

УДК 504.06:622.33

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛА ОТКОСА СКЛОНОВ ПОРОДНОГО ОТВАЛА № 1 ШАХТЫ ПОС. СУТОГАН

Ю. И. Макаришина

Восточноукраинский национальный университет имени В.И.Даля, г.Луганск
кв.т. Молодежный 20-а, г. Луганск, 91034, Украина. E-mail: makarishina@gmail.com

Исследованы рабочие углы откосов склонов породного отвала, сформировавшиеся в результате переформирования, рекультивации и воздействия на породы климатических и физико-механических факторов. В качестве объекта исследования был выбран типичный для Донбасса породный отвал, на котором возникли и развиваются деформации, в частности оползневого характера. Произведен анализ репрезентативности полученных данных о рабочих углах откоса склонов исследуемого породного отвала с использованием общепринятых методов статистического анализа. Проведена проверка однородности выборок значений рабочих углов откоса склонов по экспозициям породного отвала. Использование полученных результатов является основой для изучения закономерностей возникновения и развития нарушений устойчивости породных отвалов, а также моделирования данного процесса.

Ключевые слова: породный отвал, угол откоса, угол естественного откоса, нормальный закон распределения.

ДОСЛІДЖЕННЯ КУТА УКОСУ СКЛОНІВ ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ № 1 ШАХТИ СЕЛ. СУТОГАН

Ю. І. Макаришина

Східноукраїнський національний університет імені В.І.Даля, м.Луганськ
кв.т. Молодіжний 20-а, м. Луганськ, 91034, Україна. E-mail: makarishina@gmail.com

Досліджено робочі куту укусу схилів породного відвалу, що сформувалися у результаті переформування, рекультиватії та впливу на породи кліматичних і фізико-механічних факторів. Об'єктом досліджень було обрано типовий для Донбасу породний відвал, на якому виникли та розвиваються деформації, зокрема зсувного характеру. Виконано аналіз репрезентативності отриманих даних про кути укусу схилів досліджуваного породного відвалу із використанням загальноприйнятих методів статистичного аналізу. Проведено перевірку однорідності вибірок значень робочих кутів укусу схилів за експозиціями породного відвалу. Використання отриманих результатів є основою для вивчення закономірностей виникнення і розвитку порушень стійкості породних відвалів, а також моделювання даного процесу.

Ключові слова: породний відвал, кут укусу, кут природного укусу, нормальний закон розподілу.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Сформированные в прошлом веке породные отвалы в настоящее время представляют значительную угрозу в связи с их склонностью к самовозгоранию и горению, деформациям, а также эрозии, поскольку большинство из них сформированы без учета требований их устойчивости.

Реструктуризация угольных предприятий, проводимая в последние десятилетия, практически не затронула уже существующие породные комплексы. Недостаточность финансирования природоохранных мероприятий привела к тому, что на сегодняшний день контроль ведется только за породными отвалами, которые представляют значительную опасность для прилегающих территорий. Таким образом, как и десятки лет назад, наиболее распространенной формой породных отвалов остается коническая. По данным [1] они составляют более 50 % общей численности породных отвалов, остальная часть представлена хребтовидными и плоскими отвалами.

Породный отвал конической формы характеризуется таким параметром как угол откоса склонов отвала. Анализ литературных источников показал, что изучением вопросов устойчивости породных отвалов наиболее интенсивно занимались в 60–80-х гг. Исследования, проведенными авторами [2–5], нельзя считать полными поскольку они не

охватывают всего комплекса влияющих на этот процесс комплекса факторов. По мнению авторов [2–5] угол откоса является одним из главных факторов влияющим на возникновение деформаций породных отвалов, поэтому оптимальное значение угла откоса определяется на этапе проектирования или переформирования отвалов для обеспечения его устойчивости. Кроме того, изучение угла откоса является частью практически всех исследований, связанных с изучением влияния породных отвалов на загрязнение прилегающих территорий [6].

Максимально допустимые углы откосов породных отвалов (рабочие углы откосов) определяются по углам естественного откоса. Угол естественного откоса – наибольший угол, который может быть образован откосом свободно насыпанного грунта в состоянии равновесия с горизонтальной плоскостью [7]. Однако в процессе воздействия на него климатических, физико-химических факторов величина угла откоса склонов породного отвала с течением времени изменяется.

Таким образом, для изучения условий нарушения устойчивости исследуемого породного отвала необходимо изучить рабочий угол откоса, сформированный в процессе эксплуатации и угол естественного откоса породы отвала.

Целью работы является изучение рабочего угла

откоса породного отвала, сформировавшегося в результате его переформирования и рекультивации, а также в результате воздействия на него факторов окружающей среды.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В процессе работы были поставлены и решены следующие задачи:

1. Изучение исторических условий формирования породного отвала и его склонов.
2. Изучение угла откоса исследуемого породного отвала в полевых условиях.
3. Статистическая обработка полученных данных.

Для измерения угла откоса использовали интегральный акселерометр, который представляет собой микроэлектромеханический датчик MEMS. Акселерометр позволяет определять положение в пространстве, путем определения направления отклонения силы тяжести по осям измерений. Полученное таким образом направление и величина отклонения обрабатывается с помощью программы обработки данных и выводится в виде направления и угла наклона. Таким образом, был определен угол наклона в горизонтальной плоскости – угол откоса породного отвала.

Для дальнейшего анализа и оценки репрезентативности полученных данных использовались общепринятые методы статистического анализа.

Исследования проводились на породном отвале № 1 шахты пос. Сутоган Лутугинского района Луганской области. На сегодняшний день породный

отвал представляет собой усеченный конус, высотой 35–45 м. С западной стороны к нему прилегает породный отвал № 2. Эксплуатация данных породных отвалов закончилась в 70–х годах. В 80–е годы была произведена рекультивация исследуемого породного отвала. Горнотехнический этап переформирования породного отвала № 1 состоял в срезании вершины, тушении очагов горения и нанесении потенциально плодородного слоя грунта. Согласно данным исследования [8], биологический этап состоял в посадке на склонах саженцев древесных пород. Растения, покрывающие склоны породного отвала были высажены искусственно, за исключением внесенных вместе с плодородных слоев грунта на горнотехническом этапе рекультивации. На данный момент на склонах и плоской вершине породного отвала № 1 произрастает в основном акация белая (*Robinia pseudoacacia*). Травянистый покров на породном отвале является неоднородным и представлен типичными для степной зоны растениями.

Измерение угла откоса склонов производилось по сторонам горизонта в нижней, средней и верхней части породного отвала, поскольку форма склонов породного отвала представляет собой местами выпукло-вогнутую и вогнуто-выпуклую.

Из полученных в ходе работы данных были сформированы четыре выборки, данные были разбиты на интервалы и обработаны с помощью методов статистического анализа. Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Данные измерения углов откоса по экспозициям на породном отвале № 1 шахты пос. Сутоган

Интервал измерения, °	Интервальные частоты по экспозициям породного отвала			
	юг	запад	восток	север
23–25	4	–	3	–
26–27	2	2	11	–
28–29	1	11	16	–
30–31	6	15	6	3
32–34	7	5	–	7
35–36	6	–	–	12
37–38	3	–	–	3
39–40	3	–	–	5
41–42	1	–	–	2

На рис. 1 приведены средние значения углов откоса по экспозициям.

Согласно данным табл. 1, значения величины угла откоса склонов породного отвала находятся в интервале от 23 до 42°. Для южного и северного склонов наибольшее количество значений находится в интервале 30–36°. Для западного склона такой интервал составляет 28–34°, а для восточного – 26–31°. Таким образом, наибольшим углом откоса (35,75°) характеризуется северный склон породного отвала, несколько меньшее

среднее значение угла откоса получено на западном склоне.

Для проверки на однородность данных был выбран метод анализа с использованием t-критерия Стьюдента [9]. Данный метод анализа позволяет исключить из выборки сомнительные варианты, которые могут быть ошибочными и не принадлежат совокупности данных. Таким образом, в ходе анализа статистической гипотезы об однородности данных, составляющих выборки значений по экспозициям породного отвала, были найдены и ис-

ключены ошибочные значения, которые не принадлежат совокупности данных. Согласно полученным результатам, из выборки данных для южного склона были извлечены семь значений, из них шесть минимальных и одно максимальное. Из выборки данных восточного склона были извлечены семь максимальных значений, поскольку на уровне значимости $\alpha = 0,05$ они не совместимы с остальными

элементами выборки и не принадлежат той же совокупности, что и все остальные элементы выборки. Для северного склона на уровне значимости $\alpha = 0,05$ не совместимы с остальными и не принадлежат одной совокупности шесть элементов, а для северного склона – четыре значения.

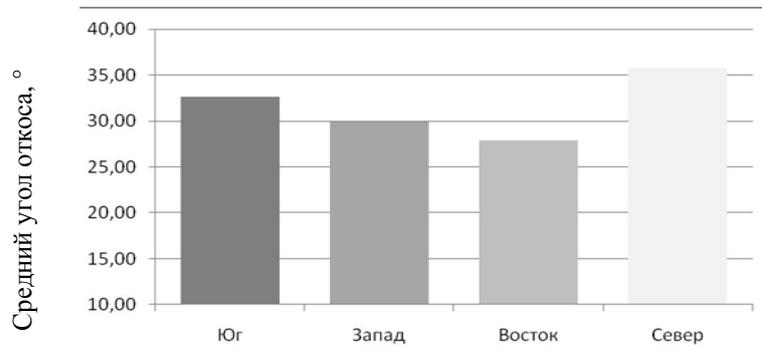


Рисунок 1 – Средние значения углов откоса по экспозициям на породном отвале № 1 шахты пос.Сутоган

В табл. 2 приведены основные статистические показатели, рассчитанные для выборок данных величин углов откосов породного отвала. Как видно из табл. 2, значения коэффициента вариации для выборок данных не превышает 15 %, что говорит об очень высокой однородности полученных результатов. Согласно данным табл. 2, величина коэффициента вариации данных для южного склона является

наибольшей, что говорит о большей изменчивости данных, которая может быть связана с неоднородностью формы склона в его нижней и верхней части, характером породы и степенью эрозионных нарушений склона. Данные для западного склона характеризуются наибольшей однородностью, что может быть связано с его большей устойчивостью и меньшей изменчивостью.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки результатов замеров угла откоса

Статистические показатели	Место проведения замеров			
	южный склон	западный склон	восточный склон	северный склон
Среднее арифметическое, °	32,7	29,9	27,9	35,8
Стандартное отклонение	4,89	1,42	1,62	3,10
Коэффициент вариации, %	14,97	4,76	5,83	8,67
Абсолютная ошибка	0,851	0,248	0,271	0,548
Относительная ошибка, %	2,61	0,83	0,97	1,53
Доверительный интервал, °	32,7±1,7	29,9±0,5	27,9±0,5	35,8±1,1
Мода, °	33,4	30,4	28,2	34,4
Медиана, °	30,3	29,4	27,2	33,2

Для дальнейшего анализа и оценки полученных данных была проведена проверка данных на достоверность. Данные об угле откоса склонов были сгруппированы и разбиты на интервалы, кроме того были определены границы частичных ин-

тервалов и соответствующие им эмпирические частоты. Для проверки полученных данных на соответствие нормальному закону распределения была выдвинута прикидочная (на основе значения коэффициента вариации) и основная (использовались

значения асимметрии и эксцесса) гипотезы. Как видно из табл. 2, значения коэффициента вариации не превышают 33 %, следовательно, нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном распределении анализируемых данных.

Как видно из табл. 3, асимметрия и эксцесс находятся в пределах $A < 3\sigma_a$ и $E < 3\sigma_e$, т.е. нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном рас-

пределении (достоверности) анализируемых данных. В ходе работы были рассчитаны модальное значение угла откоса и медиана по каждой экспозиции. Полученные значения моды и медианы приведены в табл. 2. Согласно данных табл. 2, значения среднего арифметического, моды и медианы отличаются незначительно, что характерно для нормального закона распределения данных.

Таблица 3 – Выдвижение основной гипотезы о соответствии данных величины углов откоса склонов на достоверность (на соответствие нормальному закону распределения)

Экспозиция	Показатели							
	A	E	$3\sigma_a$	$3\sigma_e$	Гипотеза			
					A		E	
					$H_0 (<3\sigma_a)$	$H_1 (>3\sigma_a)$	$H_0 (<3\sigma_e)$	$H_1 (>3\sigma_e)$
Юг	-0,260	-0,886	1,279	2,558	+	-	+	-
Запад	-0,225	-0,822	1,279	2,558	+	-	+	-
Восток	0,023	-0,794	1,225	2,449	+	-	+	-
Север	0,176	-0,802	1,299	2,598	+	-	+	-

В ходе дальнейшего анализа полученных данных, для эмпирических частот распределения данных, полученных в ходе исследования, были получены теоретические частоты нормального распределения. На рис. 3 приведены эмпирические и теоретические частоты нормального распределения значений углов откосов по экспозициям. Согласно полученным результатам сравниваемые эмпирические и теоретические распределения близки, однако

гипотеза о том, что на уровне значимости $\alpha=0,05$ эмпирические и теоретические частоты статистически близки, требует проверки. Для проверки данной гипотезы использовали χ^2 – критерий Пирсона [9]. Данный метод заключается в сравнении полученного по анализируемым данным критерия χ^2 и критического значения $\chi^2_{кр}(\alpha, \nu)$, найденного по справочным данным.

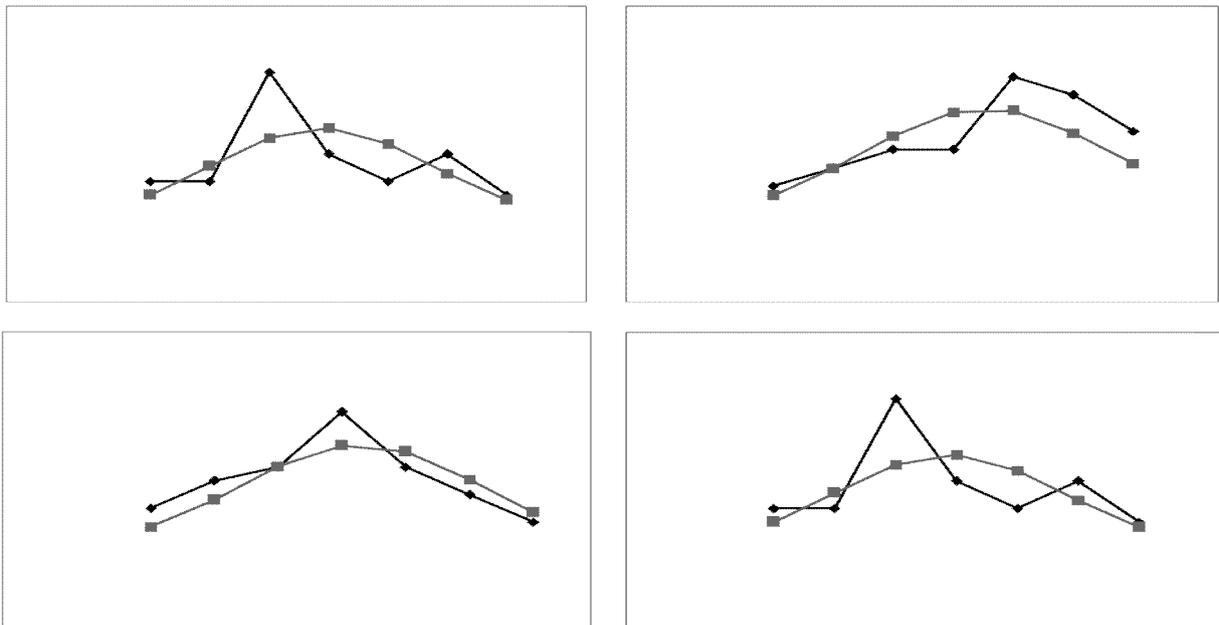


Рисунок 3 – Полигоны эмпирических и теоретических частот нормального распределения значений угла откоса породного отвала по экспозициям: 1 – южный склон, 2 – западный склон, 3 – восточный склон, 4 – северный склон

Таблица 4 – Значения критерия Пирсона, рассчитанные для исследуемых выборок данных

	Место проведения замера			
	южный склон	западный склон	восточный склон	северный склон
Критерий χ^2	6,74	3,43	3,01	7,05

В табл. 4 приведены полученные значения критерия χ^2 . Согласно данным приложения М [9] при числе степеней свободы $\nu = 4$ и на уровне значимости $\alpha = 0,05$ критерий χ^2 имеет значение $\chi^2_{кр}(0,05;4) = 9,49$. Таким образом, для всех исследуемых выборок выполняется условие $\chi^2 < \chi^2_{кр}(0,05;4)$, соответственно с вероятностью 95% углы откоса по экспозициям аппроксимируются нормальным законом распределения.

Для дальнейшего изучения закономерностей изменения величины угла откоса склонов породного отвала необходимо провести проверку статистической гипотезы об однородности выборок случайных величин. С этой целью произвели проверку однородности четырех выборок по критерию Крускала-Уоллиса [10]. Для дальнейшего анализа однородности четырех исследуемых выборок, представляющих данные об углах откосов склонов породного отвала, появилась необходимость дополнения выборок случайными величинами для выравнивания количества элементов. Для дополнения выборок недостающим числом элементов использован метод приближенного разыгрывания нормальной случайной величины Монте-Карло [10]. Согласно методу Монте-Карло, выборка дополняется случайными величинами, для нахождения которых некоторую случайную величину x_i , найденную по справочным данным, необходимо уточнить на величины среднеквадратического отклонения и математического ожидания выборки. Таким образом, выборки данных об угле откоса южного и западного склонов были дополнены тремя, северного – четырьмя возможными значениями нормальной случайной величины.

При проверке гипотезы об однородности данных четырех выборок значений углов откоса породного отвала по экспозициям был составлен объединенный ранжированный ряд, на основании которого была рассчитана статистика критерия Крускала-Уоллиса $Q = 76,34$. Согласно справочным данным, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и $\nu = 4 - 1 = 3$,

$\chi^2_{кр}(\alpha, \nu) = 7,81$. Таким образом, $Q > \chi^2_{кр}$ и гипотеза об однородности выборок данных величин углов откосов склонов отвала отклоняется и принимается альтернативная гипотеза H_1 . С вероятностью 95 % выборки данных величин угла откоса южного, восточного, северного и западного склона неоднородны.

Для дальнейшего анализа провели сравнение выборок попарно с использованием критерия Вилкоксона [10]. При проверке на однородность пар выборок значений углов откосов склонов установлено, что для всех пар выборок, за исключением выборок углов откоса южного и восточного склонов, $W_{набл.} < \omega_{нижн.кр.}$, таким образом, гипотеза об однородности данных этих выборок отклоняется. А для выборок данных южного и восточного склонов справедливо условие $\omega_{нижн.кр.} < W_{набл.} < \omega_{верхн.кр.}$, следовательно гипотеза об однородности этих выборок справедлива. Таким образом, для дальнейших выводов на основании полученных закономерностей необходимо провести дополнительные исследования, а так же проанализировать возможные зависимости между физико-механическими характеристиками породы породного отвала.

ВЫВОДЫ. В работе были проведены исследования угла откосов склонов породного отвала №1 шахты пос. Сутоган.

В ходе анализа полученных данных была произведена проверка на репрезентативность полученной информации. В ходе проверки были проанализированы однородность выборок величин углов откоса склонов породного отвала по экспозициям, так же была выдвинута и проверена гипотеза о соответствии нормальному закону распределения полученных данных. Установлено, что распределение данных в исследуемых выборках близко к нормальному. Кроме того проверена однородность выборок по парам, в ходе которой было установлено, что однородными являются лишь выборки данных об углах откоса южного и восточного склонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деформация породных овалов Деформация породных овалов / Сухаревский В.М., Стельмах А.П., Фридман И.С. – К.: Техника, 1970. – 108 с.
2. Породные отвалы угольных шахт / П.А. Леонов, Б.А. Сурначев. – М.: Недра, 1970. – 112 с.
3. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах / Демин А.М., Шушкина О.И. – М.: Недра, 1978. – 159 с.
4. Устойчивость бортов и отвалов на разрезах / Фисенко Г.Л., Мочалов А.М. – М., 1975. – 54 с.
5. Малюшицкий Ю.Н. Устойчивость насы-

пей-отвалов.– К.: Будивельник, 1975. – 176 с.

6. Азбуханов А.З. Механика грунтов. – М.: Феникс, 2006. – 500с.
7. Смирний М.Ф. Екологічна безпека териконових ландшафтів Донбасу: монографія / Смирний М.Ф., Зубова Л.Г., Зубов О.Р. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 232 с.
8. Харламова А.В. Создание лесных экосистем на терриконах угольных шахт Донбасса и депонирование ими углерода // Екологічна безпека. – Вип. 2/2011 (12). – Кременчук: КрНУ, 2011. – С. 22–25.

9. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації / Школьний Е.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. – Одеса, 1999. – 600 с.
10. Гмурман В.Е. Руководство к решению

задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшее образование, 2006. – 476 с.

RESEARCH OF BULK ROCK DENSITY OF WASTE ROCK DUMP №1 ON COAL MINE IN SUTOGAN SETTLEMENT

Y. Makaryshyna

Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University

vul. Molodizhnyi 20a, Lugansk, 91034, Ukraine. E-mail: makarishina@gmail.com

The field research results of slope angle of waste dump that was formed in the process of reformation, recultivation and the impact on the waste climatic and physical and mechanical factors were considered. The waste dump that is typical for Donbas region, where rockslides are in progress, was chosen as the object. Analysis of obtained data representativity of slope angle of waste dump under research was made. Common methods of mathematical statistics were used. The slope angle values of studied waste dump is distributed approximately normally. Empirical distribution of waste dump's slope angle, obtained on north, south, west and east slopes were compared. It was set that only samples of waste dump's slope angle obtained on south and west slopes come from the same statistical population which represents them both. Using obtained research results is the base for further investigations of waste rock dumps instability regularities and modeling this process.

Key words: waste rock dump, slope angle, normal distribution

REFERENCES

1. Deformation of waste dumps / Sykharevsiy V.M. Stelmah A.P. Fridman I.S. – K.: Tehnika, 1970. – 108 p. [in Russian].
2. Waste dumps of coal mines / Leonov P.A. Syrnamech B.A. – M.: Nedra, 1970. – 112 p. [in Russian].
3. Tensity and stability of waste dumps in open pits / Demin A.M., Shyshkina O.I. – M.: Nedra, 1978. – 159 p. [in Russian].
4. Stability of boards and waste dumps in mines / Fisenko G.L., Mochalov A.M. – M., 1975. – 54 p. [in Russian].
5. Malyshitskiy Y.N. Stability of jointed rocks – K.: Bydivelnyk, 1975. – 176 p. [in Russian].
6. Azbyhanov A.Z. Soil mechanics. – M.: Fenics, 2006. – 500 p. [in Russian].
7. Ecological safety of coal mines waste banks landscapes of Donbass: monograph / Smirniy M.F., Zubova L.G., Zubov A.R. – Lugansk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2006. – 232 p. [in Russian].
8. Kharlamova A. V. Formation of wood ecosystems on waste banks of Donbass' collieries and deposition of carbon by them // Kremenchug: Ecological safety. – Iss. 2/2011 (12). Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, 2011 – PP. 22–25. [in Russian]
9. Hydrometeorological data processing and analysis / Shkolniy E.P. Loeva I.D. Goncharova L.D. – Odessa, 1999. – 600 p. [in Ukrainian].
10. Gmyrman V.E. Instruction of doing sum in theory of probability and mathematical statistics. – M.: Vyshee obrazovanie, 2006. – 476 p. [in Russian].

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Зубовою Л.Г.