

Код МРНТИ 52.35.29

Р. К. Байғали¹, *В. Ф. Ярцева¹, Т. Т. Бондаренко², А. А. Турсынбеков³¹НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «АлГеоРитм» (г. Караганда, Казахстан),³НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОТВАЛА «ОЗЕРНЫЙ-2» РАЗРЕЗА «СЕВЕРНЫЙ» ТОО «БОГАТЫРЬ КОМИР»

Аннотация. Целью выполненных исследований является оценка устойчивости проектируемого внешнего автомобильного отвала «Озерный-2» разреза «Северный» ТОО «Богатырь Комир», разработка рекомендаций и предложений по обеспечению его устойчивости. Особенность задачи заключается в наличии на участке, отведенном для отсыпки проектируемого отвала, мощного слабого техногенного основания. Выполнен комплекс инженерно-геологических, инженерно-геодезических и инженерно-гидрогеологических изысканий. По материалам, предоставленным маркшейдерской и геологической службами предприятия, проведен анализ существующего состояния верхних горизонтов стационарного борта разреза «Северный» в районе проектируемого внешнего отвала. Выполнены расчеты устойчивости проектных контуров и определение конструктивных параметров отвала, а также ширины бермы безопасности отвала от верхней бровки стационарного борта.

Ключевые слова: отвал, ярус, стационарный борт, берма безопасности, насыпной грунт, инженерно-геологический элемент, масштабный фактор.

«Богатырь Көмір» ЖШС «Солтүстік» кен қимасының «Озерный-2» жобалық үйіндісінің тұрақтылық жағдайын бағалау

Аңдатпа. Зерттеудің максаты «Богатырь Көмір» ЖШС «Солтүстік» кенішінің «Озерный-2» жобаланатын сыртқы автомобиль үйіндісінің орнықтылығын бағалау және оны қамтамасыз етуге бағытталған ұсынымдар әзірлеу. Зерттеу ерекшелігі үйіндіні орналастыруға бөлінген аумақта қуатты әлсіз техногендік негіздің болуымен сипатталады. Осыған байланысты инженерлік-геологиялық, инженерлік-геодезиялық және инженерлік-гидрогеологиялық іздестірулер кешені жүргізілді. Кәсіпорынның маркшейдерлік және геологиялық қызметтері ұсынған материалдар негізінде жобаланатын сыртқы үйінді орналасатын аймақтағы «Северный» разрезі стационарлық бортының жоғарғы горизонттарының қазіргі жай-күйіне талдау жасалды. Нәтижесінде үйіндінің жобалық контурларының орнықтылығы бағаланып, оның конструктивтік параметрлері мен стационарлық борттың жоғарғы жиегінен қауіпсіздік бермасының ең аз ені анықталды.

Үйінді сөздер: үйінді, ярус, стационарлық борт, қауіпсіздік бермасы, үйінділік топырақ, инженерлік-геологиялық элемент, масштабтық фактор.

Estimate of «Ozerny-2» designed dump stability on «Bogatyr Komir» LLP of the «Severny» open pit

Abstract. The study aims to assess the stability of the designed external haulage dump «Ozerny-2» at the «Severny» open pit of «Bogatyr Komir» LLP and to develop recommendations for ensuring its stability under weak technogenic foundation conditions. Comprehensive engineering-geological, engineering-geodetic, and engineering-hydrogeological investigations were carried out. Based on data provided by the mine surveying and geological services of the enterprise, the current condition of the upper benches of the permanent pit wall of the Severny open pit in the area designated for the planned external waste dump was analyzed. Stability analyses were performed to determine the design parameters of the dump and the minimum required safety berm width between the dump and the upper crest of the stationary pit wall.

Key words: dump, bench, stationary pit wall, safety berm, fill soil, engineering-geological element, scale factor.

Введение

Проблема складирования больших объемов вскрышных пород является весьма актуальной для открытых горных работ в связи с ограниченностью территорий горных отвалов. Под внешний автомобильный отвал «Озерный-2» был выделен участок на Северном борту разреза «Северный» ТОО «Богатырь комир», на котором располагалась свалка бытового мусора (рис. 1).



Рис. 1. Участок под проектируемый отвал на северном борту разреза.

Сурет 1. Кеніштің солтүстік бортында жобаланатын үйіндіні орналастыру учаскесі.

Figure 1. Site for the projected dump on the northern side.

По своему составу свалка (далее – насыпной грунт) представляет собой неоднородный смешанный насыпной материал, который включает в себя суглинок, грунт переложный, слежавшийся с включением строительного и бытового мусора мощностью 10–12 м. При производстве инженерно-геологических изысканий свойства насыпного массива не изучались по причине его непригодности для использования в качестве оснований зданий и сооружений. В материалах изысканий он обозначен как инженерно-геологический элемент (ИГЭ – 1).

Согласно действующих Строительных норм и Правил (СНиП) такой материал рекомендуется удалять на всю мощность отложения с заменой на песчано-гравийную смесь [1, 2]. Однако эта рекомендация касается области строительства. В данной работе предпринята попытка изолировать слой свалки вскрышными породами и провести анализ устойчивости проектируемого сооружения методом предельного равновесия для отвалов на слабом основании большой мощности. При формировании отвала поверх насыпного грунта (ИГЭ – 1) данный грунт становится частью его основания, приобретая функцию структурного элемента и первого яруса отвала. В связи с этим при выполнении расчетов устойчивости проектируемого отвала особое внимание уделяется оценке влияния физико-механических свойств техногенного основания на его устойчивое состояние. Расчеты устойчивости выпол-

нены с использованием методов предельного равновесия, основанных на анализе условий равновесия потенциальной поверхности скольжения. Определение коэффициента запаса устойчивости проводилось с применением методик ВНИМИ, а также методов Bishop, Janbu и GLE Morgenstern-Price с учетом инженерно-геологических условий и физико-механических характеристик грунтов основания и отвала [3–5].

Материалы и методы исследований

Инженерно-геодезические изыскания на части площадки для формирования внешнего автомобильного отвала площадью 25,4 га были выполнены в 2021 г. Изыскания выполнены с целью получения топографо-геодезических материалов и данных о рельефе и ситуации местности для создания планов и цифровой модели местности (ЦММ), а также изучения геолого-литологического строения участка, классификации грунтов, выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ), определения условий их залегания, гидрологических условий и оценки прочностных и деформационных характеристик грунтов [6, 7]. Топографическая съемка участка выполнена методом тахеометрической съемки с использованием электронных тахеометров Trimble M3 и GNSS – приемника Trimble R8 в режиме RTK.

Отметки основания (земная поверхность) изменяются в пределах от +182,0 м (восточная часть участка) до +187,0 м (западная часть). Перепад отметок в пределах 5,0 м на 1,0 км простирания борта. Рельеф равнинный с незначительным уклоном с запада на восток. Отвал по верху имеет среднюю отметку +196,0 м. Таким образом, высота отвала составляет от 10 до 15 м. Кроме того, отвал «надвинут» на два верхних уступа стационарного борта разреза «Северный». По верхнему уступу стационарного борта на протяжении около 1,0 км он полностью засыпан отвалом. Верхняя площадка второго уступа на горизонте +176,0 м является основанием отвала в контуре разреза. Там высота отвала составляет около 20 м (отметки +176,0 ÷ +196,0 м).

На исследуемой территории было пробурено 5 скважин, из них 4 скважины глубиной по 10,0 м и одна скважина (скв. № 5) глубиной 15,0 м, пробуренная через тело отвала (рис. 2). Общий объем бурения составил 55,0 п. м. [8, 9].

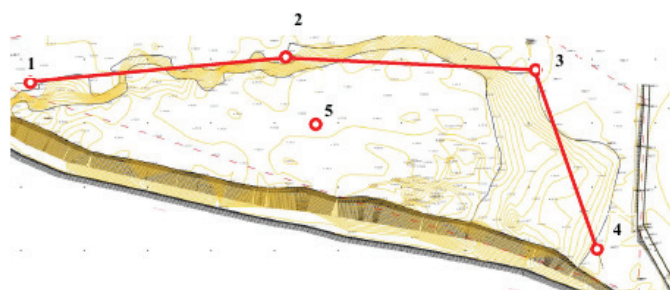


Рис. 2. Расположение разведочных скважин.
Сурет 2. Барлау ұңғымаларының орналасуы.
Figure 2. Exploration wells location.

Подземные воды вскрыты в скважинах № 2 (на глубине 3,0 м) и № 3 (на глубине 4,7 м). Скважины № 1 и № 4

расположены близко к контуру разреза и дренированы депрессионной воронкой. В скважинах, начиная с глубины 1,0 м через каждый метр до проектной глубины, были отобраны пробы суглинков для определения физико-механических характеристик (естественной влажности, пределов пластичности, плотности, плотности частиц, коэффициента пористости, степени водонасыщения, угла внутреннего трения, сцепления, модуля Юнга и коэффициента Пуассона).

Геологическое строение участка изысканий в пределах разведанной глубины представлено двумя инженерно-геологическими элементами (ИГЭ):

1. ИГЭ – 1. Насыпной грунт (свалка), включающий темно-коричневый суглинок, грунт переотложенный, слежавшийся с включением строительного и бытового мусора, доля которого оценивается порядка 50%.

2. ИГЭ – 2. Суглинок серо-зеленый, с глубины 6,5 м суглинок коричневый, полутвердый, с прослоями песка мощностью до 5 см, с включением дресвы и щебня (до 15%). Ниже уровня грунтовых вод дресва и щебень локально обводнены.

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики суглинков (ИГЭ – 2).

Таблица 1
Физико-механические характеристики суглинков
Кесте 1

Саздақтардың физикалық-механикалық сипаттамалары

Table 1
Physical-mechanical properties of the loam rock

Параметр	Естественная влажность (13%)	Полное водонасыщение
Объемный вес, кН/м³	18,2	16,1
Число пластичности	0,12	---
Модуль Юнга, МПа	8,0	6,0
Коэффициент Пуассона	0,35	0,42
Сцепление, кПа	32,0	7,0
Угол трения, градус	23,0	15,0

По результатам лабораторных исследований для суглинков в образцах определены средние значения прочностных характеристик: сцепление составляет 32 кПа, угол внутреннего трения 23°. Свойства насыпного грунта (ИГЭ – 1) не изучались по причине его непригодности для использования в качестве оснований зданий и сооружений. Для моделирования состояния и расчета устойчивости откосов отвала использована программа Slide (пакета Rockscience) [9]. Интерпретация лабораторных данных в программе RockLab для оценки прочностных и деформационных характеристик массива суглинков представлена на рис. 3.

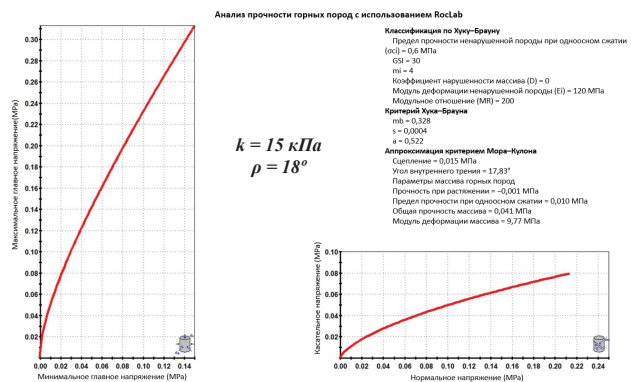


Рис. 3. Оценка свойств массива суглинков в RockLab.
Сурет 3. RockLab бағдарламасында саздақтар массивінің қасиеттерін бағалау.
Figure 3. RockLab loam mass properties estimation.

С учетом масштабного фактора по оценке в *RockLab* прочностных характеристик суглинков (в массиве): сцепление 15 кПа, угол внутреннего трения 18 градусов.

Результаты и обсуждение

Выполнен предварительный расчет устойчивости автомобильного отвала общей высотой 50 м. Конструкция отвала включает пять ярусов по 10 м. Ширина площадок – 10 м, генеральный угол 24,2°. В расчетах приняты следующие физико-механические характеристики: отсыпанного отвала сцепление 5,0 кПа, угол внутреннего трения 30°; основание (суглинок) сцепление 15,0 кПа; угол внутреннего трения 18°. По анализу в *RockLab* учтен масштабный фактор и снижение прочности суглинков.

Результаты расчета представлены на рис. 4.

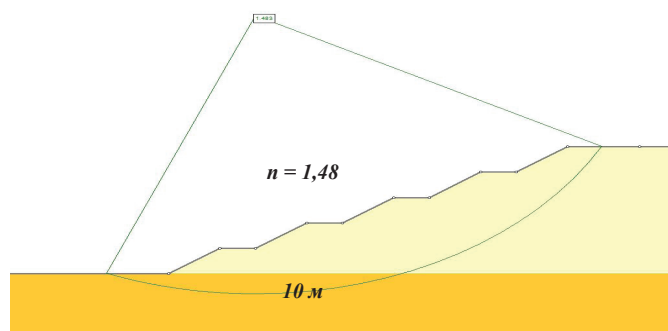


Рис. 4. Предварительная оценка устойчивости отвала.
Сурет 4. Үйіндінің орнықтылығын алдын ала бағалау.
Figure 4. Dump stability tentative estimation.

Предварительный расчет показывает устойчивое состояние проектного контура отвала ($KЗУ = 1,48$), отсыпанного в идеальных условиях на необходимые суглинки. Как было сказано выше, в скважинах № 1 и № 4, которые расположены ближе к контуру разреза, воды не обнаружено, они дренированы депрессионной воронкой.

Далее рассмотрены основные неблагоприятные факторы, оказывающие влияние на устойчивость проектируемого отвала, включая наличие слабого техногенного ос-

нования, особенности геологического строения участка и конструктивные параметры отвала.

Насыпной грунт представлен темно-коричневым суглинком, являющимся переотложенным и слежавшимся грунтом с включением строительного и бытового мусора. По результатам изысканий рекомендовано удалять насыпной грунт на всю мощность отложения, с заменой на песчано-гравийную смесь, но это весьма дорогостоящее мероприятие. Поэтому в рамках проводимого исследования рассматривается возможность формирования отвала поверх свалки. При этом насыпной грунт (ИГЭ – 1) оказывается в основании отвала и является его нижним ярусом. Оценим влияние нижнего слабого яруса отвала на его устойчивость.

Расчет устойчивости отвала на всю проектную высоту по круглоцилиндрической поверхности скольжения не в полной мере отражает возможные условия потери устойчивости, поскольку такая поверхность проходит через более прочные суглинистые слои основания. В связи с наличием слабого техногенного слоя ИГЭ – 1 необходимо учитывать потенциальную возможность смещения отвала по контакту с основанием. Поэтому при оценке устойчивости особое внимание уделяется анализу влияния прочностных характеристик слабого слоя на устойчивость формируемого отвала.

Первый расчет дал значение коэффициента запаса ниже единицы. Увеличить его значение возможно путем изменения конструкции ярусов, уменьшая генеральный угол откоса за счет увеличения ширины площадок. Увеличиваем ширину площадок до 15 м. Выбор ширины площадок 15 м принят по результатам расчетного подбора конструктивных параметров, обеспечивающих выполнение условий устойчивости при сохранении технической возможности размещения отвала. При этом генеральный угол будет равен 20,8°. Результаты расчета представлены на рис. 5.

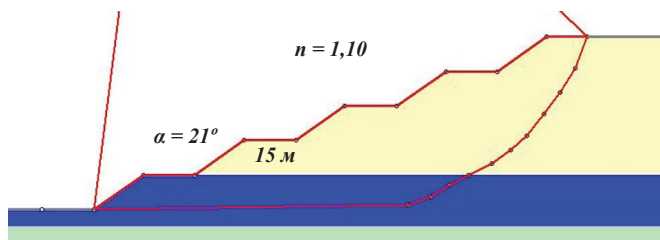


Рис. 5. Оценка устойчивости отвала на слабом основании (b = 15 м).

Сурет 5. Әлсіз негіздегі үйіндінің орнықтылығын бағалау (b = 15 м).

Figure 5. Dump stability estimation on weak foundation (b = 15 m).

Коэффициент запаса $n = 1,10$ ниже допустимого нормативного значения [5, 6]. При расположении отвала в непосредственной близости от ответственного сооружения (борт разреза) или наличия слабого основания, минимально допустимое значение коэффициента запаса устойчивости $n_{\min} = 1,30$. Расчет показал нестабильное состояние проектного контура отвала. Необходимо обеспечить ширину площадок более 15 м и значение генерального угла

менее 20° . Для следующих итерации расчета проектного контура, увеличим площадки до 25 метров (рис. 6).

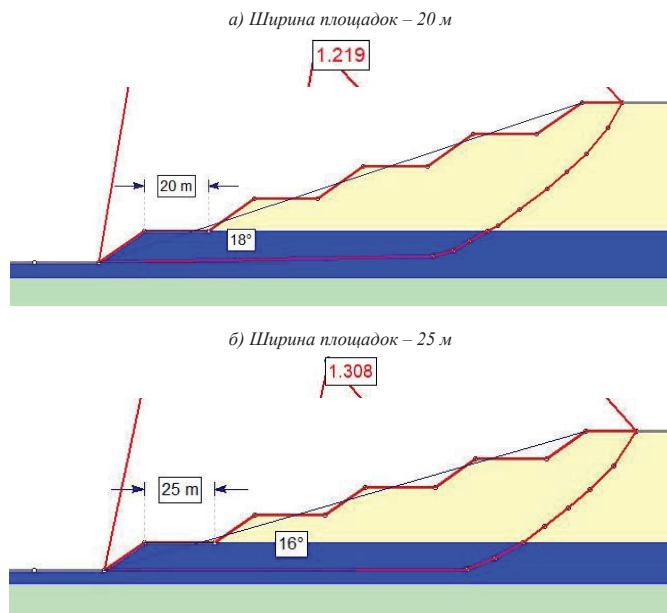


Рис. 6. Оценка устойчивости отвала на слабом основании ($b = 20$ м и $b = 25$ м).

Сурет 6. Әлсіз негіздегі үйіндінің орнықтылығын бағалау ($b = 20$ м және $b = 25$ м).

Figure 6. Dump stability estimation on weak foundation ($b = 20$ m and $b = 25$ m).

Расчеты показали, что для вышележащих ярусов отвала требуемая устойчивость обеспечивается при ширине горизонтальных площадок 20 м. Однако данное решение не может быть распространено на нижний ярус, поскольку он формируется на слабом техногенном основании (ИГЭ – 1), представленном насыпным грунтом, и воспринимает нагрузку от всей вышележащей части отвала. При ширине площадки нижнего яруса 20 м его состояние является предельным (рис. 7), что не обеспечивает необходимый запас устойчивости. В связи с этим по результатам выполненных вариантных расчетов для нижнего яруса (отм. +195 м) рекомендуется увеличить ширину площадки до 25 м, тогда как для вышележащих ярусов достаточной является ширина площадок 20 м.

Закключение

Выполненное исследование позволило установить закономерности формирования устойчивого состояния проектируемого внешнего автомобильного отвала «Озерный-2» разреза «Северный» ТОО «Богатырь Комир» с учетом особенностей инженерно-геологического строения участка, физико-механических свойств грунтов основания и конструктивных параметров отвала.

Устойчивость проектируемой конструкции определяется совокупным влиянием геотехнических условий основания и параметров формирования отвала. При идеализированных условиях заложения на прочном необводненном основании, представленном суглинками ИГЭ – 2, проектные параметры отвала высотой 50 м обеспечивают

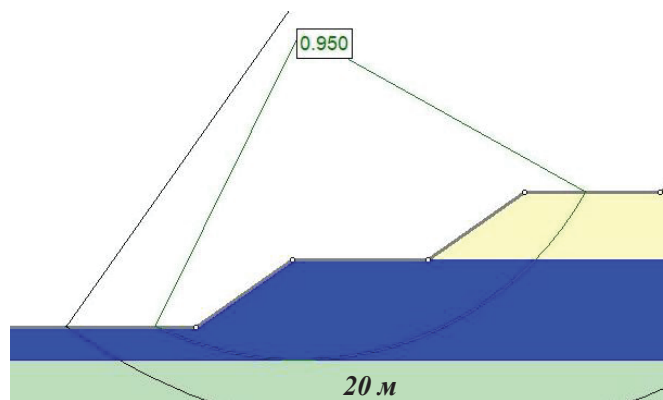


Рис. 7. Оценка устойчивости первого яруса отвала ($b_1 = 20$ м).

Сурет 7. Үйіндінің бірінші ярусының орнықтылығын бағалау ($b_1 = 20$ м).

Figure 7. First floor dump stability estimation ($b_1 = 20$ m).

устойчивое состояние. Однако наличие в основании техногенного слоя ИГЭ – 1, представленного переотложенным слежавшимся грунтом с включением строительного и бытового мусора, является определяющим фактором, ограничивающим устойчивость отвальной конструкции. Проведенный анализ показал, что при оценке устойчивости отвала необходимо учитывать возможный механизм деформирования, связанный со смещением по слабому контакту между телом отвала и техногенным основанием. Расчетные схемы, не учитывающие влияние слабого слоя, не отражают наиболее неблагоприятные условия работы сооружения, поскольку потенциальная поверхность скольжения может развиваться преимущественно по зоне пониженной прочности. Учет прочностных характеристик ИГЭ – 1, а также масштабного фактора при расчетах приводит к снижению расчетных показателей устойчивости и требует корректировки конструктивных параметров отвала. Повышение устойчивости отвала возможно за счет оптимизации его геометрических параметров путем увеличения ширины горизонтальных площадок и уменьшения генерального угла откоса. При этом наиболее критическим элементом конструкции является нижний ярус, сформированный на техногенном основании, поскольку он воспринимает суммарную нагрузку от вышележащих ярусов и характеризуется наибольшей неопределенностью прочностных свойств. В связи с этим для снижения риска развития деформаций рекомендовано увеличение ширины площадки первого яруса до 25 м, а вышележащих ярусов до 20 м. Оценка влияния гидрогеологических условий показала, что подземные воды на исследуемом участке имеют локальное распространение и при рассмотренных расчетных условиях не оказывают существенного влияния на устойчивость отвала. Наличие слабых глинистых и техногенных грунтов обуславливает необходимость учета возможного снижения их прочностных характеристик при переувлажнении. В связи с этим обязательным условием безопасного формирования отвала является обеспечение надежного функционирования системы водоотвода и предотвращение накопления влаги в зоне основания. Определяющим фактором устойчивости проектируемого

отвала «Озерный-2» является взаимодействие отвальной конструкции со слабым техногенным основанием ИГЭ – 1. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к оценке устойчивости техногенных массивов, включающего учет реального инженерно-геоло-

гического строения основания, анализ возможных механизмов деформирования, обоснование рациональных геометрических параметров и последующий геотехнический мониторинг состояния отвала и прилегающего стационарного борта разреза «Северный» [10, 11].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Госстрой СССР, 1995 (на русском языке)
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2013. – 38 с. (на русском языке)
3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Наука, 1965. – 280 с. (на русском языке)
4. Read J., Stacey P. Руководство по проектированию бортов карьеров. – Коллингвуд, Виктория, Австралия: CSIRO Publishing, 2010. – 511 с. (на английском языке)
5. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 208 с. (на русском языке)
6. Оценка параметров устойчивых внутренних отвалов на разрезе «Богатырь» / П. С. Шпаков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 345–356 (на русском языке)
7. Старостина О. В. Исследование устойчивости уступов верхних горизонтов стационарного борта разреза «Богатырь» // Уголь. – 2019. – № 1. – С. 27–33 (на русском языке)
8. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. – М.: Горная книга, 2006. – 390 с. (на русском языке)
9. Разработка комплексной системы геотехнического мониторинга техногенных объектов на основе геопространственных данных / V. V. Kazantseva [и др.] // Journal of Mining Institute. – 2025. – Т. 276. – Вып. 1. – С. 142–156 (на английском языке)
10. Испытания образцов горных пород и анализ устойчивости откосов отвала горных пород / P. Zou [и др.] // Advances in Civil Engineering. – 2018. – Т. 2018. – Ст. 6835709 (на английском языке)
11. Исследование устойчивости отвала открытого горного предприятия с использованием волоконно-оптического мониторинга / Z. Tao [и др.] // Geofluids. – 2018. – Т. 2018. – Ст. 9631706 (на английском языке)
12. Анализ разрушения откоса при строительстве открытого горного предприятия в Индонезии: практический пример / A. Pratiyo [и др.] // Canadian Geotechnical Journal. – 2019. – Т. 56. – № 5. – С. 636–648 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ҚНЖЕ 2.02.01-83. Ғимараттар мен құрылыстардың негіздері. – Мәскеу: КСРО Мемқұрылысы, 1995 (орыс тілінде)
2. ГОСТ 25100-2011. Топырақтар. Жіктелуі: мемлекетаралық стандарт. – Мәскеу: Стандартинформ, 2013. – 38 б. (орыс тілінде)
3. Фисенко Г. Л. Карьерлер мен үйінділер борттарының орнықтылығы. – М.: Наука, 1965. – 280 б. (орыс тілінде)
4. Read J., Stacey P. Карьер борттарын жобалау жөніндегі нұсқаулық. – Коллингвуд, Виктория, Австралия: CSIRO Publishing, 2010. – 511 б. (ағылшын тілінде)
5. Көмір разрездеріндегі еңістердің орнықтылығын қамтамасыз ету қағидалары. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, 1998. – 208 б. (орыс тілінде)
6. «Богатырь» разрезіндегі орнықты ішкі үйінділер параметрлерін бағалау / П. С. Шпаков [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2016. – № 2. – Б. 345–356 (орыс тілінде)
7. Старостина О. В. «Богатырь» разрезінің стационарлық бортының жоғарғы горизонттары кертпеістерінің орнықтылығын зерттеу // Уголь. – 2019. – № 1. – Б. 27–33 (орыс тілінде)
8. Макаров А. Б. Практикалық геомеханика. – М.: Горная книга, 2006. – 390 б. (орыс тілінде)
9. Кеңістіктік деректер негізінде техногендік объектілердің геотехникалық мониторингінің кешенді жүйесін әзірлеу / V. V. Kazantseva [және т. б.] // Journal of Mining Institute. – 2025. – Т. 276. – Шығ. 1. – Б. 142–156 (ағылшын тілінде)
10. Тау жыныстары үлгілерін сынау және кен үйіндісі еңістерінің орнықтылығын талдау / P. Zou [және т. б.] // Advances in Civil Engineering. – 2018. – Т. 2018. – 6835709 (ағылшын тілінде)
11. Талшықты-оптикалық мониторингі қолдану арқылы ашық кеніш үйіндісінің орнықтылығын зерттеу / Z. Tao [және т. б.] // Geofluids. – 2018. – Т. 2018. – 9631706 (ағылшын тілінде)
12. Индонезиядағы ашық кеніш құрылысы кезіндегі еңіс опырылуын талдау: тәжірибелік зерттеу / A. Pratiyo [және т. б.] // Canadian Geotechnical Journal. – 2019. – Т. 56. – № 5. – Б. 636–648 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. SNIP 2.02.01-83. *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Foundations of Buildings and Structures]. – Moscow, 1995 (in Russian)
2. GOST 25100-2011. *Grunty. Klassifikatsiya* [Soils. Classification]: interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2013. – 38 p. (in Russian)
3. Fisenko G. G. *Ustoychivost' bortov kar'erov i otvalov* [Stability of Quarry Walls and Rock Deposits]. – Moscow: Nauka, 1965. – 280 p. (in Russian)
4. Read J., Stacey P. *Guidelines for Open Pit Slope Design*. – Collingwood, VIC, Australia: CSIRO Publishing, 2010. – 511 p. (in English)
5. *Pravila obespecheniya ustoychivosti otkosov na ugol'nykh razrezakh* [Rules for Ensuring Slope Stability in Coal Mines]. – St. Petersburg: VNIMI, 1998. – 208 p. (in Russian)
6. *Otsenka parametrov ustoychivyykh vnutrennikh otvalov razreza «Bogatyр»* [Estimation of the Parameters of Stable Internal Dumps at the Bogatyр Mine] P. Shpakov et al. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (GIAB)* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – Moscow. – 2016. – No. 2. – P. 345–356 (in Russian)
7. *Issledovanie ustoychivosti ustupov verkhnikh gorizontov stacionarnogo borta razreza «Bogatyр»* [Study of the Stability of the Ledges of the Upper Horizons of the Stationary Side of the Bogatyр Open Pit] O. Starostina et al. *Ugol' [Coal]*. – 2019. – No. 1. – P. 27–33 (in Russian)
8. Makarov A. *Prakticheskaya mekhanika gornyykh porod* [Practical Rock Mechanics]. – Moscow: Gornaya kniga, 2006. – 390 p. (in Russian)
9. *Development of complex system of geotechnical monitoring of technogenic objects based on geospatial data* / V. V. Kazantseva et al. // *Journal of Mining Institute*. – 2025. – Vol. 276. – Issue 1. – P. 142–156 (in English)
10. *Sample Rocks Tests and Slope Stability Analysis of a Mine Waste Dump* / P. Zou et al. // *Advances in Civil Engineering*. – 2018. – Vol. 2018. – Article 6835709 (in English)
11. *Research on Stability of an Open-Pit Mine Dump with Fiber Optic Monitoring* / Z. Tao et al. // *Geofluids*. – 2018. – Vol. 2018. – Article 9631706 (in English)
12. *Case Study of Slope Failure during Construction of an Open-Pit Mine in Indonesia* / A. Pramujito et al. // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2019. – Vol. 56. – No. 5. – P. 636–648 (in English)

Сведения об авторах:

Байғали Р. Қ., м. т. н., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), r.baygali@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-4431-2172>

Ярцева В. Ф., м. т. н., ст. преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), v.yartseva@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3015-0280>

Бондаренко Т. Т., к. т. н., главный инженер, ТОО «АлГеоРитм» (г. Караганда, Казахстан), ttbondarenko@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5940-0540>

Турсынбеков А. А., магистрант, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), azat_t@icloud.com; <https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>

Авторлар туралы мәліметтер:

Байғали Р. Қ., техника ғылымдарының магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы, «Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ярцева В. Ф., техника ғылымдарының магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, «Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Бондаренко Т. Т., техника ғылымдарының кандидаты, «АлГеоРитм» ЖШС бас инженері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Турсынбеков А. А., магистрант, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті» КЕАҚ (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Baigali R., Master, Teacher of the «Geodesy and Mine Surveying» Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Yartseva V., Master, senior lecturer of the Department of Mine Surveying and Geodesy, «Abylkas Saginov technical university» (Karaganda, Kazakhstan)

Bondarenko T., Candidate of Technical Sciences, «AlGeoRitm» LLP Chief Engineer (Karaganda, Kazakhstan)

Tursynbekov A., Master's student, of the «Satpayev Kazakh National Research Technical University» (Almaty, Kazakhstan)