

Методическая основа обоснования рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера

Н. Ф. Низаметдинов¹, А. С. Туякбай², Р. Ф. Низаметдинов^{1✉},
А. Р. Естаева³, А. А. Турсынбеков⁴

¹Карагандинский технический университет имени А. Сагинова,
г. Караганда, Республика Казахстан

²Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова,
г. Астана, Республика Казахстан

³Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана, Республика Казахстан

⁴Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

✉ niz36@mail.ru

Резюме. Разработан научно-методический подход к обоснованию рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера, основанный на проведении комплексных геомеханических исследований горных пород непосредственно в прибортовых массивах по кернам специально пробуренных инженерно-геологических скважин для определения размеров структурных блоков, индекса качества массива и коэффициента структурного ослабления и параллельного лабораторного изучения прочностных и физических свойств горных пород. Оценка устойчивости бортов карьера определяется различными методами расчета, что позволяет убедиться в их надежности и хорошей сходимости. Рекомендуются прогрессивные параметры откосов уступов и бортов карьера при их высоте в 300 м с углами наклона до 50° при достаточном коэффициенте запаса устойчивости, который должен удовлетворять нормативным требованиям, выше 1,3.

Ключевые слова: борт карьера, инженерно-геологическая скважина, керн, образец, прочностные свойства горных пород, коэффициент структурного ослабления, индекс качества массива, методы расчета откосов, коэффициент запаса устойчивости

Для цитирования: Низаметдинов Н.Ф., Туякбай А.С., Низаметдинов Р.Ф., Естаева А.Р., Турсынбеков А.А. Методическая основа обоснования рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 60-65. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-60-65>.

Methodological basis for substantiating rational parameters of slopes ledges and sides of a quarry

N. F. Nizametdinov¹, A. S. Tuyakbay², R. F. Nizametdinov^{1✉},
A. R. Yestayeva³, A. A. Tursynbekov⁴

¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

²Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov,
Astana, Republic of Kazakhstan

³S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan

⁴Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ niz36@mail.ru

Abstract. A scientific and methodological approach has been developed to determine optimal parameters for the slopes of quarry benches and walls, based on comprehensive geomechanical studies of rock masses conducted directly in the rock masses adjacent to the quarry walls using core samples from specially drilled engineering-geological boreholes to determine the dimensions of structural

blocks, the massif quality index, and the structural weakening coefficient, as well as parallel laboratory studies of the strength and physical properties of the rock. The stability of quarry walls is assessed using various calculation methods, which confirms their reliability and good convergence. Progressive parameters are recommended for bench slopes and quarry walls with a height of 300 m and inclination angles of up to 50°, provided there is a sufficient stability margin—which must meet regulatory requirements—greater than 1.3.

Keywords: Quarry face, engineering-geological borehole, core, sample, rock strength properties, structural weakening coefficient, rock mass quality index, slope design methods, stability margin coefficient

For citation: Nizametdinov N.F., Tuyakbay A.S., Nizametdinov R.F., Yestayeva A.R., Tursynbekov A.A. Methodological basis for substantiating rational parameters of slopes ledges and sides of a quarry. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 60-65. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-60-65>.

Введение

Повышение устойчивости откосов уступов и бортов карьеров должно базироваться на детальном и комплексном изучении физико-механических свойств горных пород, особенностей структуры и трещиноватости прибортовых массивов, а также на использовании обоснованных методов расчетов по оценке устойчивости откосов, что позволяет отрабатывать месторождения максимально крутыми углами наклона откосов и сокращать объемы вскрышных работ либо дополнительно добывать запасы полезных ископаемых. С этой целью на стадии предполагаемой открытой разработки месторождений, особенно глубоких карьеров, предлагается закрепить методический подход. Помимо обычного геологического изучения строения месторождения следует особое внимание уделять прибортовым массивам путем дополнительного бурения геотехнических скважин, позволяющих детально изучить строение и структуру прибортовых массивов и определить прочностные свойства пород по кернам, отобранным из пробуренных скважин. В этом случае появляется уникальная возможность, используя полученные породные керны, определить размеры структурных блоков, элементы залегания трещин и разрывных нарушений для вычисления коэффициентов структурного ослабления, индекса качества массива и провести исследования взаимосвязей между структурными особенностями горного массива и глубиной их залегания с целью повышения надежности определения прочностных свойств горных пород в массиве, что позволяет в конечном итоге рекомендовать наиболее обоснованные параметры откосов уступов и бортов открытых разработок.

В начале геологической разведки по данным бурения инженерно-геологических скважин осуществляется лишь изучение геологического строения месторождения и общей структуры горного массива. Затем на основе дополнительно пробуренных геотехнических скважин в прибортовых массивах под углом наклона в 60° и направленных перпендикулярно к простиранию борта карьера, а также на основе изучения кернов, отобранных по всей глубине геотехнических скважин, как, например, С-20-02, С-20-03, С-20-04, С-20-05, С-20-06 на месторождении Кокташжал (рис. 1 и 2), определяются размеры породных блоков и их ориентировка.

При этом пробы отбирались из кернов для каждой литологической разности через 50-метровый интервал по высоте в количестве, достаточном для изготовления образцов к проведению испытаний на сжатие, разрыв, косой срез (с учетом существующих ГОСТов) [1–3]. Испытания проводились в сертифицированной лаборатории физики горных пород ТОО «Центргеоаналит» по всем выделенным типам пород. Надежность обоснования прочностных свойств горных пород основывается на результатах поинтервального из-

учения физических и прочностных свойств пород, а также на детальном обследовании состояния кернов на наличие в них трещин, зон ослаблений и заполнителей с целью вычисления коэффициентов структурного ослабления (λ_0) и показателя качества массива (RQD).

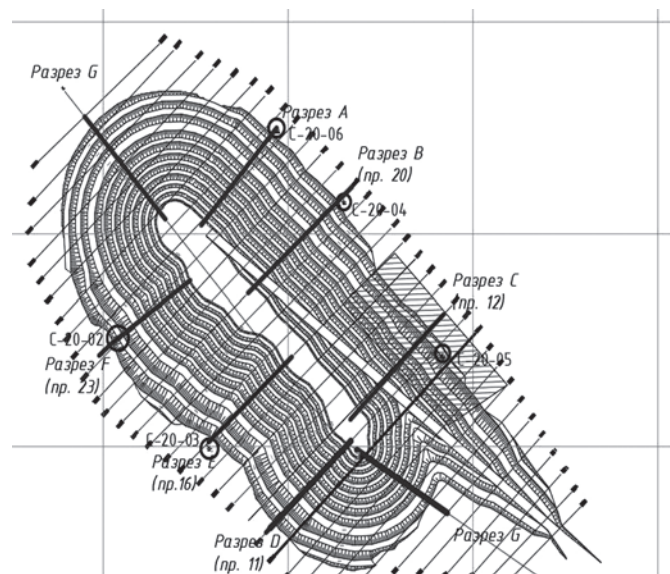


Рис. 1. План карьера с расчетными разрезами на месторождении /

Fig. 1. Mine plan with projected cross-sections of the deposit

Изучение структурных блоков определялось непосредственным исследованием кернов геологических скважин (рис. 3). Для чего фотографировались все керны, находящиеся в специальных деревянных ящиках. Затем изучалось состояние и характер трещин и разломов, включая их заполнители. При этом учитывалось наличие искусственных разрушений кернов при бурении и укладке их в упаковочные ящики. Выявлено, что кора выветривания колеблется в пределах 30–50 м. В геологической скважине С-20-05 обнаружена аномальная зона ослабления с поверхности до глубины 80 м. Поэтому более детально изучено геологическое строение в северной части юго-восточного борта, что позволило определить зону дробления пород в период образования месторождения.

Для надежного определения коэффициента структурного ослабления λ_0 проводился анализ изменения размеров структурных блоков по всей глубине пробуренных скважин (рис. 4), что позволило нам выявить логарифмическую зависимость [4, 5]: $\lambda_0 = -0,016 \ln(H) + 0,1272$ с величиной аппроксимации $R^2 = 0,978$. Это показывает наличие надежной связи между рассматриваемыми показателями, где H – глубина залегания породы. Зависимость обеспечивает возможность надежного перехода сцепления пород от образца к массиву.

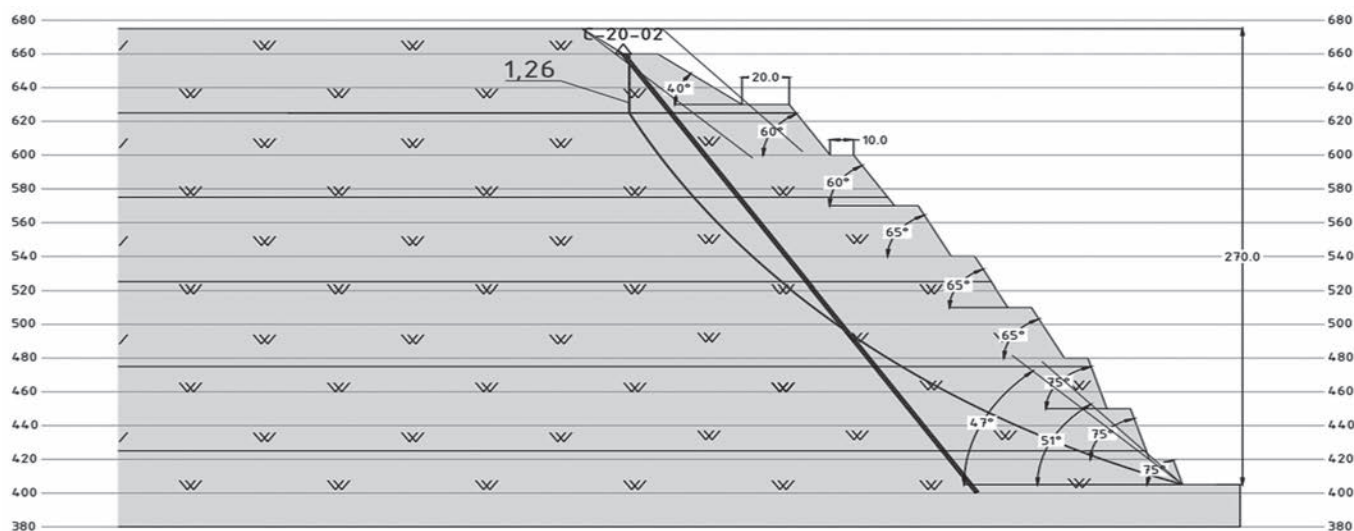


Рис. 2. Северо-западный борт: разрез F рядом с геологическим профилем 23, пробуренной скважиной C-20-02 /
Fig. 2. Northwest side: Section F near Geological Profile 23, drilled by Well C-20-02



Рис. 3. Фрагменты определения размеров структурных блоков по глубине пробуренной скважины C-20-02 /
Fig. 3. Excerpts from the sizing of structural blocks based on the depth of the drilled well C-20-02

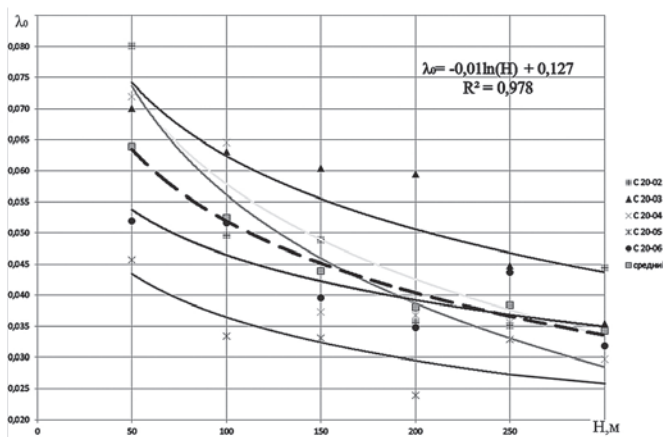


Рис. 4. График зависимости $\lambda_0 = f(H)$ /
Fig. 4. Graph of the relationship between $\lambda_0 = f(H)$

Для оценки устойчивости прибортовых массивов на примере карьера Коктасжал построены геологические разрезы по простиранию бортов карьера (рис. 2) и обосновано сцепление в массиве K_m через вычисленный коэффициент структурного ослабления массива λ_0 (рис. 4) с использованием формулы $K_m = K_{обр} \lambda_0$, а затем и расчетное значение сцепления пород с учетом коэффициента запаса, равного 1,2–1,3.

Для сопоставления отечественных и мировых методов оценки устойчивости откосов использовался рейтинг по Хуку – Брауну с целью геомеханической оценки бортов карьера. В этом методе получаем оценку прочности массива горных пород, основанную на исследовании блочности

массива и состояния поверхностей нарушений (трещин) [5]. Данный показатель прочности использует шесть исходных параметров: прочность пород на одноосное сжатие; показатель качества пород RQD; расстояние между трещинами; состояние поверхности трещин; ориентацию простирания структуры и физико-механических свойств пород.

При определении рейтинговых показателей на карьере Коктасжал определено, что северо-восточный прибортовой массив относится к крепким и очень крепким породам. На глубинах до 22,0 м керны сильно разрушены, что подтверждает наличие интенсивной нарушенности пород в коре выветривания. В данном анализе используется обобщенный критерий Хука – Брауна (сцепление в образце $K_{обр}$, геологический индекс прочности GSI, нарушенность приконтурного массива горных пород и структурный индекс пород).

Характерной особенностью механизма сдвижения массива является образование областей критических напряжений в откосе, что ведет к возникновению максимальных деформаций и инициирует процесс образования поверхности скольжения.

В настоящее время имеется достаточно большое количество различных методик расчета устойчивости карьерных откосов, что вызвано неопределенностью и разнообразностью физической стороны механизма деформирования прибортового массива. Вследствие этого возникают трудности при определении оптимальной расчетной схемы, которая бы наиболее полно учитывала горно-геологические условия с требуемой точностью. Среди ученых-разработчиков наиболее популярных расчетных схем необходимо выделить Г. Л. Фисенко [1], В. Т. Сапожникова [1, 2], И. И. Попова [7], В. Н. Попова [3], Э. Л. Галустьян [2], Р. П. Окатова [7], П. С. Шпакова [3]. Профессор П.С. Шпаков предложил интегрирование сил по напряженной поверхности скольжения для учета межблочного взаимодействия сил [3]. Форма поверхности скольжения и ее положение определяются согласно результатам компьютерного расчета и получаемого коэффициента запаса устойчивости способом последовательных приближений. Численно-аналитический способ является более универсальным по сравнению с другими, так как позволяет учитывать такие геологические и техногенные факторы, как профиль борта, неоднородность породного массива, гидрогеологические условия, тектонические нарушения и др.

Программа Slide предназначена для оценки устойчивости цилиндрических и нецилиндрических поверхностей обрушения в скальных и земляных откосах. Программа анализирует устойчивость поверхностей скольжения, используя метод предельного равновесия вертикальных блоков, также известного, как метод Бишоп (Крея) и Спенсера, Ямбу и Феллениуса [5, 7]. Для проведения анализа может быть взята отдельная поверхность скольжения, также могут быть применены области центров, область откоса, область и линия поиска для определения местонахождения критических поверхностей с наименьшим коэффициентом для определенного участка исследуемого объекта. При выполнении расчетов в программу вводятся геометрические параметры борта карьера, а также нарушений и пород, слагающих прибортовой массив.

Оценка устойчивости бортов выполнена для предварительно отстроенных контуров карьера, которые впоследствии включены в технический проект отработки месторождения. Полученные результаты оценки устойчивости бортов карьера сведены в таблицу.

Таблица / Table

Результаты оценки устойчивости бортов карьера Коктасжал / Results of the Stability Assessment of the Koktaszhal Quarry Slopes

Разрез	Тип породы	Усредненные значения по борту			Высота борта, м	Угол наклона борта, градус	Коэффициент запаса устойчивости, η
		$K_{расч}$, кПа	$P_{расч}$, град	Плотность, $\tau/\text{м}^3$			
Разрез А (скв. 20-06)	Порфириты и кварциты	457,38	33,76	2,81	309	48/51	1,19
Разрез В (скв. 20-04)	Порфириты, кварциты, андезиты	480,44	34,43	2,75	315	46	1,31
Разрез С (скв. 20-05)	Порфириты, андезиты, кварциты	398,50	33,95	2,72	260,4	46/50	1,37
Разрез D	Порфириты, андезиты	497,62	34,28	2,82	278,3	46/52	1,26
Разрез E (скв. 20-03)	Порфириты, андезиты	497,62	34,28	2,82	279	46/52	1,24
Разрез F (скв. 20-02)	Порфириты, андезиты	450,84	34,33	2,83	270	47/51	1,26
Разрез G (северо-западный торец)	Порфириты, кварциты	457,38	33,76	2,81	309,1	49/52	1,19
Разрез G (юго-восточный торец)	Порфириты, андезиты, в том числе кварцевые	497,62	34,28	2,82	252,1	50	1,29

Анализ полученных результатов оценки состояния карьерных бортов показал, что прибортовые массивы устойчивы при соблюдении рекомендуемых параметров углов наклона откосов уступов и генеральной высоты бортов карьера, так как их коэффициенты устойчивости колеблются в пределах 1,19–1,37.

С целью сравнения значений коэффициента запаса устойчивости выполнен расчет в программе Phase2, который использует метод конечных элементов [5]. На рисунках 5 и 6 представлены результаты моделирования устойчивости бор-

та с пригрузкой в виде внешнего отвала. На рисунке 6 в массиве хорошо видны участки с максимальными значениями напряжений. Методики получения значения коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) в программах, использующих метод предельного равновесия, и значения SRF (strength reduction factor – коэффициент снижения прочности) в конечных элементных программах различаются, но оба коэффициента численно выражают устойчивость прибортового массива. Согласно расчетам, минимальные значения составили 1,267 для программы Slide и 1,250 для программы Phase2.

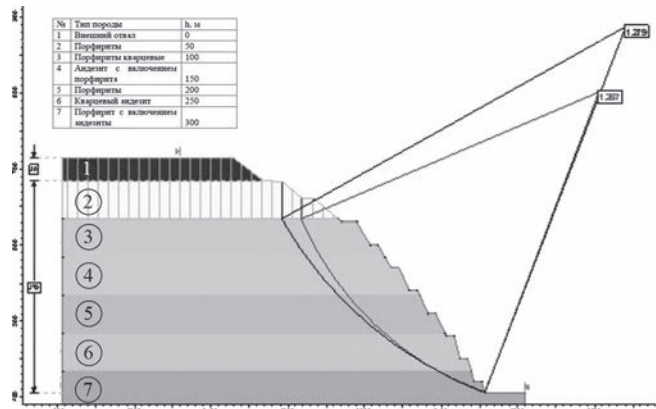


Рис. 5. Коэффициент запаса устойчивости бортов карьера в программе Slide по разрезу E /

Fig. 5. Stability margin coefficient for the quarry walls in the Slide program for Section E

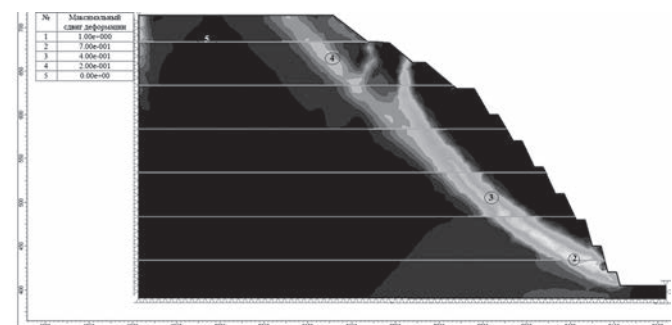


Рис. 6. Напряжения, возникающие в прибортовом массиве при сравнительном расчете в программе Phase2 (SRF = 1,25) /

Fig. 6. Stresses arising in the near-ship array during a comparative analysis in Phase2 (SRF = 1.25)

Обоснованные параметры откосов уступов и бортов меднорудного карьера Коктасжал включены в технический проект разработки месторождения, однако при постановке их в проектное положение на карьере должны быть использованы специальные технологические схемы заоткоски откосов уступов и обеспечено ведение мониторинга состояния прибортового массива [2, 3, 8, 9].

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложен методический подход по надежному обоснованию и обеспечению параметров устойчивых бортов карьера, основанный на проведении комплексных геомеханических исследований горных пород непосредственно в прибортовых массивах по кернам, полученным из специально пробуренных инженерно-геологических скважин, для

определения размеров структурных блоков, индекса качества массива и коэффициента структурного ослабления и параллельного лабораторного изучения прочностных и физических свойств горных пород.

2. Обоснованы коэффициенты структурного ослабления по всей глубине прибортовых массивов с учетом выявленной закономерности размеров структурных блоков с глубиной их залегания в виде логарифмической спирали функцией: $\lambda_0 = -0,016 \ln(H) + 0,1272$ с величиной аппроксимации $R_2 = 0,978$.

3. Выполнена оценка устойчивости бортов карьера раз-

личными методами расчета, что позволило убедиться в их надежности и хорошей сходимости численно-аналитического и рейтинговых систем расчета, которые осуществляются с использованием специальных программ.

4. Рекомендованы рациональные параметры бортов карьера Коктасжал, при высоте в 300 м углы их наклона колеблются от 46° до 52° с коэффициентом запаса устойчивости от 1,19 до 1,37, что позволяет говорить о достаточно устойчивом состоянии, которое отвечает нормативным показателям существующих методических указаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Москва, 1965: 378.
Fisenko G.L. Stability of Open Pit Slopes and Dumps. Moscow, 1965: 378. (In Russ.).
2. Галустьян Э.Л. Управление геомеханическими процессами в карьерах. Москва, 1980: 237.
Galustyan E.L. Control of Geomechanical Processes in Open Pits. Moscow, 1980: 237. (In Russ.).
3. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов. Москва, 2008: 683.
Popov V.N., Shpakov P.S., Yunakov Yu.L. Management of Open Pit Slope Stability. Moscow, 2008: 683. (In Russ.).
4. Низаметдинов Ф.К., Барышников В. Д., Жанатулы Е. и др. Обоснование и выбор расчетных параметров прочностных свойств горных пород для оценки устойчивости бортов карьеров. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2021; 3: 31-37. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210304>.
Nizametdinov F.K., Baryshnikov V.D., Zhanatuly E., et al. Justification and Selection of Design Parameters for Rock Strength Properties in Assessing Open Pit Slope Stability. *Physical and technical problems of mineral development*. 2021; 3: 31-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210304>.
5. Низаметдинов Н.Ф., Барышников В.Д., Нагибин А.А. и др. Обоснование параметров бортов карьера на примере месторождения Коктасжал (Казахстан). *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2022; 6: 26-33. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220401>.
Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nagibin A.A., et al. Justification of Open Pit Slope Parameters: A Case Study of the Koktaszhal Deposit (Kazakhstan). *Physical and Technical Problems of Mining*. 2022; 6: 26-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220401>.
6. Nurpeisova M.B., Abenov A.M., Miletenko N.A. Highly efficient monitoring procedure for deformation prediction in copper ore mining. *Eurasian Mining*. 2023; 1: 19-24. <https://doi.org/10.7580/em.2023.01.04>.
Нурпеисова М., Рысбеков К., Касымканова Х. и др. Инновационные методы мониторинга деформационных процессов при освоении Жиландинских групп месторождений. *Труды КартУ им. Абылка Сагинова*. 2023; 5: 18-23.
7. Nurpeisova M., Rysbekov K., Kasymkanova H., et al. Innovative methods for monitoring deformation processes during the development of the Zhilandinsky groups of deposits. *Proceedings of the KARTU named after Abylks Saginov*. 2023; 5: 18-23. (In Russ.).
8. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права под названием: «Устойчивость карьерных откосов», № 126 от 26.01.2015, ИС 000641.5.
Certificate of State Registration of Copyright for the Intellectual Property Object entitled Open Pit Slope Stability. No. 126, dated January 26, 2015. IP No. 000641.5. (In Russ.).
9. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах открытых разработок. Санкт-Петербург, 1998: 164.
Regulations for Ensuring Slope Stability at Surface Coal Mines. Saint Petersburg, 1998: 164. (In Russ.).
10. Низаметдинов Ф.К. и др. Управление устойчивостью техногенных горных сооружений. Караганда, 2014: 657.
Nizametdinov F.K., et al. Management of the Stability of Man-Made Mining Structures. Karaganda, 2014: 657. (In Russ.).
11. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Утверждено МЧК РК за № 39 от 28.09.2008. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=30399772.
Guidelines for Monitoring Deformations of Open Pit Walls, Bench Slopes and Waste Dumps and for Developing Measures to Ensure Their Stability. Approved by the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Order No. 39, September 28, 2008. (In Russ.). URL: https://prg.kz/document/?doc_id=30399772.
12. Kassymkanova K.K., Rysbekov K.B., Nurpeisova M.B., et al. Numerical Modelling of Stress–Strain State During Combined Mining of Zhilandy Group of Deposits. *ES Energy and Environment*. 2026; 31: 1909. <https://doi.org/10.30919/ee1909>.
13. Amralinova B.B., Soltabaeva S.T., et al. Geophysical studies of rock distortion in mining operations in complex geological conditions. *Int. Archives Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2023; 48: 57-62. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-W2-2023-57-2023>.
14. Nurpeisova M.B., Salkynov A.T., Soltabayeva S.T., et al. Patterns of development of geomechanical processes during hybrid open pit/underground mineral mining. *Eurasian Mining*. 2024; 1: 7-11. <https://doi.org/10.17580/em.2024.01.02>.
15. Низаметдинов Ф.К., Нагибин А.А., Левашов В.В. и др. Натурные методы исследования прочностных свойств горных пород и породных контактов. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016; 2: 26-33.
Nizametdinov F.K., Nagibin A.A., Levashov V.V., et al. Field Methods for Investigating the Strength Properties of Rocks and Rock Contacts. *Physical and Technical Problems of Mining*. 2016; 2: 26-33. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наиль Фаритович Низаметдинов –

канд. техн. наук, Карагандинский технический университет
имени А. Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Асем Сериккызы Туякбай –

PhD, Казахский университет технологии и бизнеса имени
К. Кулажанова, г. Астана, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Ринат Фаритович Низаметдинов –

канд. техн. наук, Карагандинский технический университет
имени А. Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-5857-3886>; e-mail: niz36@mail.ru

Айгерим Рахмановна Естаева –

магистр техн. наук, Казахский агротехнический
исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Азат Арнатулы Турсынбеков –

магистр техн. наук, Казахский национальный
исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>;
e-mail: azat_t@icloud.com

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над
статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 30.07.2026
Поступила после рецензирования: 13.08.2026
Принята к публикации: 26.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Nail F. Nizametdinov –

Cand. Sci. (Eng.), Abylkas Saginov Karaganda Technical
University, Karaganda, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Assem S. Tuyakbay –

PhD, Kazakh University of Technology and Business named
after K. Kulazhanov, Astana, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Rinat F. Nizametdinov –

Cand. Sci. (Eng.), Abylkas Saginov Karaganda Technical
University, Karaganda, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-5857-3886>; e-mail: niz36@mail.ru

Aigerim R. Yestayeva –

Master Sci. (Eng.), S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research
University, Astana, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Azat A. Tursynbekov –

Master Sci. (Eng.), Kazakh National Research Technical
University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty,
Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>;
e-mail: azat_t@icloud.com

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the
work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 30.07.2026
Revised: 13.08.2026
Accepted: 26.08.2026