

УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА С УЧЕТОМ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА

*Ш.Р.Уринов¹, С.А.Мансурова², Н.А.Боймуродов³,
К.А.Ахмедов⁴, М.Б.Мирзахмедов⁴, Ш.Т.Ярашов⁵*

*1 – д.т.н., DSc, профессор, Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС», г.Алматы,
E-mail: sh_urinov@mail.ru*

*2 – PhD докторант, Ташкентский государственный
технический университет, г.Ташкент.*

*3 – Старший преподаватель, Каршинский инженерно-
экономический институт, г.Карши.*

*4 – Ассистент, Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС» в г.Алматы.*

*5 – Ассистент, Навоийского государственного горно-
технологического университета.*

Аннотация. Произведено прогнозирование устойчивости бортов карьера с учетом временного фактора. Установлено, что, учитывая наследственную ползучесть горных пород, можно прогнозировать устойчивость бортов и откосов уступов карьера с учетом временного фактора.

Ключевые слова: контур карьера, формирование откосов, предварительное щелеобразование, взрывание сближенных зарядов, экспериментальные исследования действия волн напряжений, исследование трещинообразования.

STABILITY OF QUARRY SIDES TAKING INTO ACCOUNT THE TIME FACTOR

*Sh.Urinov¹, S.Mansurova², N.Boymurodov³, K.Axmedov⁴,
M.Mirzaxmedov⁴, Sh.Yarashov⁵*

*1 – Doctor of Technical Sciences, DSc, Professor, National
Research Technological University "MISiS", Almaty,
E-mail: sh_urinov@mail.ru*

*2 – PhD doctoral student, Tashkent State Technical University,
Tashkent.*

*3 – Senior Lecturer, Karshi Engineering-Economics Institute,
Karshi.*

*4 – Assistant, National Research Technological University "MISiS"
in Almaty.*

5 – Assistant, Navoi State Mining and Technology University.

Abstract. The stability of the quarry sides was predicted taking into account the time factor. It is established that, taking into account the hereditary creep of rocks, it is possible to predict

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>

the stability of the sides and slopes of the ledges of the quarry, taking into account the time factor.

Keywords: open pit contour, slope formation, preliminary slit formation, blasting of close charges, experimental studies of the action of stress waves, crack formation research.

Введение. Произведено прогнозирование устойчивости бортов карьера с учетом временного фактора. Установлено, что, учитывая наследственную ползучесть горных пород, можно прогнозировать устойчивость бортов и откосов уступов карьера с учетом временного фактора.

Методы и обсуждение. Методы прикладной теории упругости, предполагающие материал сплошным, изотропным и однородным, позволяют по тем или иным критериям, основанным на той или иной теории прочности, сравнивать между собой степень опасности различных напряженных состояний, которые подробно описан в работах [1-33].

Считая, что прочность материала зависит только от напряженного состояния, определяемого тензором напряжений

$$T_n = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}, \quad (1)$$

искомое условие прочности в общем виде можно выразить неравенством

$$F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, m_i) \leq A, \quad (2)$$

которое в трехмерном пространстве $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ описывается предельной поверхностью, ограничивающей область безопасных напряженных состояний.

В уравнении (2) величина A – критерий прочности – обычно имеет определенную физическую интерпретацию: максимальное нормальное или касательное напряжение, максимальное удлинение, энергия формоизменения и т.д.

Константы материала m_i определяются по результатам испытаний при простейших нагружениях путем совместного решения уравнений, написанных в виде (2), применительно к каждому из проведенных испытаний.

Число констант, подлежащих определению, для большинства гипотез не превышает трех.

Для определения трех констант испытания материалов, как правило, проводятся при одноосном растяжении, сжатии и кручении. Для этих видов нагружений условие (2) запишется в виде уравнений

$$\begin{cases} F_1(\sigma_p, m_i) \\ F_2(\sigma_{сж}, m_i) \\ F_3(\tau_k, m_i) \end{cases} = A \quad (3)$$

Система уравнений (3) позволяет исходные константы представить в виде функций

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>

пределов прочности при соответствующих видах нагружения.

В связи с тем, что различные материалы, подвергающиеся нагружению, имеют соответствующую им остаточную деформацию при разрушении, которая характеризует материал с точки зрения хрупкости и пластичности, теории прочности можно поделить на две группы – для хрупких и пластичных материалов.

Практически все породы, слагающие прибортовое пространство карьера, относятся к хрупким.

Во многих источниках можно найти рекомендации о целесообразности использования применительно к хрупким материалам теории максимальных, нормальных напряжений (первая теория прочности) и теории максимальных, нормальных удлинений (вторая теория прочности).

Как показывает анализ экспериментальных данных [21, 22], теория максимальных нормальных напряжений применима только для таких очень хрупких материалов, как стекло, фарфор, и т.п., а использование теории максимального удлинения совершенно необоснованно.

Для характеристики прочности горных пород при расчете запаса устойчивости борта воспользовались теорией прочности Кулона-Мора, основные положения которого следующие:

- 1) путем сдвига по площадкам скольжения происходят деформации разрушения;
- 2) сцепление и трение препятствует сдвигу по площадке скольжения;
- 3) величиной только максимальных (σ_1) и главных минимальных (σ_3) напряжений определяется прочность материала, а средние по величине главные напряжения (σ_2) на прочность не оказывают влияния.

Условие прочности Кулона-Мора имеет вид [22]

$$\tau_c = \sigma_n / \operatorname{ctg} \varphi + C \quad (4)$$

где τ_c – касательные напряжения на площадках скольжения;

C – сцепление, МПа;

σ_n – нормальное напряжение на площадках скольжения;

φ – угол внутреннего трения.

Уравнение (4) называется также условием предельного состояния, которое представляется в общем виде [25]

$$\tau_{xy} = 1/2 \sqrt{\left((\sigma_x + \sigma_y) \sin \varphi + 2 \cdot C \cos \varphi \right)^2 - (\sigma_x - \sigma_y)^2} \quad (5)$$

Модель Кулона-Мора может иметь две прочностные характеристики пород: φ и C .

Следует отметить, что при всестороннем сжатии путем сдвига происходит разрушение пород. Если появляются растягивающие напряжения, то разрушение происходит в виде отрыва по площадке, который перпендикулярен направлению растягивающих напряжений. Данная теория сопровождается ограничением применения модели Кулона-Мора только областью сжимающих напряжений.

Поэтому в случае возникновения растягивающих напряжений в данной точке

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>

используется первая теория прочности.

Рассчитав поле напряжений в массиве, определяющееся конфигурацией границ исследуемой области и воздействующими на эти границы внешними силами, на основе критерия прочности Кулона-Мора строятся изолинии функции разрушения F . В точке (области) массива, где $F \rightarrow \max$, происходит зарождение разрушения, квазистатическое развитие которого определяется изолиниями функции разрушения F .

Данный критерий определяет прочность для статического состояния породного массива.

Реальный породный массив под воздействием напряженного состояния изменяет свои свойства во времени, т.е. проявляет свойства наследственной ползучести.

Феноменологическая теория наследственной ползучести развита в трудах Ж.С. Ержанова, в которых рассматриваются различные типы ядер наследственной ползучести применительно к горным породам: экспоненциальная функция дробного порядка Ю.Н. Работнова; разностное степенное ядро типа Абеля. Указанная теория является завершенной и используется при описании ползучести изотропных, анизотропных и слоистых массивов горных пород [12, 13].

Нелинейный характер ползучести учитывается следующим образом

$$\varepsilon(t) = E^{-1} \left(\sigma(t) + \int_1^2 L(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right) \quad (6)$$

где E – модуль упругости;

$\sigma(\tau)$ – напряжение, действующее в течение времени $d\tau$;

$L(t-\tau) = \delta(t-\tau)\alpha$ – разностное ядро ползучести типа Абеля;

α, δ – постоянные, характерные для определенного типа пород.

Перемещения, вызванные напряженным состоянием в массиве, имеют вид

$$\begin{aligned} I_{x,l} \cdot P_l^S &= -1/(4\pi^2) \left[p_x^S (b_4 r^2 \ln r + b_5 r_y^2) + p_y^S r_x r_y b_5 \right], \\ I_{y,l} \cdot P_l^S &= -1/(4\pi^2) \left[-p_x^S r_x r_y b_5 + p_y^S (b_4 r^2 \ln r + b_5 r_x^2) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{где } r = (r_x^2 + r_y^2)^{0.5}; \quad b_4 = (3-4\nu)(1+\nu)/(1-\nu); \quad b_5 = (1+\nu)/(1-\nu).$$

Согласно принципу Вольтерра-Работнова заменим в (2.25) упругие константы временными операторами

$$\bar{E} = E \exp(-\omega \cdot \beta \cdot t^{1-\alpha}); \quad \bar{\nu} = \nu [1 + (0.5/\nu - 1) \exp(-\omega \cdot \beta \cdot t^{1-\alpha})].$$

Тогда коэффициенты, входящие в выражения, определяющие компоненты напряжений и перемещений, будут иметь вид

$$\begin{aligned} b_1 &= 3 + \bar{\nu}/(1-\bar{\nu}); \quad b_2 = 2 - 1/(1-\bar{\nu}); \quad b_3 = 1 + 3\bar{\nu}/(1-\bar{\nu}); \quad b_4 = (3-4\bar{\nu})(1+\bar{\nu})/(1-\bar{\nu}); \quad b_5 = (1+\bar{\nu})/(1-\bar{\nu}); \\ \omega &= (1-\alpha)^{1-\alpha}; \quad \beta = \delta \cdot \Gamma^{(1-\alpha)}, \end{aligned}$$

где Γ – табулированная гамма-функция.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>

Таким образом, учитывая наследственную ползучесть горных пород, можно прогнозировать устойчивость бортов и откосов уступов карьера с учетом временного фактора.

В [12, 13] приведены параметры ползучести α и δ для широкого спектра горных пород, значения которых учитываются при моделировании.

Вывод. Произведено прогнозирование устойчивости бортов карьера с учетом временного фактора. Установлено, что учитывая наследственную ползучесть горных пород, можно прогнозировать устойчивость бортов и откосов уступов карьера с учетом временного фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zairov, Sherzod Sharipovich; Urinov, Sherali Raufovich; and Nomdorov, Rustam Uralovich (2020) "Modelling and determination of rational parameters of blast wells during preliminary crevice formation in careers," *Chemical Technology, Control and Management*: Vol. 2020: Iss. 5 , Article 25. DOI: <https://doi.org/10.34920/2020.5-6.140-149>. <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2020/iss5/25>
2. Zairov, Sh.Sh.; Urinov, Sh.R.; Tukhtashev, A.B.; and Borovkov, Y.A. (2020) "Laboratory study of parameters of contour blasting in the formation of slopes of the sides of the career," *Technical science and innovation*: Vol. 2020: Iss. 3, Article 14. <https://uzjournals.edu.uz/btstu/vol2020/iss3/14>
3. Urinov Sh.R., Saidova L.Sh. Theoretical studies of the influence of deep pit parameters on the choice of technological schemes for transporting rock mass. *Solid State Technology*, Volume: 63 Issue: 6, 2020, pp.429-433. <https://www.solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/1549>
4. Urinov Sherali Raufovich, Zairov Sherzod Sharipovich, Ravshanova Muhabbat Husniddinovna, Nomdorov Rustam Uralovich. (2020). Theoretical and experimental evaluation of a static method of rock destruction using non-explosive destructive mixture from local raw materials. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology*, 17(6), 14295-14303. <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/4186>
5. Urinov Sh.R., Saidova L.Sh. Theoretical studies of the influence of deep pit parameters on the choice of technological schemes for transporting rock mass. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*, Volume: 7 Issue: 2, 2020, pp. 709-713. https://ejmcm.com/article_2124.html
6. Zairov Sherzod Sharipovich, Urinov Sherali Raufovich, Ravshanova Muhabbat Husniddinovna, Tukhtashev Alisher Bahodirovich. (2020). Modeling of creating high internal pressure in boreholes using a non-explosive destructive mixture. *PalArch's* DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>

- Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology, 17(6), 14312-14323. Retrieved from <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/4189>
7. Zairov S.S., Urinov S.R., Nomdorov R.U. Ensuring Wall Stability in the Course of Blasting at Open Pits of Kyzyl Kum Region. Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia). 2020;5(3):235-252. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-235-252>
 8. Urinov Sherali Raufovich, "Theoretical and experimental evaluation of the contour explosion method for preparing slopes in careers", JournalNX - A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal, Volume 6, Issue 11, ISSN : 2581-4230, Page No. 461-467. <https://journalnx.com/papers/20152085-contour-explosion-method.pdf>
 9. Urinov Sherali Raufovich, "Determination of rational parameters of blast wells during preliminary crevice formation in careers", JournalNX - A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal, Volume 6, Issue 11, ISSN : 2581-4230, Page No. 468-479. <https://journalnx.com/papers/20152086-rational-parameters.pdf>
 10. Норов Ю.Д., Уринов Ш.Р., Хасанов О.А., Норова Х.Ю. Исследование закономерности изменения угла естественного откоса грунтовой обваловки траншейных зарядов выброса в зависимости от их массовой влажности, угла внутреннего трения и величины сопротивления сдвига грунтового массива в лабораторных условиях // Сборник №129/86 (2020г.) Теория и практика взрывного дела. // https://sbornikvd.ru/vd_12986/index.html
 11. Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Равшанова М.Х., Номдоров Р.У. Физико-техническая оценка устойчивости бортов карьеров с учетом технологии ведения буровзрывных работ. // Бухоро, изд-во «Бухоро», 2020. – 175 с.
 12. Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Равшанова М.Х. Обеспечение устойчивости бортов карьеров при ведении взрывных работ. - Монография. - LAP LAMBERT Academic Publishing. - Germany, 2020. - 175 с.
 13. Ивановский Д.С., Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р. Перемещение разнопрочных горных пород энергией взрыва // Монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing. – Germany, 2020. – 116 с.
 14. Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Ивановский Д.С. Управление перемещением разнопрочных горных пород энергией взрыва на сброс // Бухоро, изд-во «Бухоро», 2020. – 116 с.
 15. Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Тухташев А.Б. Теоретическое обоснование методов оценки устойчивости откосов трещиноватых пород // Научно-практический электронный журнал «ТЕСНика». – Нукус, 2020. - №2. – С. 50-55

- 16.Тухташев А.Б., Уринов Ш.Р., Заиров Ш.Ш. Разработка метода формирования конструкции и расчета устойчивости бортов глубоких карьеров // Научно-практический электронный журнал «ТЕСНика». – Нукус, 2020. - №2. – С. 56-58
- 17.Уринов Ш.Р., Номдоров Р.У., Джуманиязов Д.Д. Исследование факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера // Journal of advances in engineering technology ISSN:2181-1431, 2020, No.1, pp.10-15
- 18.Заиров Ш.Ш., Ўринов Ш.Р., Номдоров Р.У. Карер бортларининг турғунлигини бошқариш усулларини ишлаб чиқиш // International Journal Of Advanced Technology And Natural Sciences, Vol. 1 № 1 (2020), pp.51-63. DOI: 10.24412/2181-144X-2020-1-51-63
- 19.Заиров Ш.Ш., Махмудов Д.Р., Уринов Ш.Р. Теоретические и экспериментальные исследования взрывного разрушения горных пород при различных формах зажатой среды // Горный журнал. – Москва, 2018. – №9. – С. 46-50. DOI: [10.17580/gzh.2018.09.05](https://doi.org/10.17580/gzh.2018.09.05)
- 20.Норов Ю. Д., Умаров Ф. Я., Уринов Ш. Р., Махмудов Д. Р., Заиров Ш. Ш. Теоретические исследования параметров подпорной стенки при различных формах зажатой среды из взорванной горной массы // «Известия вузов. Горный журнал», Екатеринбург, 2018.– №4. – С. 64-71. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-4-64-71
- 21.Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р. Действие взрыва оконтуривающих скважинных зарядов взрывчатых веществ в приконтурной зоне карьера // Бухоро, изд-во «Бухоро», 2014. – 127 с.
- 22.Норов Ю.Д., Уринов Ш.Р. Методы управления направлением взрыва траншейных зарядов выброса в грунтах // Ташкент, Фан, 2007, 135 с.
- 23.Yakubov S.X., Urinov Sh.R., Latipov Z.Y., Abdurafova M.Sh., Kholiyorova Kh.K., Abdurafov A.Sh. Making decisions in computer-aided design systems // POLISH SCIENCE JOURNAL (ISSUE 3(36), 2021) - Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 2021. Part 1, pp.91-98.
- 24.Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Эломонов Ж.С., Тошмуродов Э.Д. Исследование конструкции бортов и вычисление напряжений в массиве горных пород месторождения Кокпатас // Journal of Advances in Development Of Engineering Technology Vol.2(2) 2020, стр. 26-32. DOI 10.24412/2181-1431-2020-2-26-32
- 25.Норов Ю.Д., Уринов Ш.Р. Геометрические размеры трапецевидной формы грунтовой обваловки траншейного заряда ВВ. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №2 июнь 2004 г. 29-30 с.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>

- 26.Норов Ю.Д., Уринов Ш.Р. Разработка эффективных параметров грунтовой обваловки траншейных зарядов выброса физическим моделированием. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №4 декабрь 2005 г. 34-38 с.
- 27.Норов Ю.Д., Уринов Ш.Р. Исследование закономерности изменения угла внутреннего трения грунтовой обваловки траншейных зарядов выброса в зависимости от их угла естественного откоса. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №3 сентябрь 2006 г. 33-35 с.
- 28.Норов Ю.Д., Уринов Ш.Р. Исследование траншейных зарядов выброса в зависимости от размеров и форм грунтовой обваловки. Горный информационно-аналитический бюллетень. Взрывное дело. Отдельный выпуск 5, 2007. 400-409 с.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15198026>
- 29.Бибик И.П., Ивановский Д.С., Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р. Определение коэффициента сброса при перемещении разнопрочных горных пород взрывами скважинных зарядов взрывчатых веществ в промышленных условиях. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №3 сентябрь 2010., 19-23 с.
- 30.Уринов Ш.Р., Норов Ж.А., Халимова Н.Д. Ослабление прочности горных пород в подземных условиях. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №1 март, 2012., 41-43 с.
- 31.Уринов Ш.Р., Эгамбердиев О.М. Методика физического моделирования действия траншейных зарядов выброса. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №3 сентябрь 2013., 55-57 с.
- 32.Сувонов О.О., Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Носирова Ш.Н., Норов А.Ю. Теоретическое исследование разрушения продуктивного пласта урана взрывом камуфлетного скважинного заряда взрывчатых веществ. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №3 сентябрь 2014., 32-37 с.
- 33.Норов Ю.Д., Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р. Разработка математической модели действия щелевого заряда взрывчатых веществ в массиве горных пород. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана» №3 сентябрь 2015., 32-37 с.