,5
Алевролиты, аргиллиты	2,3	21	5,0
Контакт «Глины по углю»	2,0	14	1,0
Отвальный глинистый массив	2,0	14	1,4

3. Для наблюдения за состоянием земной поверхности и прибортового массива южного борта карьера выполнены разбивка и закрепление реперов профильных линий наблюдательной станции в зоне деформации дорожного полотна.

Проведены три серии инструментального мониторинга по закрепленным реперам и инструментальная съемка системы трещин. Первая система трещин располагается в настоящий момент около верхней бровки южного борта, а третья система трещин, формирующая призму деформации, – в непосредственной близости от дорожного полотна. Первая и вторая системы трещин сформировались в зоне отсыпки первого яруса глинистыми породами вскрыши в процессе усадки отвального массива. Выполненные инструментальные наблюдения по заложенной станции и съемка трещин на борту карьера позволили определить контуры зоны деформации и размеры оползневой призмы (рис. 2).

Результаты инструментального мониторинга состояния земной поверхности в районе дорожного полотна и борта карьера показали, что участок земной поверхности находится в стадии стабилизации.

Крайние реперы профильных линий, находящиеся около верхней бровки карьера, показывают процесс усадки массива, отсыпанного глинистыми породами вскрыши. Величина оседаний крайних реперов составляет от 50 до 90 мм.

4. Выполнено создание геомеханической модели прибортового массива южного борта карьера.

По результатам выполненного анализа геологического строения прибортового массива, инструментальной съемки зоны деформации и использования созданной 3D модели горного массива были построены разрезы в середине оползневой призмы, перпендикулярные южному борту карьера, в зоне деформации дорожного полотна.

5. Выбраны методы расчета устойчивости откосов уступов и бортов карьера (графо-аналитический и численно-аналитический), основанные на методе предельного равновесия. Структурно-логическая схема анализа геомеханических моделей построена на основе системного подхода и на обобщенных схемах расчета устойчивости откосов.

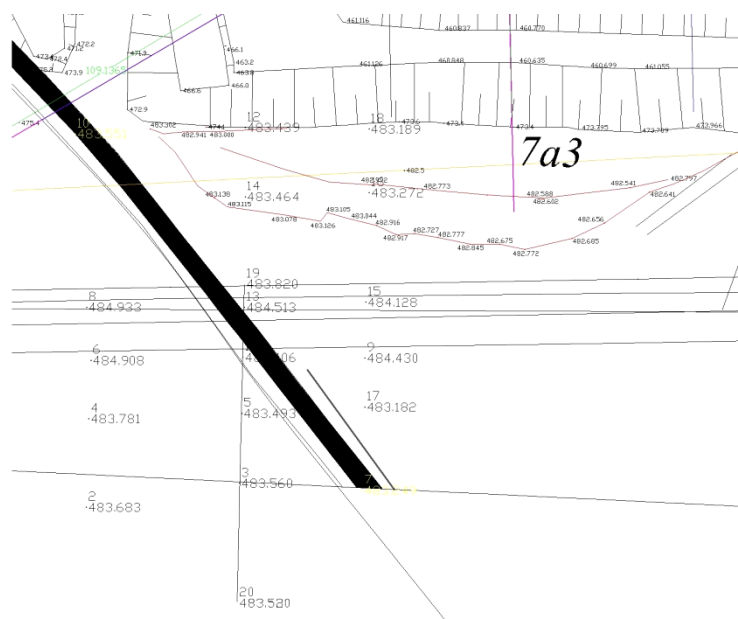


Рис. 2. Границы зоны деформации прибортового массива



Оценка устойчивости южного борта карьера была выполнена с использованием компьютерной расчетной программы КарГТУ «Устойчивость карьерных откосов» [8]. Программа просчитывает от 400 до 4000 поверхностей возможного обрушения и производит выбор поверхности возможного обрушения (рис. 3) с минимальным коэффициентом запаса устойчивости откосов. Программа КарГТУ учитывает неоднородность прибортового массива, наличие поверхностей ослабления, глубину разработки, проектные значения углов наклона уступов и ширину берм, общий угол наклона всего борта карьера.

Выполнена оценка устойчивости южного борта карьера на основании расчетных значений физико-механических свойств горных пород по геологическому разрезу 7а3-7а3 в момент максимальной глубины разработки карьера и после засыпки южного борта карьера глинистыми породами вскрыши.

Выполненные расчеты устойчивости южного борта на момент максимальной глубины разработки по методике

КарГТУ по двум поверхностям скольжения (рис. 4) показали, что коэффициент запаса устойчивости – менее 1 и составляет для борта карьера  $n_y = 0,87$ , а для поверхности скольжения по выходу угольного пласта коэффициент запаса равен  $n_y = 0,9$ .

6. В связи с выявленными деформациями прибортового массива и участка дорожного полотна, попавшего в зону деформаций, были выполнены мероприятия по отсыпке дна карьера слоем мощностью 19,6 м и по пригрузке трех верхних уступов, общей высотой 22,7 м.

Расчеты выполненных мероприятий по пригрузке откосов южного борта карьера показали, что коэффициент запаса устойчивости составляет  $n_y = 1,69–1,73$  (рис. 5), что говорит о прекращении активной фазы деформирования борта. Проведенные мероприятия позволили повысить устойчивость прибортового массива, в том числе участка земной поверхности в районе дорожного полотна [5, 6].

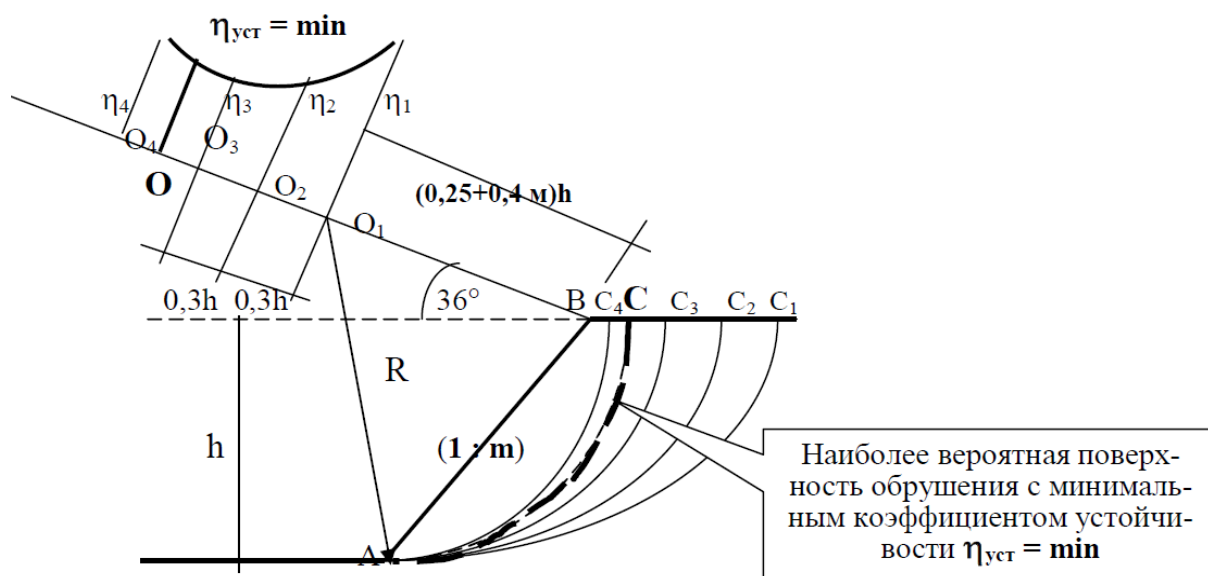


Рис. 3. Схема к расчету устойчивости откоса с минимальным коэффициентом устойчивости откоса

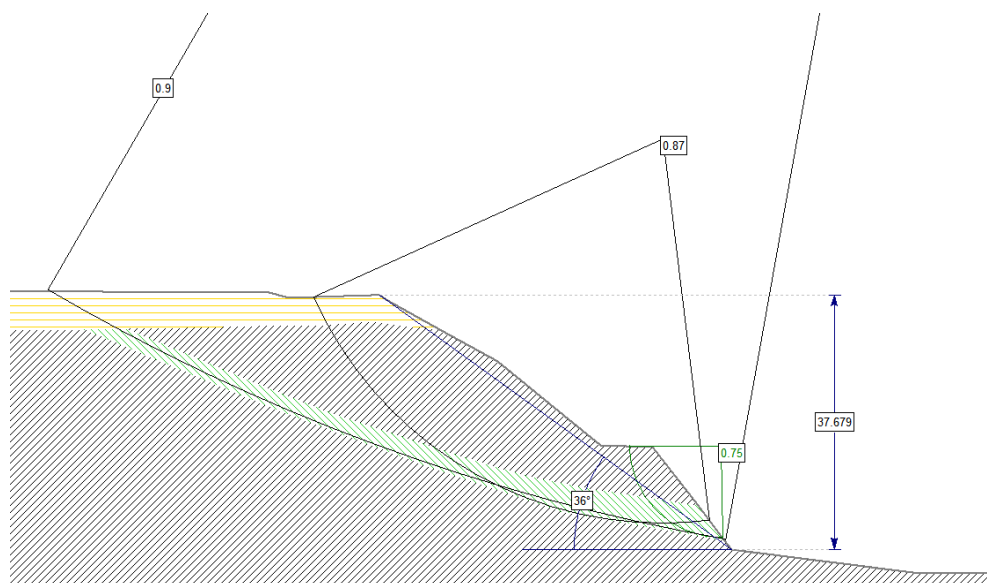


Рис. 4. Оценка устойчивости борта карьера на момент начала отработки выхода пласта Д<sub>6</sub>

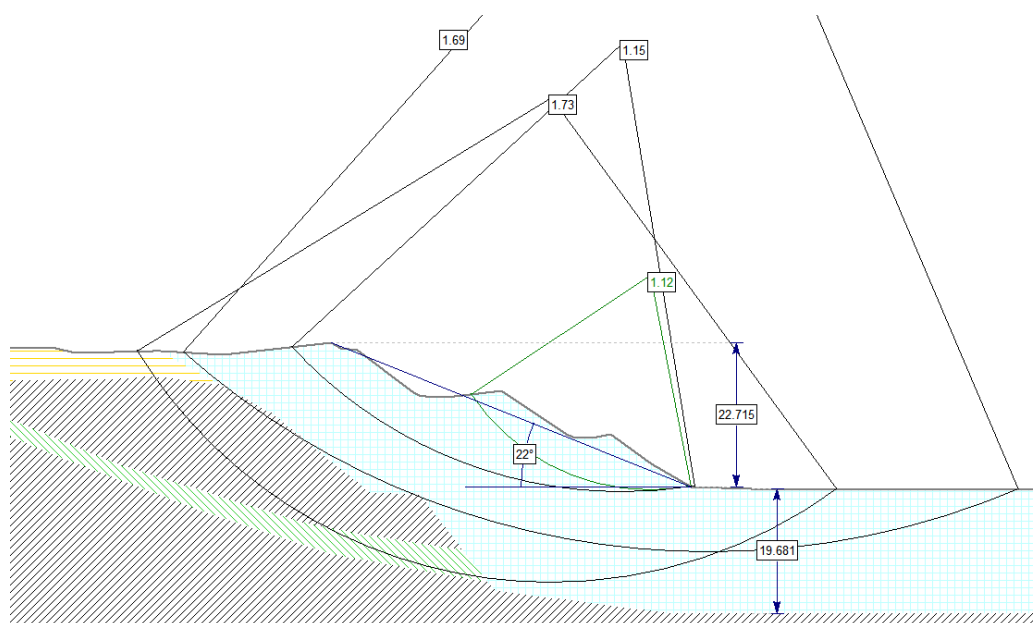


Рис. 5. Оценка устойчивости борта карьера после пригрузки южного борта

Инструментальный мониторинг и расчеты по оценке устойчивости показали, что южный борт карьера будет находиться в устойчивом состоянии, поэтому нет необходимости в переносе автомобильной дороги от борта карьера, однако необходимо провести ряд мероприятий по ее реконструкции и укреплению ее надежности.

Устойчивость откосов уступов карьера можно обеспечить посредством правильного выбора и соблюдения в процессе

работ геометрических параметров откосов, которые наиболее полно отвечают горно-геологическим условиям разработки [15–17].

К мерам предотвращения возникновения и развития деформационных процессов относят работы по осушению месторождения, защите поверхности пород откосов, укреплению и упрочнению прибортового массива.

7. Для обеспечения устойчивости южного борта карьера и дорожного по-



лотна участка автомобильной дороги рекомендуется осуществить пригрузку южного борта карьера скальными породами, при этом отсыпка должна осуществляться со дна карьера уступом высотой до 10 м. Скальная пригрузка южного борта карьера будет служить в качестве контрфорса, будет способствовать уплотнению массива, отсыпанного на дно карьера, и выполнять функции дренажной системы, обеспечивающей осушение прибортового массива [10, 13].

С целью окончательного установления характера процесса сдвижения рекомендуется в весенний период 2018 г. выполнить восстановление реперов наблюдательной станции и продолжить инструментальный контроль состояния прибортового массива для установления степени уплотнения отсыпанного массива и стабилизации деформации земной поверхности в районе ведения горных работ.

#### Библиографический список

1. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 165 с.
2. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. – М.: Гипроруда, 1989. – 128 с.
3. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 208 с.
4. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от «22» сентября 2008. № 39.
5. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971. – 188 с.
6. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
7. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов: Монография / В.Н. Долгонос, П.С. Шпаков, Ф.К. Низаметдинов и др. – Караганда: «Соната»-Полиграфия, 2009. – 339 с.
8. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
9. Певзнер М.Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах. – М.: 1978. – 255 с.
10. Попов И.И., Окатов Р.П. Борьба с оползнями на карьерах. – М.: Недра, 1980. – 239 с.
11. Попов И.И., Низаметдинов Ф.К., Окатов Р.П. и др. Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьера. – Алматы: Гылым, 1997. – 215 с.
12. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №126 от 26 января 2015 года «Устойчивость карьерных откосов» (программа для ЭВМ) / С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина, П.С. Шпаков и др.
13. Scott M., Mazumder S., Jiang J. Permeability Increase in Bowen Basin Coal as a Result of Matrix Shrinkage during Primary Depletion, SPE International SPE 158152, 2012, vol. 1, pp. 323–343.
14. Pan Z., Connell L.D. Modeling Permeability for Coal Reservoirs: A Review of Analytical Models and Testing Data, Int. J. Coal Geol., 2012, 92, pp. 1–44.
15. Nazarova L.A., Nazarov L.A., Karchesvsky A.L., Vandamme M., Determining Kinetic Parameters of a Block Coal Bed Gas by Solving Inverse Problem Based on Data of Borehole Gas Measurements, J. Min. Sci., 2015, vol. 51, no. 4, pp. 666–672.
16. Pinkun Guo, Yuanping Cheng. Permeability Prediction in Deep Coal Seam: A Case Study on No. 3 Coal Seam of the Southern Qinshui Basin in China, The Scientific World Journal, 2013, vol. 2013.
17. Seidle J., Jeanson M., Erickson D. Application of Matchstick Geometry to Stress Dependent Permeability in Coals, SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers, 1992.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 2, pp. 51-57

Title:

ESTIMATION OF NEAR-WALL ROCK MASS STABILITY WHEN EXTRACTING EXPOSED COAL SEAM



<b>Author 1:</b>	Name & Surname: <b>Olga G. Bessimbaeva</b> Company: <b>Karaganda State Technical University</b> Address: <b>56, Mira blvd, Karaganda city, The Republic of Kazakhstan, 100027</b> Scientific Degree: <b>Cand. Sci. (Tech.)</b> Contacts: <b>bog250456@mail.ru</b>
<b>Author 2:</b>	Name & Surname: <b>Elena N. Khmyrova</b> Company: <b>Karaganda State Technical University</b> Address: <b>56, Mira blvd, Karaganda city, The Republic of Kazakhstan, 100027</b> Scientific Degree: <b>Cand. Sci. (Tech.)</b> Contacts: <b>hmyrovae@mail.ru</b>
<b>Author 3:</b>	Name & Surname: <b>Farit K. Nizametdinov</b> Company: <b>Karaganda State Technical University</b> Address: <b>56, Mira blvd, Karaganda city, The Republic of Kazakhstan, 100027</b> Scientific Degree: <b>Dr. Sci. (Tech.)</b> Contacts: <b>(7212) 56-26-27</b>
<b>Author 4:</b>	Name & Surname: <b>Elena A. Oleinikova</b> Company: <b>Karaganda State Technical University</b> Address: <b>56, Mira blvd, Karaganda city, The Republic of Kazakhstan, 100027</b> Contacts: <b>(7212) 56-26-27</b>
<b>DOI:</b>	<b>10.17073/2500-0632-2018-2-51-57</b>
<b>Abstract:</b>	<p>The paper considers assessing stability of the open pit southern wall when extracting exposed coal seam D<sub>6</sub>. To assess the open pit southern wall stability when extracting exposed coal seams, modern research methods were used: the study of geology and analysis of the near-wall rock mass condition, creation of an observation station and monitoring, estimation of the southern near-wall rock mass stability, and analysis of the study findings. The pit southern wall is composed of clayey sediments up to 5 m thick, underlain by siltstone and mudstone up to 10-20 m thick, and a coal seam up to 5 m thick. Substantiation of the estimated strength characteristics of the rocks composing the open pit bench slopes, which determine the stress state of the slopes, arising under the effect of internal and external forces, has been performed. Instrumental observations produced by the station and the survey of fractures on the open pit wall enabled determining contours of the deformation zone and dimensions of the landslide prism. A geotechnical model of the near-wall rock mass was created, and stability assessment within the geological section along the line of maximum development depth was carried out. After implementing measures on surcharging slopes of the southern wall, the factor of safety amounts to: <math>n_y = 1.69 - 1.73</math> that indicates termination of the active phase of the wall deformation and confirms the wall stability.</p>
<b>Keywords:</b>	open-pit mining area, geological setting, assessment of pit slope stability, deformation processes, factor of safety, rock surcharge.
<b>References:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu uglov naklona bortov, otkosov ustupov i otvalov stroyashihsya i ekspluatiruemykh karerov [<i>Methodical instructions for determining the angles of inclination of the sides, slopes of ledges and dumps of the quarries being built and operated</i>]. Leningrad, VNIMI, 1972, 165 p.</li> <li>2. Vremennye metodicheskie ukazaniya po upravleniyu ustojchivostyu bortov karerov cvetnoj metallurgii [<i>Temporary methodological instructions for managing the stability of the sides of quarries of non-ferrous metallurgy</i>]. Moscow, Giproruda, 1989, 128 p.</li> <li>3. Pravila obespecheniya ustojchivosti otkosov na ugolnyh razrezah [<i>Rules for ensuring the stability of slopes on coal mines</i>]. St. Petersburg, VNIMI, 1998, 208 p.</li> </ol>





4. Metodicheskie ukazaniya po nablyudeniym za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na karerakh i razrabotke meropriyatij po obespecheniyu ih ustojchivosti [*Methodological guidelines on observations of deformations of the sides, slopes of ledges and dumps in quarries and the development of measures to ensure their stability*]. Agreed by the order of the Committee for State Control over Emergencies and Industrial Safety of the Republic of Kazakhstan dated September 22, 2008. No. 39.
5. Metodicheskie ukazaniya po nablyudeniym za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na karerakh i razrabotke meropriyatij po obespecheniyu ih ustojchivosti [*Methodological guidelines on observations of deformations of sides, slopes of ledges and dumps in quarries and development of measures to ensure their stability*]. Leningrad, VNIMI, 1971, 188 p.
6. Fisenko G.L. Ustojchivost bortov karerov i otvalov [*Stability of the sides of quarries and dumps*]. Moscow, Nedra, 1965, 378 p.
7. Dolgonosov V.N., Shpakov P.S., Nizametdinov F.K., et al. Analiticheskie sposoby rascheta ustojchivosti karernyh otkosov: Monografiya [*Analytical ways of calculating the stability of career slopes: Monograph*]. Karaganda, "Sonata"-Poligrafiya, 2009, 339 p.
8. Baklashov I.V. Deformirovanie i razrushenie porodnyh massivov [*Deformation and destruction of rock massifs*]. Moscow, Nedra, 1988, 271 p.
9. Pevzner M.E. Borba s deformatsiyami gornyh porod na karerakh [*Fighting deformations of rocks in quarrie*]. Moscow, 1978, 255 p.
10. Popov I.I., Okatov R.P. Borba s opolznyami na karerakh [*Fighting landslides in quarries*]. Moscow, Nedra, 1980, 239 p.
11. Popov I.I., Nizametdinov F.K., Okatov R.P., et al. Prirodnye i tehnogennye osnovy upravleniya ustojchivostyu ustupov i bortov karera [*Natural and technogenic foundations for managing the stability of ledges and pit edges*] Almaty, Gylym, 1997, 215 p.
12. Ozhigin S.G., Ozhigina S.B., Shpakov P.S., et al. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii prav na obekt avtorskogo prava №126 ot 26 yanvarya 2015 goda "Ustojchivost karernyh otkosov" (programma dlya EVM) [*Certificate of state registration of rights to the object of copyright No. 126 dated January 26, 2015 "Sustainability of career slopes" (computer program)*].
13. Scott M., Mazumder S., Jiang J. *Permeability Increase in Bowen Basin Coal as a Result of Matrix Shrinkage during Primary Depletion*. SPE Int. SPE 158152, 2012, vol. 1, pp. 323–343.
14. Pan Z., Connell L.D. *Modeling Permeability for Coal Reservoirs: A Review of Analytical Models and Testing Data*. Int. J. Coal Geol., 2012, 92, pp. 1–44.
15. Nazarova L.A., Nazarov L.A., Karchesvsky A.L., Vandamme M. *Determining Kinetic Parameters of a Block Coal Bed Gas by Solving Inverse Problem Based on Data of Borehole Gas Measurements*. J. Min. Sci., 2015, vol. 51, no. 4, pp. 666–672.
16. Pinkun Guo, Yuanping Cheng. *Permeability Prediction in Deep Coal Seam: A Case Study on No. 3 Coal Seam of the Southern Qinshui Basin in China*. The Scientific World Journal, 2013, vol. 2013.
17. Seidle J., Jeanson M., Erickson D. *Application of Matchstick Geometry to Stress Dependent Permeability in Coals*. SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers, 1992.