

10%-ной ошибке определения собственной частоты, а с другой – к потере одной из высоких собственных частот колебаний системы.

**Список литературы**

1. Сушкова О.А. Обобщенные расчетные схемы и динамика шаровых мельниц с синхронным электроприводом / О.А. Сушкова // Вестник КазНТУ. – 2011, №1(83) – С.8-13.
2. Багдасарян М.К. Математическая модель для исследования электромеханической системы мельница-двигатель / М.К. Багдасарян, С.С. Алавердян // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. «Технические науки». – 2013, Т. LXVI. – №2. – С. 148-155.
3. Виноградов Б.В. Статика і динаміка барабаних млинів / Б.В. Виноградов // Дніпропетровськ: УДХТУ, 2016.– 202 с.
4. Виноградов Б.В. Механический аналог синхронного двигателя / Б.В. Виноградов, Д.А. Федин // Науковий вісник НГУ. – 2012, №1. – 78-82 с.
5. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер // под ред. Э. И. Григолюк. – М.: Машиностроение. – 1985. – 472 с.
6. Виноградов Б.В. The stiffness of the open gearing of tumbling mill / Б.В. Виноградов, Д. А. Федин // Науковий вісник НГУ, 2016, № 2 – С. 24-29.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Кузяєвим І.М.*

УДК 622.271:622.236

**П.Н. Щербак, С.Е. Тимченко канд-ты техн наук, Г.И. Торощев**  
(Украина, Днепр, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»)

**УСТРОЙСТВО ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ КРЕПОСТИ И ТРЕЩИНОВАТОСТИ  
ГОРНЫХ ПОРОД В ПРОЦЕССЕ ШАРОШЕЧНОГО ИХ БУРЕНИЯ**

***Анотація.** Наведена технічна розробка і конструктивне вирішення пристрою оперативного контролю міцності і тріщиноватості гірських порід у застосуванні до системи автоматичного керування шарошечними буровими станками. Встановлений розподіл сумарної кількості імпульсів, які поступають з датчиків первинної інформації по інтервалах вимірювання, відповідно до статистичної функції буріння.*

***Ключові слова.** Міцність і тріщиноватість порід, функція, блок-схема, пристрій, імпульс.*

***Аннотация.** Представлена техническая разработка и конструктивное решение устройства оперативного контроля крепости и трещиноватости горных пород применительно к системе автоматического управления шарошечными буровыми станками. Установлено распределение суммарного количества импульсов, поступающих с датчиков первичной информации по интервалам измерения, согласно статистической функции бурения.*

***Ключевые слова.** Крепость и трещиноватость пород, функция, блок-схема, прибор, импульс.*

***Abstract.** Given paper presents a technical development and engineering solution for operational monitoring the rock strength and fracturing applied to the automatic control system of roller-bit drill. It introduces a distribution of total number of impulses that come from the raw information sensors by measurement interval accordingly to drilling statistical function.*

***Keywords:** rock strength and fracturing, function, chart, device, impulse.*

**Введение.** Добыча скальных полезных ископаемых открытым способом предусматривает предварительное их дробление с помощью буро-взрывных работ (БВР), т.е. подготовку горной массы требуемой кусковатости. Технично-економические показатели этой технологической операции существенно зависят от эксплуатационных затрат на бурение скважин, которое в большом объеме выполняется для каждого массового взрыва. Однако, управление шарошечными буровыми станками до настоящего времени осуществляется вручную, что не позволяет эффективно использовать их технические возможности в нестабильных горно-геологических условиях. Машинист, несмотря на определенный опыт работы, не может постоянно задавать рациональные параметры управления, так как субъективно оценивает прочностные свойства пород на каждом шаге их бурения. Отсюда следует актуальность создания устройства оперативного контроля крепости и трещиноватости пород как основного информационного блока системы автоматического управления шарошечными буровыми станками.

**Анализ существующих исследований.** Создание технических средств оперативного контроля прочностных свойств горных пород, залегающих на каждом взрываемом массиве, привлекает своей актуальностью научных и инженерно-технических работников. Заслуживают особенного внимания многолетние исследования, позволившие оценивать относительную крепость пород по величине удельной энергоёмкости шарошечного бурения [1]. Разработана блок-схема для ее определения по показаниям измерительной аппаратуры. Однако в этом случае не предусмотрено непосредственное измерение крепости и трещиноватости пород, чем ограничивается выбор рациональных режимов эксплуатации станка.

На уровне изобретения разработано устройство для определения прочностных свойств горных пород в процессе их шарошечного бурения [2]. Изготовлен экспериментальный его образец и даны рекомендации по определению удельного заряда взрывчатого вещества (ВВ) для наиболее вероятных результатов измерений [3]. Промышленные испытания устройства позволили установить его конструктивные и эксплуатационные недоработки применительно к системе автоматического управления буровыми станками.

**Задача исследований.** Расширить область исследования временных затрат шарошечного бурения скважин в зависимости от крепости пород и параметров работы станка, а также по их соответствующим результатам определить число суммарных импульсов, поступающих с датчиков первичной информации в каждом конкретном случае. Установить распределение числа импульсов по интервалам крепости пород с учетом статистической функции бурения. Представить техническую разработку и конструктивное решение устройства оперативного контроля крепости и трещиноватости пород применительно к системе автоматического управления шарошечными буровыми станками.

**Изложение основного материала.** Методом многофакторного статистического анализа хронометражных данных о работе шарошечных буровых станков установлено, что зависимость скорости бурения скважины от факторов, наиболее на нее влияющих, реально представить следующей степенной функцией:

$$v = kf^{a_1}p^{a_2}n^{a_3}d^{a_4}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость бурения скважины;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние второстепенных факторов, например трещиноватости;  $f$  – коэффициент крепости пород по Протодяконову;  $p$  – давление в рабочем гидроцилиндре напора станка (осевое усилие);  $n$  – частота вращения буровой штанги;  $d$  – диаметр шарошечного долота;  $a_i$  ( $i = 1 \dots 4$ ) – показатели степени при соответствующих переменных.

Репрезентативность выборки в процессе статистических наблюдений обеспечивалась применением датчиков контроля основных показателей работы станка, надежной формой записи поступающей информации специальным элементом на термочувствительную поверхность диска, а также лабораторными испытаниями на одноосное сжатие образцов, изготовленных из тех же пород, в которых бурились скважины. Значения показателей  $a_i$  определены с использованием методики, рассмотренной в [4] применительно к технологии ведения горных работ.

С помощью логарифмирования выражение (1) приведено к линейному уравнению регрессии

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4, \quad (2)$$

где  $y$ ,  $a_0$ ,  $x_i$  – соответственно  $\ln v$ ,  $\ln k$ ,  $\ln(f, p, n, d)$ .

В результате корреляционного исследования уравнения (2) с последующим потенцированием получена формула для определения мгновенной скорости шарошечного бурения, т.е.

$$v = k \sqrt[4]{\frac{pn}{f^4 d}}, \quad (3)$$

Из уравнения (3) получаем что

$$f = \sqrt[4]{\frac{k^2 pn}{v^2 d}}. \quad (4)$$

Как правило, на каждом карьере применяют шарошечные долота одинакового диаметра, что позволяет рассматривать параметр  $d$  в виде постоянной величины на данном объекте. С учетом этого приведем выражение (4) к виду

$$f = k_1 \sqrt[4]{\frac{pn}{v^2}}, \quad (5)$$

где  $k_1 = \sqrt[4]{\frac{k^2}{a}}$ .

Практика учета крепости пород при проектировании массовых взрывов подтвердила целесообразность использования средних ее значений на отдельных участках скважины длиной  $l$ . Пусть  $l = 1$  м, тогда  $p_{cp}$ ,  $n_{cp}$ ,  $v_{cp}$  – средние параметры работы станка в процессе бурения принятого участка скважины, а  $t$  – время бурения.

Причем

$$v_{cp} = \frac{1}{t}. \quad (6)$$

С учетом выражений (5) и (6) получим среднее значение крепости пород на участке скважины в 1 м при применяемом диаметре шарошечного долота

$$f = k_1 \sqrt[4]{p_{cp} \cdot n_{cp} \cdot t^2} \quad (7)$$

Установлено, что в момент пересечения шарошечным долотом раскрытой (даже не плотно сомкнутой) трещины имеет место скачкообразный спад давления в гидроцилиндре напора станка, причем длительность периода между двумя соседними спадами характеризует размер монолитного блока породы, а амплитуда изменения давления – степень раскрытия трещины. Для использования этой закономерности применен датчик, который с помощью дифференциального трансформатора преобразует давление в электрический сигнал. Его показания непрерывно регистрируются на круговой диаграмме, фрагмент такой записи показан на рис. 1.

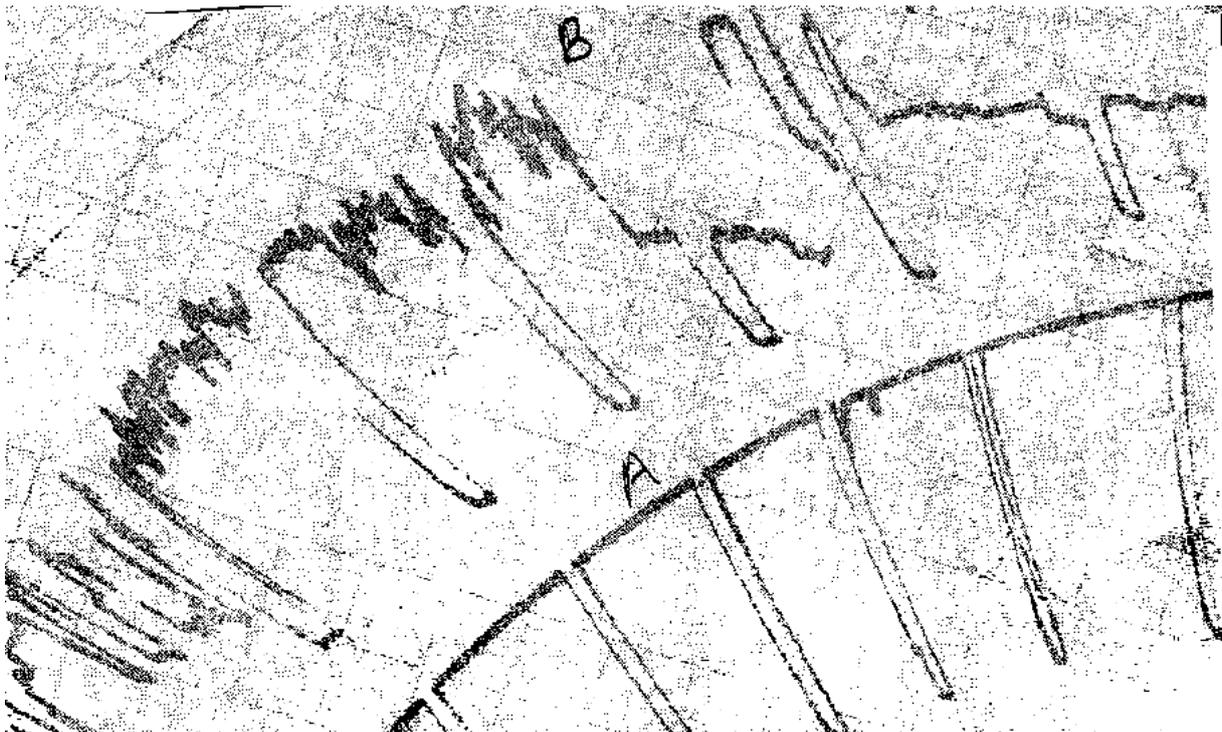


Рис. 1 Часть круговой диаграммы с регистрацией колебаний давления в гидроцилиндре станка:  
А – породы выдержанной блочности; В – породы интенсивной трещиноватости

Статистическая зависимость (7) и принцип оценки естественной трещиноватости массива пород с перепадами давления в гидроцилиндре станка положены в основу работы прибора для измерения крепости и трещиноватости буримых пород на контролируемом участке скважины. Его блок-схема изображена на рис. 2.

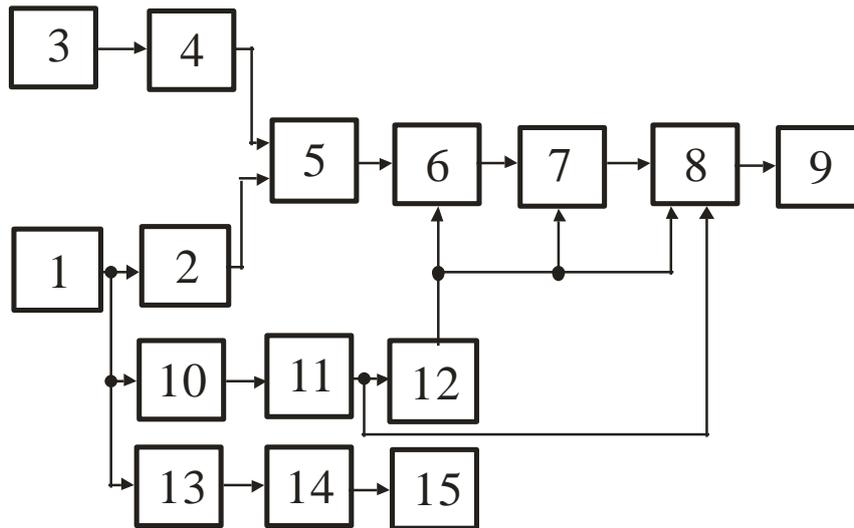


Рис. 2. Блок-схема прибора для измерения крепости и трещиноватости буримых пород

Прибор работает по принципу время-импульсного преобразования основных параметров процесса бурения контролируемого участка скважины, с последующей обработкой полученных величин по заданному алгоритму. Напряжение, пропорциональное осевому усилию на штангу, снимается с датчика 1 и подается на вход преобразователя 2 напряжения в частоту следования импульсов. Частота вращения штанги бурового станка контролируется датчиком 3, напряжение с которого поступает на вход преобразователя 4 напряжение – частота. Импульсы с преобразователей 2 и 4 поступают на вход сумматора 5, в котором происходит их суммирование. Таким образом, за время бурения исследуемого участка скважины на выходе блока 5 получаем число импульсов, пропорциональное среднему значению крепости пород на этом участке. С выхода сумматора импульсы поступают на вход 6 делителя частоты следования импульсов, где происходит их предварительное деление на такое количество, которое удобно использовать в дальнейшей обработке. При проведении измерений на участке скважины в 1 м коэффициент деления принят равным 128. Это значение обусловлено диапазоном параметров  $p$  и  $n$ , величиной выходного напряжения применяемых датчиков 1 и 3, а также выходной характеристикой преобразователей 2 и 4 напряжение-частота. После делителя 6 частоты импульсы попадают на вход блока 7 распределения импульсов по интервалам. Всего задано пять интервалов, на которые разбивается общее количество импульсов, поступающих на вход блока 7. При этом учтены особенности разрушения скальных пород взрывом.

Известно, что управление комплексом БВР с использованием оперативной информации о прочностных свойствах пород эффективно осуществлять в тех случаях, когда  $12 \leq f \leq 22$ . Указанный диапазон изменения коэффициента крепости принят для более точного измерения по пяти следующим интервалам: 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-22. Данное число интервалов измерения обуславливает число интервалов, на которое разбивается общее количество импульсов. Учитывая то, что зависимость коэффициента крепости пород от параметров процесса бурения имеет нелинейный характер, то количество импульсов в интервалах различно. Оно определяется с помощью блока 7 на основе формулы (7). С выхода блока 7 импульсы поступают на вход дешифратора 8, где происходит их накопление в течение времени бурения контролируемого участка скважины и дешифрация для связи с блоком 9 индикации крепости.

Напряжение, снимаемое с датчика 1 осевого усилия, поступает также на вход формирователя импульсов управления 10. Он вырабатывает управляющий импульс, передний фронт которого соответствует началу, а задний – окончанию бурения исследуемого участка скважины. По заднему фронту управляющего импульса формирователем 11 вырабатывается импульс считывания, который подается на вход разрешения дешифратора 8. При поступлении этого импульса происходит считывание информации, занесенной в дешифратор, а также вырабатывается сигнал для управления цифровыми индикаторами блока 9 отображения значений коэффициента крепости. Импульс считывания поступает также на вход формирователя 12 импульса сброса, который вырабатывает импульс очистки элементов памяти блоков 6, 7, 8. При подаче этого импульса происходит подготовка прибора к проведению измерений крепости пород последующего участка скважины.

Трещиноватость буримых пород регистрируется следующим образом. Напряжение с датчика 1 усилия поступает на вход формирователя 13 счетных импульсов. При кратковременном спаде давления в гидросистеме станка, что соответствует моменту пересечения шарошечным долотом раскрытой трещи-

ны, формирователь 13 вырабатывает импульс, соответствующий этому спаду. С выхода формирователя 13 импульсы поступают на блок 14 пересчета, который регистрирует их количество за данное время бурения и управляет цифровыми индикаторами 15 блока индикации трещиноватости. Количество импульсов, зарегистрированных этим блоком, соответствует числу трещин на измеряемом участке скважины. Сброс показателей индикаторов производится вручную после считывания результатов измерений. В приборе предусмотрена возможность проведения измерений крепости и трещиноватости пород на участке скважины протяженностью в 1 и 8 м. Последний соответствует длине одной штанги.

Принципиальная электрическая схема блока 7 распределения импульсов по интервалам показана на рис. 3. Это основной функциональный блок прибора, в котором происходит изменение коэффициента деления частоты импульсов по интервалам согласно уравнению (7). Он состоит из триггеров ( $T_1 - T_5$ ), включенных по двоичной схеме пересчета, и логических элементов «и».

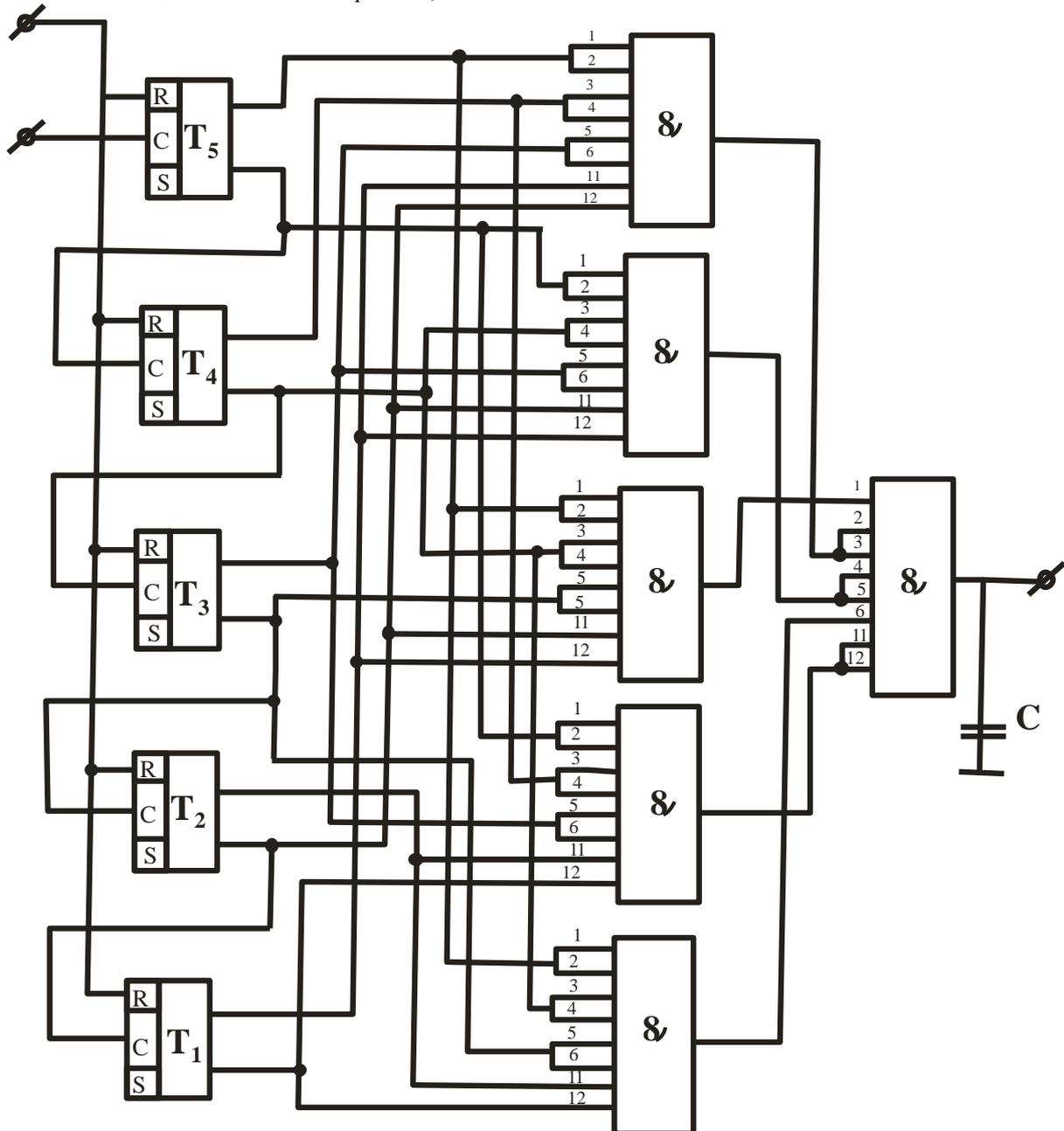


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема блока распределения импульсов по интервалам

Проведены многочисленные статистические исследования основных параметров работы шарошечных станков на породах различной крепости при выбранной длине участка скважины и заданной частоте преобразователей 2, 4 напряжение-частота. В результате определено суммарное количество импульсов, поступающих на вход делителя 6 частоты, а также с учетом принятого коэффициента деления

(128 на участке скважины 1 м) установлено соответствие количества импульсов, поступающих на вход дешифратора 8, величине крепости пород. Статистические исследования проводились согласно методик, изложенных в работах [4,5]. Полученные данные приведены в таблице.

Распределение суммарного количества импульсов по интервалам при бурении скважины на участке протяженностью 1 м

Коэффициент крепости	Осевые усилия, атм	Частота вращения штанги, об/мин	Время бурения, мин	Количество импульсов, поступающих на вход	
				делителя частоты	дешифратора
14	60	105	4,9	1024	8
		100	5,1	1030	8
	65	100	4,7	890	7
		95	4,8	920	7
16	65	95	6,5	1354	11
		90	6,7	1359	11
	70	90	6,0	1285	10
		85	6,3	1305	10
18	70	85	9,6	1742	14
		80	9,8	1744	14
	75	80	8,9	1652	13
		75	9,4	1680	13
20	75	75	10,6	2293	18
		70	10,8	2312	18
	85	75	10,2	2153	17
		70	10,5	2204	17
22	85	70	13,0	2924	23
		65	13,3	2962	23
	95	70	12,4	2764	22
		65	12,6	2793	22

Предложено конструктивное решение прибора для измерения крепости и трещиноватости пород в процессе бурения скважины, общий вид которого изображен на рис. 4. Габаритные размеры прибора 240 × 270 × 165 мм, напряжение питания 220 В, 50 Гц.



**Рис. 4. Общий вид прибора для измерения крепости и трещиноватости буримых пород**

#### Выводы

1. Получена статистическая зависимость коэффициента крепости пород от параметров работы станка шарошечного бурения. Эта зависимость положена в основу функциональных преобразований прибора.

2. Представлена блок-схема прибора и принципиальная электрическая схема функционального блока распределения импульсов по интервалам измерения.

3. Определено суммарное количество импульсов, поступающих на вход делителя частоты, установлено соответствие количества импульсов, поступающих на вход дешифратора, величине коэффициента крепости пород.

4. Предложено конструктивное решение прибора применительно к системе автоматического управления шарошечными буровыми станками.

#### **Список литературы**

1. Сухов Р.П. Установление основных взаимосвязей энергоемкости процесса шарошечного бурения с прочностными параметрами разрушаемого массива / Горный журнал Казахстана. - № 9, 2013. С.8-12.
2. Щербаков П.Н., Ткаченко В.М., Митрофанов Г.П. Устройство для измерения прочностных свойств горных пород / А.С. № 1559146, Е21 С 39/00, 1989.
3. Щербаков П.Н., Балашов С.В. Статистичний підхід до обґрунтування параметрів буро-вибухових робіт на кар'єрах / Збірник наукових праць Національного гірничого університету, № 35, том 2, Д. 2010. С. 12-21.
4. П.Н. Щербаков, Д.В. Клименко, С.Е. Тимченко Статистичні дослідження продуктивності одноковшевих екскаваторів при напруженні гірничої маси різної якості дроблення / Науковий вісник НГУ №1 2017. С. 49 – 54  
P Shcherbakov, D Klymenko, S Tymchenko Statistical research of shovel excavator performance during loading of rock mass of different crushing quality / Scientific Bulletin of National Mining University, 2017
5. Ulanova N.P., Sdvyzhkova O.O., Prikhodko V.V., 2014. Optimization of room-and-pillar metod parameters under conditions of limestone rocks. Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka& Ganushevych(end). Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02699-5, pp. 511-516.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Корсунюм В.І.*

УДК 622.673.1[043.5]

**І.С. Ільїна, канд. техн. наук**

*(Україна, м. Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»)*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ "СОСУД-АРМИРОВКА" В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ АВАРИЙНОМ ТОРМОЖЕНИИ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ**

**Анотація.** Метою роботи є встановлення пакету діагностичних параметрів, які описують динамічні процеси в системах «підйомна посудина - армування» при запобіжному гальмуванні шахтних підйомних установок. У статті викладена методика та окремі результати експериментальних досліджень взаємодії шахтних підйомних посудин в режимі гальмування з провідниками жорсткого армування вертикальних стволів у промислових умовах.

**Ключові слова:** діагностичні параметри; шахтна підйомна установка; підйомні посудини; провідники жорсткого армування вертикальних стволів.

**Аннотация.** Целью работы является установление пакета диагностических параметров, которые описывают динамические процессы в системах «подъемный сосуд - армировка» при аварийном торможении шахтных подъемных установок. В статье представлена методика и отдельные результаты экспериментальных исследований взаимодействия шахтных подъемных сосудов в режиме торможения с проводниками жесткой армировки вертикальных стволов в промышленных условиях.

**Ключевые слова:** диагностические параметры; шахтная подъемная установка; подъемные сосуды; проводники жесткого армирования вертикальных стволов.

**Abstract.** The aim of the work is to establish a package of diagnostic parameters that describe the dynamic processes in the systems "lifting vessel - reinforcement" during emergency braking of mine hoisting installations. The technique and result of experimental researches of interaction of mine elevating vessels in a mode of braking with conductors rigid stiff reinforcement vertical trunks in industrial conditions is submitted in the article.

**Keywords:** diagnostic parameters; mine lifting plant; lifting vessels; conductors of hard reinforcement of vertical trunks.

При работе шахтных подъемных установок движение скипов, клетей и контровесов в проводниках армировки вертикальных стволов в силу различных причин приводит к возбуждению их горизонталь-

ных колебаний. Эти колебания могут происходить в различных режимах динамического взаимодействия с проводниками (плавном или ударно-динамическом) [1].

При взаимодействии с армировкой подъемные сосуды совершают малое пространственное движение с шестью степенями свободы, при котором могут возникать значительные динамические нагрузки на проводники армировки, представляющие опасность для эксплуатации подъема. Причиной появления таких нагрузок являются пространственные отклонения профиля проводников от вертикали и определенные сочетания жесткостных и инерционных параметров системы «канат – сосуд - армировка», при которых возникает перекачка кинетической энергии вертикального движения сосуда в его горизонтальные колебания (поступательные перемещения центра масс сосуда в горизонтальной плоскости и повороты вокруг центра масс).

Наибольшие динамические перегрузки подъемной системы возникают при предохранительном торможении на участке ствола с максимальной скоростью движения сосуда из-за срабатывания какого-либо аппарата защиты при нарушении нормального режима работы подъема, что может произойти в любой точке ствола. В связи с этим, целесообразно провести исследования с помощью аппаратных измерений динамических параметров подъемных сосудов и барабана подъемной машины на характерных участках, расположенных в контрольных точках ствола: в его верхней, средней и нижней частях ствола при спуске и подъеме сосуда с вариацией по загрузке и начальной скорости в момент торможения.

В работе [2] были проведены теоретические исследования взаимодействия сосуда с армировкой при торможении. Из их результатов следует, что при проведении динамических инструментальных исследований информативными параметрами, дающими достаточно полное представление о характере движения подъемного сосуда в режиме торможения являются мгновенные значения следующих параметров, регистрируемых в развертке по временной координате:

- горизонтальные ускорения направляющих подъемного сосуда на его верхнем и нижнем поясах;
- вертикальное ускорение подъемного сосуда;
- угловая частота вращения (окружная скорость) барабана подъемной машины;
- сигнал включения предохранительного тормоза;
- длина головного каната в момент торможения (координата подъемного сосуда);
- натяжение головного каната;
- время с начала торможения.

Данный набор параметров обладает свойством избыточности и в условиях конкретных измерений может быть сокращен в зависимости от технических возможностей применяемой аппаратуры в части количества одновременно измеряемых динамических параметров горизонтального движения сосуда (ускорений, усилий) при соблюдении условий сохранения полноты качественной картины. Это значит, что без потери достоверности информации можно ограничиться измерениями только ускорений в лобовой и боковой плоскостях или соответствующих контактных усилий на каком-либо поясе подъемного сосуда. Информацию о вертикальном движении сосуда можно регистрировать либо с помощью датчиков ускорений, скорости или перемещения на сосуде, либо датчика натяжений каната, установленного в районе барабана, либо датчика угловой скорости барабана, либо датчика окружной скорости барабана с последующей обработкой записанных данных.

При проведении динамических измерений первый (подземный) измерительный комплекс устанавливается на подъемном сосуде.

Датчик вертикальных колебаний сосуда (датчики перемещений, скорости или ускорений) закрепляется на корпусе сосуда измерительной осью вдоль вертикальной оси сосуда. Возможно применение укороченной схемы измерений с установкой датчиков только на верхнем поясе сосуда, если его вертикальный размер не значительно больше горизонтального.

При использовании контактных силоизмерительных датчиков они монтируются взамен рабочих башмаков скольжения по три датчика в каждом (2 боковых и 1 лобовой) измерительном башмаке на верхнем или нижнем поясе сосуда [3].

Датчик-акселерометр крепится на сосуде своей измерительной осью вдоль вертикальной оси сосуда. Взамен вертикального акселерометра может использоваться датчик натяжений головного каната, навешиваемый на канат на расстоянии 0.5...1.0 м выше коуша или датчик усилий встроенный в подвесное устройство.

Второй (наземный) измерительный комплекс устанавливается в машинном здании. В его состав входит датчик (канал информационной цепи подъемной машины) окружной (угловой) скорости барабана на подъемной машине, датчик сигнала в цепи включения предохранительного тормоза (ТП), регистратор со встроенным таймером, канал ввода сигнала с указателя глубины подъемной машины.

Цель обработки и анализа данных измерений состоит в определении качественных и количественных отличий процесса динамического взаимодействия сосуда с армировкой во время торможения от того же процесса во время прохождения участка торможения с рабочей скоростью. Количественно эти отличия могут быть охарактеризованы «коэффициентом динамической перегрузки», который определя-

ется как отношение максимальных значений динамических параметров горизонтальных колебаний сосуда (ускорений, контактных усилий) во время торможения к таким же значениям при прохождении данного участка ствола с постоянной скоростью.

$$K_{din,a}^{lob(bok)} = \frac{A_{max,tor}^{lob(bok)}}{A_{max,rab}^{lob(bok)}}, \quad (1)$$

$$K_{din,F}^{lob(bok)} = \frac{F_{max,tor}^{lob(bok)}}{F_{max,rab}^{lob(bok)}}, \quad (2)$$

где  $K_{din,a}^{lob(bok)}$  и  $K_{din,F}^{lob(bok)}$  - соответственно коэффициенты динамической перегрузки системы «сосуд - армировка» при срабатывании ТП соответственно по максимальным измеренным горизонтальным ускорениям башмаков и контактным усилиям в парах «башмак - проводник» в лобовой (боковой) плоскостях;  $A_{max,tor}^{lob(bok)}$  и  $F_{max,tor}^{lob(bok)}$  - соответственно максимальные горизонтальные ускорения направляющих и максимальные контактные усилия в лобовой (боковой) плоскостях за время торможения;  $A_{max,rab}^{lob(bok)}$  и  $F_{max,rab}^{lob(bok)}$  - соответственно максимальные значения горизонтальных ускорений и контактных усилий на участке торможения во время движения с рабочей скоростью.

Качественная характеристика процесса взаимодействия сосуда с армировкой в процессе торможения состоит в определении закона изменений максимальных амплитуд динамических параметров горизонтальных колебаний сосуда во времени и того, является ли это изменений убывающей, возрастающей, возрастающе - убывающей или постоянной во времени функцией, и от каких параметров системы это зависит.

Как показано в работе [4], процесс горизонтального взаимодействия сосуда с армировкой носит случайный стационарный, эргодический характер. То есть количественные значения динамических параметров взаимодействия сосуда с армировкой на различных циклах спуска – подъема могут отличаться друг от друга, но средние показатели сохраняют приблизительно одинаковые значения от цикла к циклу. В связи с этим, в качестве базы сравнения для определения степени перегрузки армировки при торможении кроме максимальных значений можно выбирать значения показаний динамических датчиков отдельно для лобовой и боковой плоскостей проводников, усредненные по всем выборкам контрольных циклов спуска и подъема сосуда по каждому участку предохранительного торможения с соответствующей рабочей скоростью.

Обработка данных эксперимента состоит из двух основных этапов:

- подготовительная обработка данных (расшифровка записей и перевод данных в значения физических параметров, регистрируемых датчиками; нахождение максимальные значения динамических параметров для каждого спуска и подъема сосуда в контрольных точках ствола и т.д.);

- математическая обработка данных (вычисление среднестатистических значений максимальных динамических параметров; выбор максимальных значений параметров отдельно для лобовых и боковых датчиков; присвоение выбранных максимальных значений параметрам, выбранных по формулам (1) и (2)

в качестве базы сравнения:  $A_{max,rab}^{lob(bok)}$  и  $F_{max,rab}^{lob(bok)}$ ; расчет для каждой контрольной точки отдельно для спуска и подъема сосуда значения коэффициентов динамической перегрузки  $K_{din,a}^{lob(bok)}$  и  $K_{din,F}^{lob(bok)}$ ; расчет мгновенного и среднего (до остановки) окружных замедлений барабана подъемной машины; анализ зависимости коэффициентов динамичности от координаты контрольной точки срабатывания предохранительного тормоза отдельно для лобовой и боковой плоскостей спуска и подъема сосуда и т.д.).

На основе разработанной методики проведения экспериментальных исследований взаимодействия шахтных подъемных в режиме торможения с проводниками жесткой армировки вертикальных стволов были проведены эксперименты по измерению горизонтальных ускорений колебаний контровеса при торможении в стволе «Вспомогательный» шахты «Эксплуатационная» Запорожского железорудного комбината. Измерения проводились с использованием аппаратуры «МАК» ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. Применялась схема расположения датчиков ускорений на верхнем и нижнем поясах сосуда. Подъемная машина имела следующие характеристики: высота подъема – 940 м; масса сосуда – 17610 кг; высота контровеса от верхнего до нижнего пояса – 12.63 м; рабочая скорость движения – 6 м/с; наибольшая скорость при срабатывании предохранительного тормоза – 6 м/с; два проводника коробчатого типа двустороннего расположения; торможение производилось при спуске и подъеме контровеса в верхней, средней и нижней частях ствола на уровне отметок 100 м, 440 м и 690 м, при этом среднее замедление достигало 4 м/с<sup>2</sup>.

Данные измерений показали, что при аварийном торможении происходит значительное нарастание амплитуд горизонтальных колебаний сосуда. Из анализа полученных при торможении осциллограмм следует, что колебания сосуда при торможении носят сложный полигармонический характер.

Спектральный анализ осциллограмм на рис. 1-2 показывает, что для данной системы «контровес - армировка» при реализации ударно-динамического режима доминируют колебания с частотой вибраций сосуда 10 Гц в боковой плоскости и частота 11 Гц в лобовой плоскости проводников.

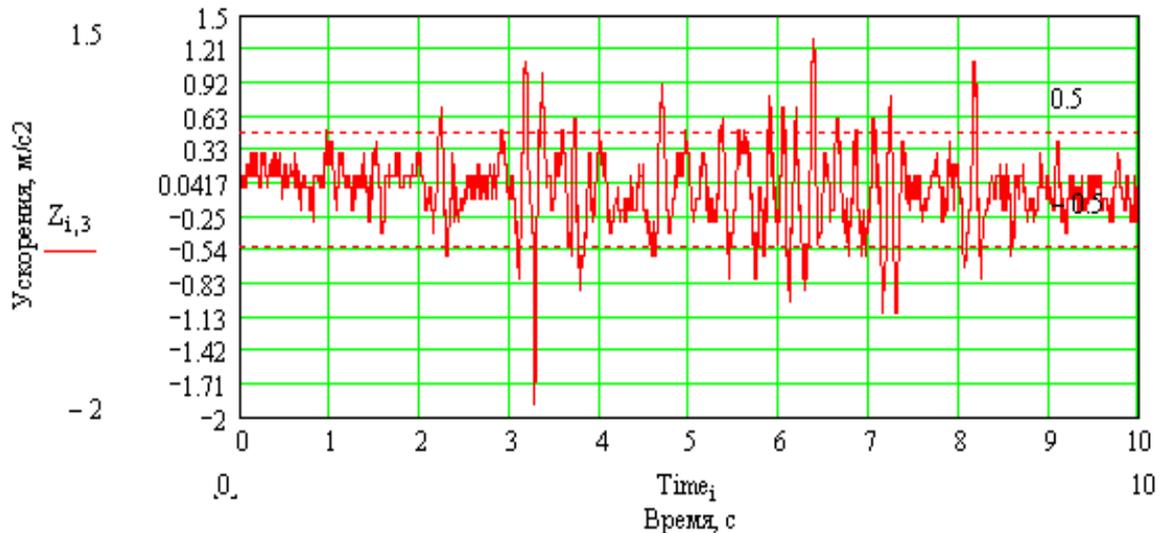


Рис. 1 Горизонтальные ускорения сосуда в лобовой плоскости верхнего пояса при торможении на подъеме в районе отметки 440 м

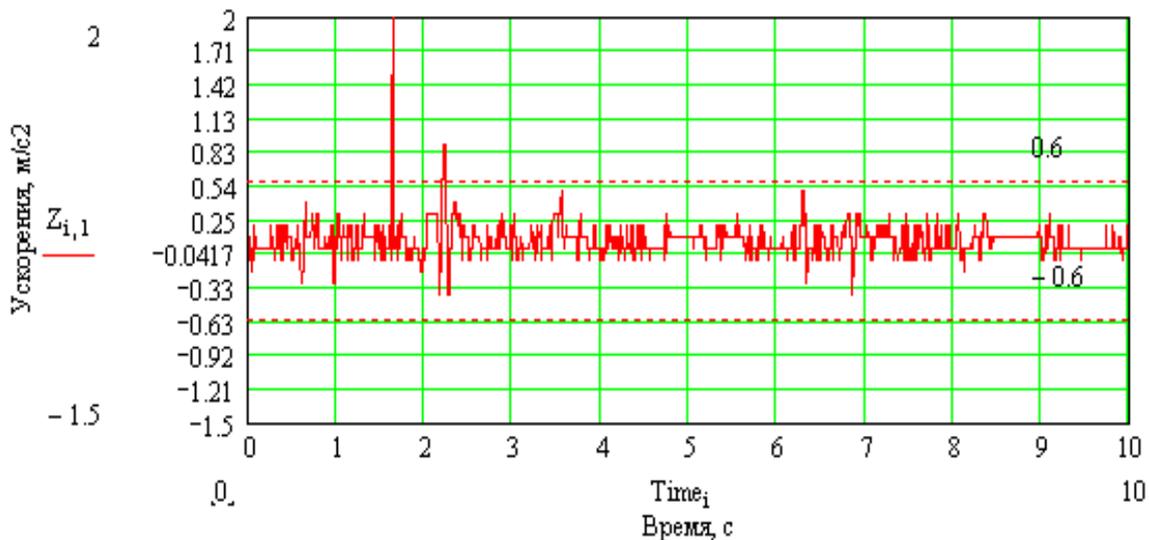


Рис. 2 Горизонтальные ускорения сосуда в боковой плоскости верхнего пояса при торможении на подъеме в районе отметки 690 м

На графиках приведены развертки горизонтальных ускорений сосуда по времени при аварийном торможении. Маркерами отмечены максимальные значения средних горизонтальных ускорений при рабочем режиме движения по стволу на участке торможения.

На основании формулы (1) были получены следующие наибольшие значения коэффициентов динамичности при торможении на спуске и подъеме контровеса для лобовой и боковой плоскости проводников.

На спуске при торможении на уровне 440м:  $K_{din,a}^{bok} = 1.5$ ;  $K_{din,a}^{lob} = 1.3$ .

На подъеме при торможении на уровне 440м:  $K_{din,a}^{bok} = 2.3$ ;  $K_{din,a}^{lob} = 2.1$ .

На спуске при торможении на уровне 690м:  $K_{din,a}^{bok} = 1.1$ ;  $K_{din,a}^{lob} = 1.08$ .

На подъеме при торможении на уровне 690м:  $K_{din,a}^{bok} = 1.4$ ;  $K_{din,a}^{lob} = 1$ .

Приведенные графики данных экспериментов показывают, что в режиме торможения амплитуды динамических перегрузок в кинематической паре «башмак - проводник» при одной и той же начальной скорости торможения 6 м/с в некоторых точках ствола имеют явную тенденцию к росту по сравнению с рабочим режимом движения по этим участкам. Максимальные значения горизонтальных ускорений при торможении контровеса представлены в таблице 1.

Отсюда видно, что самым динамичным при торможении является участок в средней части ствола, максимальные ускорения направляющих сосуда в котором достигают 3.1 м/с<sup>2</sup>. В таблице 2 представлены максимальные значения динамических перегрузок направляющих сосуда при движении контровеса по этим же участкам на рабочей скорости 6 м/с.

Таблица 1

**Максимальные значения перегрузок при торможении контровеса**

h, м	$A_{max,tor}^{bok}$ , м/с <sup>2</sup>		$A_{max,tor}^{lob}$ , м/с <sup>2</sup>	
	Спуск	Подъем	Спуск	Подъем
100	0.7	0.5	1.2	1.5
440	1.8	1.4	1.4	1.9
690	1.1	2.0	1.3	1.3

Таблица 2

**Максимальные значения перегрузок при рабочей скорости**

h, м	$A_{max,rab}^{bok}$ , м/с <sup>2</sup>		$A_{max,rab}^{lob}$ , м/с <sup>2</sup>	
	Спуск	Подъем	Спуск	Подъем
100	0.5	0.4	1.8	0.9
440	1.2	0.6	1.1	0.9
690	1.0	1.4	1.2	1.3

В целом по стволу есть ряд участков с максимальными значениями горизонтальных перегрузок при нарушениях плавности на рабочей скорости движения. На них максимальные значения горизонтальных ускорений реализуются в районе отметки 220м и достигают 2.8 м/с<sup>2</sup> в лобовой плоскости при спуске контровеса и 2.1 м/с<sup>2</sup> при подъеме.

Это значит, что срабатывание предохранительного тормоза даже на участках с плавным рабочим движением сосуда вызывает возникновение дополнительных перегрузок системы по уровню эквивалентных и даже превышающих уровень перегрузок при движении по участку пространственно искривленных проводников. Поэтому плавное движение сосуда по участку с прямолинейной, но изношенной армировкой, еще не гарантирует безопасность ее эксплуатации в случае срабатывания на нем аварийного тормоза.

Результаты экспериментов, проведенных в промышленных условиях, и их анализ показывают, что при наличии в стволе участков с изношенной армировкой необходимо проводить тщательный осмотр проводников и расстрелов после реализации на них аварийного торможения подъемных сосудов.

#### Список використаних джерел

1. Единый нормативно-технический документ для проектирования, строительства и эксплуатации вертикальных стволов шахт. НИИ горной механики им. М.М. Федорова. – Донецк – 1994. – 82 с.
2. Сорокін В.І., Ільїна І.С. Дослідження взаємодії шахтних підйомних посудин з провідниками під час гальмування // Питання прикладної математики і математичне моделювання. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2001. – Вип.1. – С. 93-99.
3. ГР 3-032 – 2004. Діагностика стану систем „кріплення - масив” та „підйомна посудина – жорстке армування” шахтних стовбурів. Порядок та методика виконання. – Міністерство промислової політики України. - Галузевий нормативний документ. – Київ. – 2004. – 40с.
4. Гавруцкий А.Е., Мусиенко В.Д., Осадчая Л.С. Исследование горизонтальных нагрузок на армировку в скиповом стволе ЗЖРК № 1 // Шахтное строительство, 1981. – №7. – С. 19-21.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Самусею В.І.*