

UDC 622.271:338.45.01 © И.В. Зеньков<sup>1,2</sup>, И.В. Патачаков<sup>1</sup>, Д.В. Редькин<sup>1</sup>,  
Ле Хунг Чинь<sup>3</sup>, Ю.П. Юронен<sup>4</sup>, А.А. Черпакова<sup>1</sup>, Д.А. Хоробрых<sup>1</sup>,  
А.С. Конде<sup>1</sup>, В.Е. Спири<sup>1</sup>, 2024

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский научно-исследовательский институт горного  
и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Технический университет им. Ле Куй Дон, 11355, г. Ханой, Вьетнам

<sup>4</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. академика М.Ф. Решетнева, 660049, г. Красноярск, Россия

✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

UDC 622.271:338.45.01 © I.V. Zenkov<sup>1,2</sup>, I.V. Patachakov<sup>1</sup>, D.V. Redkin<sup>1</sup>,  
Le Hung Trinh<sup>3</sup>, Yu.P. Yuronen<sup>4</sup>, A.A. Cherpakova<sup>1</sup>, D.A. Khorobrykh<sup>1</sup>,  
A.S. Conde<sup>1</sup>, V.E. Spirin<sup>1</sup>, 2024

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian Research Institute of Mining and Surveying,  
Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

<sup>3</sup> Le Quy Don Technical University, Hanoi, 11355, Vietnam

<sup>4</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

# Исследование влияния горно-геологического строения на геомеханические параметры борта карьера при ведении горных работ на мульдообразных двухпластовых угольных месторождениях\*

Investigation into the impact of mining and geological structure  
on the geomechanical parameters of open pit walls during mining operations  
at the synclinal two-seam coal deposits

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-5-102-106>

## ЗЕНЬКОВ И.В.

Доктор техн. наук, профессор  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, Россия,  
заместитель директора по научной работе  
Сибирского научно-исследовательского  
института горного и маркшейдерского дела,  
660025, г. Красноярск, Россия,  
e-mail: zenkoviv@mail.ru

## ПАТАЧАКОВ И.В.

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

## РЕДЬКИН Д.В.

Аспирант Сибирского  
федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

В Красноярском крае (Россия) и в провинции Куангнам (Вьетнам) открытым способом разрабатываются мульдообразные угольные месторождения, в строении которых находятся два промышленных пласта. К настоящему времени открытые горные работы находятся в замке мульды и далее будут развиваться по восстанию угольных пластов. В этой связи актуальным и необходимым считается проведение расчетов параметров откосов уступов с учетом изменения горно-геологического строения месторождений по мере подвигания горных работ в карьере. Как показали расчеты, в существующей ситуации происходит снижение коэффициента запаса устойчивости откосов уступов и в целом бортов карьеров, что необходимо учитывать при обосновании режима горных работ.

**Ключевые слова:** мульдообразные угольные месторождения, открытые горные работы, геомеханика, устойчивость уступов в карьере, сцепление горных пород, коэффициент запаса устойчивости.

\* Исследование проведено в рамках международного сотрудничества в области горного дела.

**Для цитирования:** Исследование влияния горно-геологического строения на геомеханические параметры борта карьера при ведении горных работ на мульдообразных двухпластовых угольных месторождениях / И.В. Зеньков, И.В. Патачаков, Д.В. Редькин и др. // Уголь. 2024;(5):102-106. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-102-106.

### Abstract

*Synclinal coal deposits that are characterized with two commercial seams are developed in the Krasnoyarsk Krai (Russia) and the Quang Nam Province (Vietnam) using the open-pit mining methods. The mining operations are currently in the syncline hinge and will proceed up the coal seams dip. In this respect, calculations of the bench slopes parameters are considered relevant and necessary with due account for changes in the mining and geological structure of the deposits as the mining operations are progressing in the open pit. As the calculations have shown, there currently exists a decrease in the safety factor of the bench slopes and of the open-pit wall in general, which should be taken into account when justifying the mode of mining operations.*

### Keywords

*Synclinal coal deposits, Open-pit mining, Geomechanics, Stability of open-pit benches, Rock cohesion, Safety factor.*

### For citation

Zenkov I.V., Patachakov I.V., Redkin D.V., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P., Cherpakova A.A., Khorobrykh D.A., Conde A.S., Spirin V.E. Investigation into the impact of mining and geological structure on the geomechanical parameters of open pit walls during mining operations at the synclinal two-seam coal deposits. *Ugol'*. 2024;(5):102-106. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-102-106.

### Acknowledgements

The study was performed within the framework of international cooperation in mining.

## ВВЕДЕНИЕ

Основной тенденцией в мировом недропользовании является увеличение объемов добычи угля. Центр угледобычи постепенно смещается в сторону России и Юго-Восточной Азии. В Красноярском крае наряду с месторождениями, в строении которых находятся мощные угольные пласты, в разработке находятся мульдообразные двухпластовые месторождения. Такие месторождения разрабатываются с 1970-х гг. по настоящее время. Особенностью порядка отработки мульдообразных месторождений является неизбежность производства открытых горных работ как по падению, так и по восстанию угольных пластов. В обоих случаях необходимо решать вопросы геомеханики, поскольку в ходе открытой разработки довольно часто откосы уступов и борта карьеров деформируются с последующим движением значительных объемов горных пород в выработанное пространство. При этом в мировом случае имеется много случаев уничтожения горнотранспортного оборудования и гибели производственного персонала, как это было на месторождении медно-порфиновых руд в штате Юта на территории США («Бингем-карьер»). В горном деле исследованиям устойчивости горных выработок при ведении как открытых, так и подземных горных работ уделяется большое внимание, о чем свидетельствуют результаты работ по геомеханике, представленные в краткой подборке тематических научных трудов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Мульдообразные двухпластовые месторождения угля Большесырское, Ирбейское и Переясловское разрабатываются открытым способом в Красноярском крае на территории России и одно аналогичное месторождение НонгСон в провинции Куангнам во Вьетнаме. На этих месторождениях промышленные запасы угля представлены двумя пластами угля, характеристика которых представлена в табл. 1.

## ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ

Канд. техн. наук,  
доцент Технического  
университета им. Ле Куи Дон,  
11355, г. Ханой, Вьетнам

## ЮРОНЕН Ю.П.

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского государственного  
университета науки и технологий  
им. академика М.Ф. Решетнева,  
660049, г. Красноярск, Россия

## ЧЕРПАКОВА А.А.

Аспирант Сибирского  
федерального университета  
660041, г. Красноярск, Россия

## ХОРОБРЫХ Д.А.

Студент Сибирского  
федерального университета  
660041, г. Красноярск, Россия

## КОНДЕ А.С.

Студент Сибирского  
федерального университета  
660041, г. Красноярск, Россия

## СПИРИН В.Е.

Студент Сибирского  
федерального университета  
660041, г. Красноярск, Россия

**Мощность вскрышных пород и промышленных пластов на месторождениях угля в Красноярском крае**

The thickness of overburden and commercial seams at coal deposits in the Krasnoyarsk Krai

Название месторождения угля	Мощность вскрышных пород верхнего пласта, м	Мощность верхнего угольного пласта, м	Мощность междупластия, м	Мощность нижнего угольного пласта, м
Большесырское	24,5	4,5	20	25,2
Ирбейское	8,5	2,8	16	7,5
Переясловское	35,1	11,5	2	2,9
НонгСон (Вьетнам)	26	12	14	8

Характерный для мульдообразных угольных месторождений вертикальный разрез представлен на рис. 1. Отметим, что существенной особенностью порядка отработки месторождений угля этого типа является неизбежность производства открытых горных работ как по падению (сектор А), так и по восстанию угольных пластов в секторе Б (см. рис. 1). Порядок отработки месторождения показан на рис. 1 стрелкой желтого цвета.

В период строительства разрезных траншей или котлованов на этих месторождениях с целью вскрытия угольных пластов часто происходят деформации откосов уступов и бортов строящихся карьеров. В дальнейшем в ходе отработки угольных пластов также происходят многочисленные деформации горных выработок. Так, по данным спутниковой съемки выявлены деформации рабочих бортов карьеров на месторождениях угля в Красноярском крае и в провинции Куангнам во Вьетнаме. На рис. 2 контуры деформации рабочих бортов выделены линией желтого цвета. Так, в ходе открытой разработки Большесырского месторождения угля на южном рабочем борту карье-

ра образовался оползень шириной 70 и протяженностью 392 м (см. рис. 2, а).

Аналогичная деформация северного борта карьера НонгСон шириной 30 и протяженностью 110 м произошла в ходе открытой разработки одноименного месторождения угля во Вьетнаме (см. рис. 2, б).

**ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТА КАРЬЕРА**

В природе возникновения деформационных процессов рабочих и нерабочих бортов карьеров на угольных месторождениях важнейшую роль играет взаиморасположение борта карьера с пространственным расположением отрабатываемых угольных пластов. В период ведения горных работ в секторе А мульдообразных месторождений при обосновании технологических параметров элементов рабочих бортов, таких как высота уступа, ширина рабочей площадки, геомеханические, расчеты выполняются согласно принимаемому варианту порядка отработки угленасыщенного участка месторождения с падением угольных пластов в толщу горных пород, не вовлеченных в разработку.

В этом случае геометрические параметры элементов борта карьера являются в некоторой степени заниженными в сравнении с аналогичными показателями для варианта отработки угольных пластов по их восстанию в секторе Б. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно для условий открытой разработки мульдообразных двухпластовых угольных месторождений проводить расчеты геометрических параметров бортов карьера на всех этапах произ-

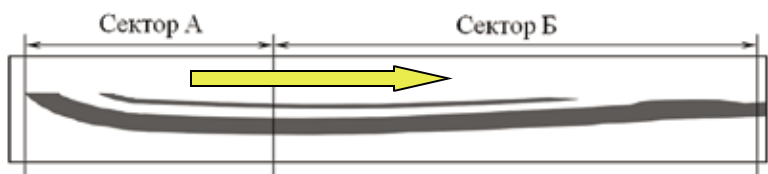


Рис. 1. Общий вид геологического строения мульдообразного месторождения угля с двумя промышленными пластами

Fig. 1. Overall view of the geological structure of a synclinal coal deposit with two commercial seams

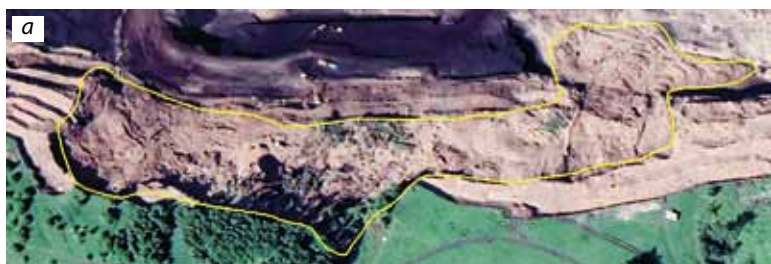


Рис. 2. Фрагменты космоснимков с выделением деформации рабочего борта:

а – в карьере на Большесырском месторождении угля (Россия); б – в карьере на месторождении угля НонгСон (Вьетнам)

Fig. 2. Fragments of space images with highlighted deformation of the loading face:

а – in the open pit at the Bolshesyrsk coal deposit (Russia); б – in the open pit at the Nong Son coal deposit (Vietnam)

водства горных работ с учетом изменчивости пространственного расположения угольных пластов в углевмещающей толще.

Предложенный подход к определению геометрии технологических параметров элементов бортов карьеров в зависимости от угла наклона угольных пластов в углевмещающей толще позволит формировать предложения по оптимизации конструкции борта карьера, удовлетворяющей как требованиям экономической эффективности добычи угля, так и требованиям безопасного производства открытых горных работ.

Согласно типу горных пород, слагающих углевмещающую толщу, их физико-механические свойства на ис-

следуемых месторождениях варьируют в следующих интервалах: плотность вскрышных пород изменяется в диапазоне от 1,87 до 2,20 т/м<sup>3</sup>, значение такого показателя, как «сцепление в массиве» изменяется в довольно широком диапазоне – 2,0-48,3 т/м<sup>2</sup>, угол внутреннего трения изменяется от 16 до 37 градусов; для угольных пластов плотность равна 1,27-1,30 т/м<sup>3</sup>, сцепление в массиве – 14,0-14,5 т/м<sup>2</sup>, угол внутреннего трения – 30-37 градусов, для контакта «вскрышные породы – угольный пласт» плотность – 1,28-1,31 т/м<sup>3</sup>, сцепление – 2,5-2,8 т/м<sup>2</sup>, угол внутреннего трения – 12-15 градусов.

Для проведения геомеханических расчетов была использована плоская постановка, расчетные верти-

кальные сечения отражали мульдообразное строение месторождения с известными углами падения крыльев мульды. Расчеты устойчивости выполнялись в программном комплексе Rocscience для геотехнических расчетов горнодобывающей отрасли. Программа выполняет расчет множества вариантов криволинейных поверхностей скольжения с использованием метода равновесия и вычисляет по каждой из них коэффициент запаса устойчивости (КЗУ). Используемый программный комплекс позволяет анализировать отдельные поверхности скольжения и определить критическую поверхность скольжения с наименьшим КЗУ.

Расчеты устойчивости бортов карьера с учетом падения пластов угля выполнены в соответствии с характерными для каждого из месторождений параметрами откосов борта. В качестве критерия устойчивости был определен нормативный коэффициент запаса устойчивости  $n_{\text{норм}} = 1,3$ , при превышении (или равенстве) которого удовлетворяется требование безопасности производства открытых горных работ. Расчетные значения КЗУ представлены в табл. 2. На рис. 3 показаны схемы, используемые в геомеханическом обосновании устойчивости бортов карьеров для отдельно взятого вертикального сечения. Графические построения выполнены для четырех поверхностей скольжения с условной нумерацией от 1 до 4 (рис. 3).

На основе информации, представленной в табл. 2 и на рис. 3, установлены две формы поверхности скольжения массива горных пород, стремящихся к обрушению при их обработке экскаваторами. Так, установле-

Таблица 2

**Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости откосов уступов на мульдообразных двухпластовых угольных месторождениях**

Results of calculating the safety factor of bench slopes at the synclinal two-seam coal deposits

Номер поверхности скольжения	Сектор падения угольных пластов			Сектор восстания угольных пластов		
	Высота, м	Угол, градус	КЗУ	Высота, м	Угол, градус	КЗУ
<b>Большесырское месторождение</b>						
1	25	43	1,63	25	43	1,51
2	30	47	1,57	30	47	1,45
3	55	52	1,51	55	52	1,39
4	75	57	1,45	75	57	1,33
<b>Ирбейское месторождение</b>						
1	28	29	1,60	28	29	1,55
2	36,5	30	1,54	36,5	30	1,47
3	52,5	31	1,49	52,5	31	1,42
4	60	32	1,50	60	32	1,35
<b>Переясловское месторождение</b>						
1	48,5	29	1,58	48,5	29	1,45
2	60	30	1,53	60	30	1,40
3	62	30	1,50	62	30	1,35
4	65	30	1,48	65	30	1,32
<b>НонгСон (Вьетнам)</b>						
1	26	41	1,61	26	41	1,52
2	38	30	1,55	38	30	1,43
3	52	31	1,48	52	31	1,32
4	60	34	1,49	60	34	1,28

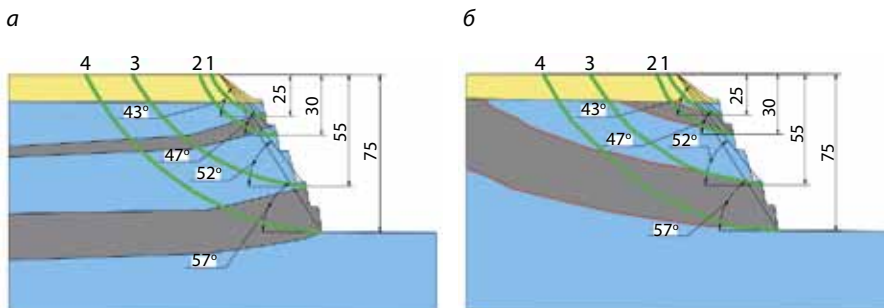


Рис. 3. Схемы для проведения геомеханических расчетов:  
а – при ведении открытых горных работ по падению угольных пластов;  
б – при ведении открытых горных работ по восстанию угольных пластов

Fig. 3. Diagrams for geomechanical calculations:  
а – in case of open-pit mining operations down the coal seams dip;  
б – in case of open-pit mining operations up the coal seams dip

но, что при движении открытых горных работ по падению пластов в секторе А поверхность скольжения имеет круглоцилиндрическую форму (см. рис. 3, а), а при отработке угленасыщенного участка месторождения в секторе Б поверхность скольжения имеет круглоцилиндрическую форму со сложным построением в нижней части с переходом к наклонной поверхности – контакту угольного пласта с подстилающими горными породами.

### ВЫВОДЫ

Итак, к настоящему времени разработка открытым способом мульдообразных месторождений угля в границах тех угленасыщенных участков, в которых горные работы уже производятся по восстанию угольных пластов либо подходят к этим участкам, угледобывающие предприятия начинают сталкиваться с серьезной проблемой, касающейся устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. Вместе с тем для мульдообразных месторождений угля необходимым считаем обоснование режима горных работ, выбора комплексов горнотранспортного оборудования в увязке с геомеханическими расчетами устойчивого состояния основных элементов конструкции рабочего борта карьера с учетом коэффициента запаса устойчивости, значение которого напрямую зависит от пространственного расположения угольных пластов в массиве горных пород и порядка их отработки.

### Список литературы • References

1. Геомеханические проблемы отработки нижних горизонтов месторождения Южное (Приморский край) / М.А. Ломов, А.В. Сидляр, А.В. Константинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 12-2. С. 87-99. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-122-0-87. Lomov M.A., Sidlyar A.V., Konstantinov A.V., Grunin A.P. Geomechanical challenges of mining the lower levels of the Yuzhnoye deposit (Primorsky Krai). *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'* 2023;(12-2):87-99. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-122-0-87.
2. Protosenya A.G., Belyakov N.A., Bouslova M.A. Modelling of the stress-strain state of block rock mass of ore deposits during development by caving mining systems. *Journal of Mining Institute*. 2023;(262):619-627.
3. Степанов И.Ю. Проектирование информационной системы определения деструктивных изменений углепородного массива // Уголь. 2023. № 11. С. 113-119. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-113-119. Stepanov I.Yu. Designing an information system for determining destructive changes in the carboniferous massif. *Ugol'* 2023;(11):113-119. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-113-119.
4. Цюпа Д.А. Методические и методологические составляющие процедуры прогнозной оценки деформаций и смещений в области взаимосвязанного влияния ведения подземных горных работ // Уголь. 2023. № 8. С. 96-100. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-96-100. Tsyupa D.A. Methodical and methodological components of the procedure for predictive assessment of deformations and displacements in the field of interrelated influence of underground mining

operations. *Ugol'* 2023;(8):96-100. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-96-100.

5. Исьянов О.А., Ильдеров Д.И., Супрун В.И., Радченко С.А. Опыт стабилизации оползневых процессов на Уртуйском разрезе // Горный журнал. 2021. № 1. С. 102-106. Isyanov O.A., Ilderov D.I., Suprun V.I., Radchenko S.A. Experience of landslide processes stabilization at the Urtuyskiy strip mine. *Gornyj zhurnal*. 2021;(1):102-106. (In Russ.).
6. Adeyemi Emman Aladejare, Musa Adebayo Idris. Performance analysis of empirical models for predicting rock mass deformation modulus using regression and Bayesian methods. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* 2020;12(6): 1263-1271.
7. Liren Ban, Zhigang Tao, Weisheng Du, Yuhang Hou. A consecutive joint shear strength model considering the 3D roughness of real contact joint surface. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2023;33(5):617-624.
8. Silveira L.R.C., Lana M.S., Alameda-Hernández P., dos Santos T.B. A New Methodology for Rockfall Hazard Assessment in Rocky Slopes. *Mining*. 2022;(2):791-808. DOI: 10.3390/mining2040044.
9. Kavvadas M., Roumpos C., Servou A., Paraskevis N. Geotechnical Issues in Decommissioning Surface Lignite Mines – The Case of Amyntaion Mine in Greece. *Mining*. 2022;(2)6:78-296. DOI: 10.3390/mining2020015.
10. Akram Deiminiat, Jonathan D. Aubertin, Yannic Ethier. On the calibration of a shear stress criterion for rock joints to represent the full stress-strain profile. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024;16(2):379-392. DOI: 10.1016/j.jrmge.2023.07.019.

### Authors Information

**Zenkov I.V.** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Deputy Director for Scientific Work, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, e-mail: zenkoviv@mail.ru

**Patachakov I.V.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Redkin D.V.** – Postgraduate student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Trinh Le Hung** – PhD (Engineering), Associate Professor, Le Quy Don Technical University, Hanoi, 11355, Vietnam

**Yuronen Yu.P.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

**Cherpakova A.A.** – Postgraduate student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Khorobrykh D.A.** – Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Conde A.S.** – Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Spirin V.E.** – Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.03.2024

Поступила после рецензирования: 16.04.2024

Принята к публикации: 26.04.2024

### Paper info

Received March 19, 2024

Reviewed April 16, 2024

Accepted April 26, 2024