

*Д. Е. Рублев<sup>1\*</sup>*

## **Определение параметров трещин в аргиллитах бортов карьеров методом лазерного сканирования**

<sup>1</sup> Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
*\*denmiir@211.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены особенности определения по данным наземного лазерного сканирования линейных и угловых размеров зигзагообразных трещин и контроля их развития в массиве аргиллита краевой зоны карьерного пространства угольного разреза. Показано, что при отсутствии бокового отпора такие нарушения приводят к эрозионным отслоениям, потере устойчивости и обрушению как коренных пород, так и вышележащих грунтов на нижерасположенные уступы. Представлена методика вычисления параметров протяженности и расхождения берегов трещин по данным цифровой 3D модели, определения их соотношений и углов отклонения сегментов каждой трещины от прямолинейности на смежных участках.

**Ключевые слова:** карьер, трещина, лазерное сканирование, методика обработки данных

*D. E. Rublev<sup>1\*</sup>*

## **Determination of crack parameters in siltstone sides of quarries by laser scanning**

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution of Science N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS,  
Novosibirsk, Russian Federation  
*\*denmiir@211.ru*

**Annotation.** The features of determining linear and angular sizes of zigzag cracks from ground-based laser scanning data and monitoring their development in the mudstone massif of the marginal zone of the quarry space of a coal mine are considered. It is shown that in the absence of lateral resistance, such violations lead to erosive detachment, loss of stability and collapse of both bedrock and overlying soils on the lower ledges. A method is presented for calculating the parameters of the length and divergence of the crack banks according to the digital 3D model, determining their ratios and angles of deviation of the segments of each crack from straightness in adjacent areas.

**Keywords:** quarry, crack, laser scanning, data processing technique

### ***Введение***

Определение параметров устойчивости бортов карьерного пространства угольного разреза является важным критерием обеспечения безопасности ведения горных работ открытым способом. С увеличением выработанного пространства, труднодоступностью и ограничениями регулярного визуального осмотра горнотехнического объекта в результате динамических изменений при ведении добычных работ существенно усложняется контроль структурных изменений грунтов и пород горного массива в бортах в результате постепенного формирования протяженных

трещин, и как следствие, развитие эрозии под воздействием сезонных природно-климатических факторов. Одним из способов периодического контроля состояния бортов карьеров является метод наземного лазерного сканирования (НЛС), позволяющий дистанционно создавать точную 3D модель труднодоступного объекта, состоящую из облака точек, тем самым фиксируя структурные изменения на склоновых обнажениях, что обеспечивает возможность обновления параметров разрушений и прогнозировать развитие аварийных ситуаций при сопоставлении данных периодических измерений [1].

### *Методы и материалы*

Объектом исследования является горный массив по склону борта угольного разреза. Месторождение представляет брахисинклинальную складку, образованную высокопродуктивными отложениями Ерунаковской свиты, перемежающимися плохо сортированными аргиллитами, алевролитами, песчаниками и грунтами четвертичных отложений с линзами бурого угля.

Для исследования выбран склон уступа среднего горизонта, сложенный аргиллитами. Он характеризуется высокой трещиноватостью с преобладанием мелко- и среднемасштабных геоблоков (см. рис. 1) размерами до 30 см, переходящими в более крупные блоки. Сеть трещин, формирующих блоки, имеет как горизонтальную, так и наклонно-вертикальную ориентацию, развитую на поверхности склона по высоте уступа. Следует отметить, что на верхнем горизонте при отсутствии бокового отпора вдоль кромки борта в грунтах четвертичных отложений, представленных супесью и песчаниками мощностью ~8–10 м, наблюдается формирование разлома грабенного вида шириной ~15 м, протяженностью более 2 км при скорости оседания до 1м/год.



Рис. 1. Фрагмент разрушений аргиллитов на склоне борта угольного разреза

С помощью лазерного сканера Leica Scan Station 2 дистанционно была получена точечная цифровая 3D модель [1] поверхности склона и произведены измерения параметров трещин по протяженности и ширине раскрытия их берегов. Определить глубину трещин в массиве таким методом проблематично в связи с перекрытием зон видимости и заполнением обломочным материалом. Для повышения точности сканирования, связанной с фокусировкой лазерного луча, оптимальное расстояние установки сканера было выбрано ~25 метров. На рис. 2 показана 3D модель участка, выделенного на рис. 1 прямоугольником.

Обработка данных лазерного сканирования производилась с помощью программы Cyclone версии 7.3. Программа позволяет выполнять измерения угловых параметров наклона граней и рёбер сканируемых геоблоков как между собой, так и относительно горизонта, определять их линейные размеры, объёмы замкнутых пространств, вывалов и пустот в лабораторных условиях [2].

На выбранном участке массива коренных пород (аргиллит) в зонах чёткой видимости были произведены измерения расхождений берегов с равномерным распределением по протяженности трещин (рис. 2). При измерениях использовались команды Set Plane Origin at Pick Point и Set to Y-Z Plane [2] программы Cyclone, что позволяло установить секущую плоскость трещины и ее направление в соответствии с выбранной точкой на скане. Выбор мест сечений для определения расхождений берегов определялся по протяженности каждой рассматриваемой трещины. Секущая плоскость устанавливалась в системе координат сканера относительно вертикальной оси Z, определяющейся сканером автоматически посредством встроенного гироскопа. Оси X и Y определялись при установке сканера с учетом его ориентации.

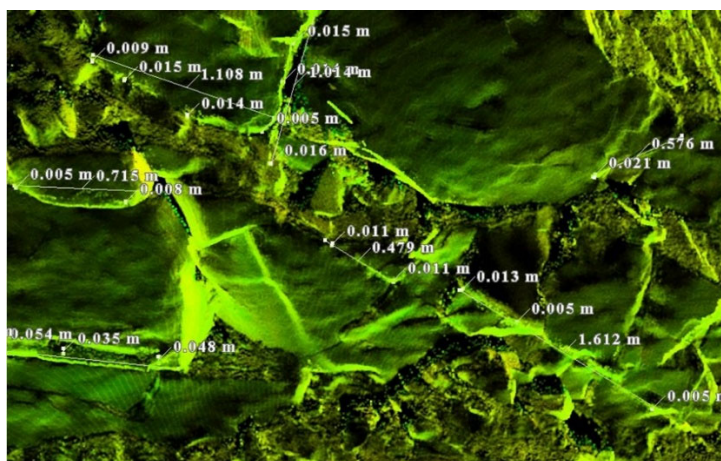


Рис. 2. Пример определения протяженности трещин и расхождения их берегов

В качестве нулевой точки отсчёта системы координат принята точка установки сканера. Команда Show Active Plane позволяет подключать или отключать активную секущую плоскость, что может быть полезно при корректировке точки установки. Локализация участка измерений выполнялась с помощью команд Set from Active Ref Plane, переносящей зону разреза на установленную секущую плоскость, и View Slice, производящей разрез [2].

Для коррекции перпендикулярного направления сечения использовалась команда Rotate, позволяющая вращать плоскость вокруг оси Z в необходимом направлении, и команда Edit Active Plane, позволяющая задавать параметры секущей плоскости [2]. Для повышения точности измерений толщину разреза рекомендуется выбирать 2-3 мм. Разрез производился перпендикулярно осевой линии трещины. При смещении берегов трещины за первую точку принимался её наименее выступающий берег, далее, по протяженности трещины, командой Dis-

tance при двух выбранных точках через 20 см перпендикулярно осевой линии строился каждый отрезок до противоположного берега. Трещины, заполненные обломочным материалом, исключались из дальнейшей обработки из-за сложности корректного определения береговых точек.

Определение угловых параметров развития трещин производилось следующим образом: по облаку точек выполнялось построение линейного сегмента грани рассматриваемого геоблока с помощью команд Create Object / Fit to Cloud / Line Segment. При этом необходимо, чтобы точки облака скана располагались как с левой, так и с правой стороны грани блока по возможности равномерно. Так как в программе Cyclone 7.3 измерение углов возможно только между 3D объектами, построение измерений выполнялось между смежными участками трещины независимо от места выбора точки на линейном сегменте. Построение сегментов выполняется таким образом, что окончание предыдущего сегмента является началом следующего. Угловые измерения производились между смежными сегментами с помощью команды Angle between Objects. Данные сохраняются в меню Edit Measurements и могут быть перенесены в любые табличные редакторы для дальнейшей обработки.

### Результаты

Численные значения параметров трещин (при включенной команде Save Measurements) копировались из меню Edit Measurements в программу Excel для обработки по методике [3]. Здесь используется отношение среднего расстояния расхождения между берегами трещин  $\delta_i$  для геоблоков пород фиксированного иерархического уровня к линейному размеру межблочной трещины  $\Delta_i$ . Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Численные значения измерений параметров трещин

Протяженность трещины $\Delta_i$ , м	2.89	0.72	1.11	0.65	1.61	0.75	0.48	0.58	0.75	0.46	0.49	0.87	1.01	0.54	0.45
Фактическое расхождение берегов по длине трещины, см	8.1	0.5	0.9	1.3	1.3	1.4	1.1	2.1	1.2	0.6	0.8	1.6	1.5	1.4	4.1
	5.3	0.9	1.5	1.5	0.6	1.0	0.6	2.0	2.0	0.7	0.9	1.5	1.4	2.0	5.2
	8.3	1.4	1.1	0.9	0.5	1.0	1.1	6.6	2.3	0.7	0.9	1.1	2.1	1.5	2.4
	6.4	0.8	1.4	2.2	0.9	1.0		4.1	2.4	1.1	0.5	0.7	0.9	2.1	3.8
	7.2		0.6		0.6					0.6	0.6	1.7	1.6		4.1
	6.9		0.5		0.7						0.6				
	5.6				0.6										
	8.6				0.5										
	3.5														
Среднее расхождение берегов $\delta_i$ , см	6.3	0.9	1.0	1.5	0.7	1.1	0.9	3.7	2.0	0.7	0.7	1.3	1.5	1.8	3.9
Отношение [3] расхождения берегов трещины к её протяженности $i_{\mu\Delta}(\delta)=\delta_i/\Delta_i$	0.022	0.013	0.009	0.023	0.004	0.015	0.019	0.064	0.026	0.016	0.015	0.015	0.015	0.033	0.088

На рис. 3 показан гистограмма изменений угловых отклонений участков трещин от прямолинейности в геоблоках бортовых обнажений аргиллита.

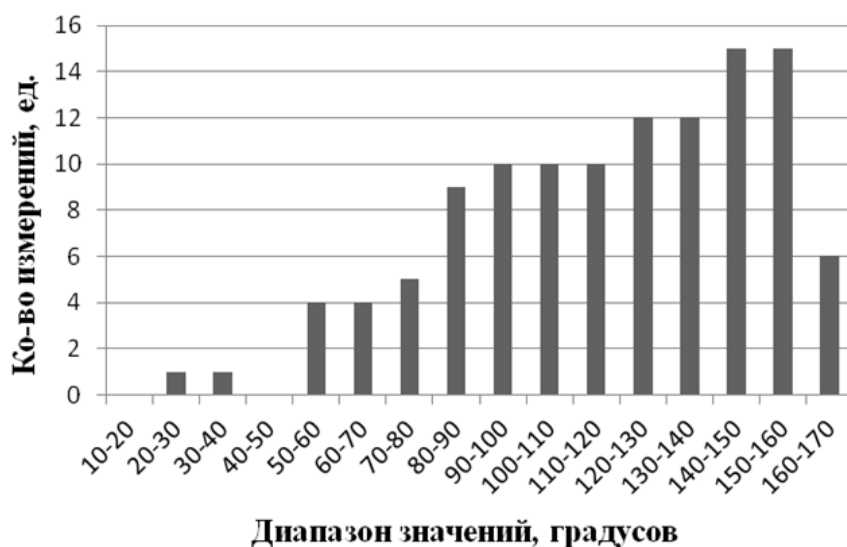


Рис. 3. Угловые значения отклонений трещин от прямолинейности

### *Обсуждение*

Наблюдение за динамикой изменений структурного строения прибортовой зоны карьерного пространства угольного разреза показывает, что на его перестроение существенное влияние наряду с природно-климатическими факторами оказывает отсутствие бокового отпора в краевой части борта [4].

Между геоблоками пород формируются зоны дезинтеграции, размеры и форма которых в значительной степени зависит как от литологических свойств слагаемых пород. Основные значения отклонений трещин от прямолинейности находятся в диапазоне от 121 до 163 градусов. Такие углы наклона формируют поверхность скольжения и способствуют выдавливанию отдельных геоблоков, которое в значительной степени проявляется под влиянием природно-климатических факторов в межсезонье. Полученное распределение углов трещин говорит о склонности геоблоков к пирамидальной форме.

Установлено что отношение ширины трещины к её длине составляет в среднем 0.025, при этом результаты близки к полученным в работе [3] для рудных месторождений, т.е. 0.027.

### *Заключение*

Экспериментально установлено, что при отсутствии бокового отпора развитие трещин в массиве аргиллита краевой части борта угольного разреза приводит к эрозионным отслоениям, потере устойчивости и обрушению как коренных пород, так и вышележащих грунтов на нижерасположенные уступы. Представлена методика вычисления параметров протяженности и расхождения берегов трещин по данным цифровой 3D модели, определения их соотношений и углов их отклонения от прямолинейности на смежных участках.

Представленная методика позволяет оценивать склонность пород к смещению, прогнозировать развитие трещин и переформирование прибортовой зоны по реорганизации структуры геоблоков.

### ***Благодарности***

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-17-00148, <https://rscf.ru/project/23-17-00148/>

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование, СГГА Новосибирск, 2009.
2. Leica Cyclone Help, Leica Geosystems, Inc., Switzerland, 2011.
3. Курленя М.В., Опарин В.Н., Еременко А.А., Об отношении линейных размеров блоков горных пород к величинам раскрытия трещин в структуре иерархии массивов, ФТПРПИ №3, Новосибирск, 1993 г.
4. Опарин В.Н., Юшкин В.Ф., Клишко В.К., Гришин А.Н., Рублев Д.Е., Изотов А.С., Иванов А.В. Об аналитическом описании форм поверхности подземной камеры при взрывах зарядов по данным лазерного сканирования ФТПРПИ №4, Новосибирск, 2017 г.

© Д. Е. Рублев, 2023