

УДК 622.28.044

**Скипочка С.И.**, д-р. техн. наук, профессор,  
**Сергиенко В.Н.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Красовский И.С.**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УСТАНОВКИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

**Скіпочка С.І.**, д-р. техн. наук, професор,  
**Сергієнко В.М.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Красовський І.С.**, магістр  
(ІГТМ НАН України)

## **НЕРУЙНИВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ**

**Skipochka S.I.**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**Sergienko V.N.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Krasovskiy I.S.**, M.S. (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)

## **NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL OF ROOF BOLTING MOUNTING**

**Аннотация.** Объект исследований – ударно-волновые процессы в напряженном анкере. Цель работы – обоснование информативных параметров и создание средства неразрушающего контроля для оценки качества закрепления анкеров в массиве.

Представлена конструкция стенда, позволяющая моделировать различную степень защемления анкеров. Установлено, что время релаксации свободных колебаний в анкере нелинейно уменьшается при возрастании его защемления. Зависимость между указанными величинами приближенно описывается полиномом третьей степени.

На базе выполненных исследований разработан экспериментальный образец аппаратуры КВАК-2. В комплект аппаратуры входит электронный блок и два датчика для регистрации вибрации. Рассмотрена структурная схема аппаратуры и работа отдельных блоков.

Приведены сведения о натурных испытаниях аппаратуры в условиях гипсовой шахты. По результатам испытаний определен оценочный критерий качества установки анкеров с механическим замком в кровле выработок.

**Ключевые слова:** анкер, качество закрепления, неразрушающий контроль, виброакустический метод, аппаратура.

Наиболее прогрессивный способ поддержания участковых выработок на угольных шахтах Украины основан на применении анкерной металлополимерной крепи. Эффективность такой крепи очень высокая, а ее возведение достаточно простое, однако требует неукоснительного соблюдения технологических регламентов, поскольку даже незначительное отступление от них существенно снижает устойчивость выработок. В связи с этим особую актуальность приобретает контроль качества установки анкерной крепи.

Существующие в этой области решения преимущественно базируются на констатации последствий несоблюдения технологии возведения крепи. Обязательным также является периодический визуальный осмотр выработок, закрепленных анкерной крепью [1]. Один из оригинальных вариантов комбинации таких методов предложен в работе [2]. В отдельных случаях осуществляют выборочный контроль прочности закрепления анкеров методом их выдергивания [3]. К числу косвенных методов относится определение деформаций кровли выработок на закрепленном участке [4-6]. Значительное распространение получила выборочная установка на анкер устройств со ступенчатой сигнализацией величины нагрузки [7-9], в том числе и разработка индикатора натяжения анкера «ИНА», выполненная с участием ИГТМ НАН Украины.

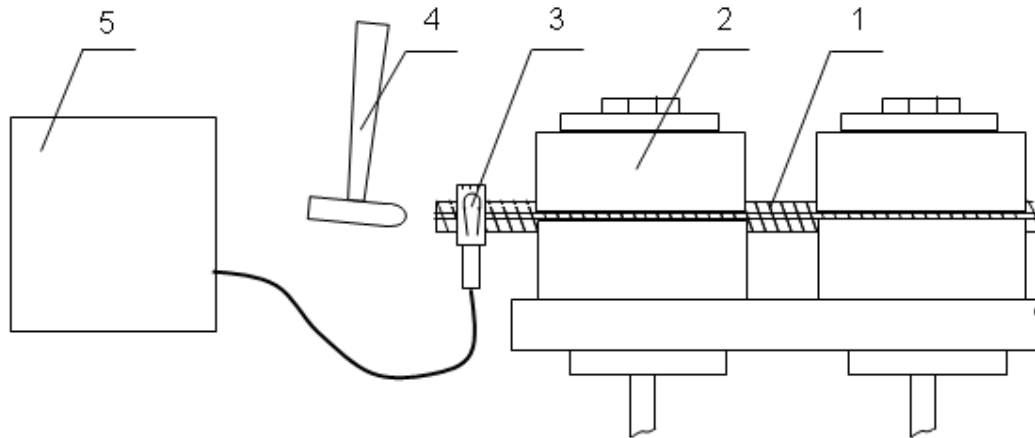
Поскольку выборочный контроль анкеров указанными методами не удовлетворяет требованиям надежности, на протяжении последнего десятилетия рядом исследователей развивался другой подход к проблеме, заключающийся в определении реакции анкера или системы «анкер-массив» на кратковременное слабое внешнее воздействие. Наибольшее распространение получил виброакустический (ударно-волновой) метод. Результаты исследований, отраженные в работах [10, 11], показали его эффективность для интегральной оценки состояния фрагмента геокомпозитной конструкции, например, участка кровли выработки с армирующими ее анкерами. Однако указанный метод не снимает проблему оценки качества закрепления каждого отдельного анкера. Одно из лучших технических решений проблемы, предложенное в работе [12], состоит в оценке потери энергии колебаний в анкере после его возбуждения внешним ударом, которое не было реализовано по причине отсутствия элементной базы, позволяющей работать в шахтах опасных по газу и пыли.

Еще с конца 70-х годов прошлого столетия начал прорабатываться вариант оценки степени закрепления анкера по спектру его свободных колебаний [13]. Интенсивное развитие микропроцессорной техники позволило создать аппаратуру «Анкер-тест» с цифровой обработкой единичного колебательного процесса в возбужденном анкере в реальном времени [14]. Высокий технологический уровень аппаратуры имеет и обратную сторону. Она требует высокой квалификации для выполнения натурных измерений и интерпретации полученного массива данных. Аппаратура такого класса применима для научных исследований и контроля особо ответственных объектов. Поэтому в данной работе была поставлена задача создания надежной портативной аппаратуры с простым алгоритмом контроля и оценки полученных результатов.

Для обоснования информативного параметра виброакустического метода контроля состояния заземленного анкера после его возбуждения одиночным ударом были выполнены исследования на специально разработанном стенде, конструкция которого представлена на рис. 1.

Защемление горизонтально расположенного анкера осуществляли ступенчато, путем использования зажимов в виде фигурных деревянных накладок. Для обеспечения сцепления с анкером контактирующая поверхность покрывалась смолой. Накладка с анкером прижималась к основанию винтами.

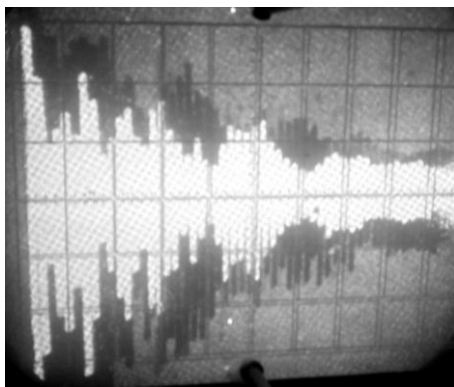
Для испытания был выбран анкер длиной 2,4 м. Количество ступеней заземления последовательно увеличивалось от 0 до 14. Возбуждающий удар наносили по свободному торцу анкера. Первичным преобразователем вибрации в электрический сигнал служила дисковая пьезокерамика, установленная на зажиме типа «Крокодил», который фиксировался на исследуемом анкере.



1 – анкер, 2 – зажим, 3 – датчик вибрации, 4 – ударник, 5 – регистратор колебаний

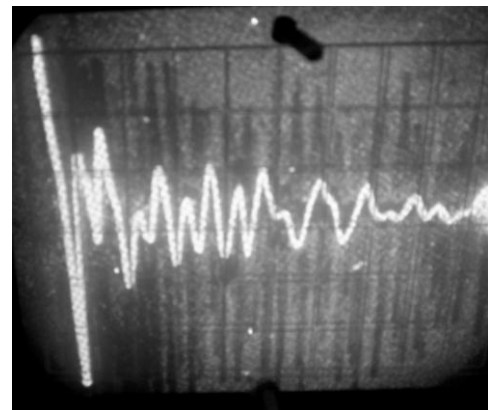
Рисунок 1 - Конструкция стенда для исследования свободных колебаний в анкере при различной степени его заземления

На первом этапе эксперимента для предварительной оценки изменения параметров колебательного процесса в анкере при его различном заземлении в качестве регистратора использовался осциллограф. Характерные осциллограммы свободных колебаний анкера представлены на рис. 2.



а)

а) не заземленного; б) с максимальным заземлением



б)

Рисунок 2 – Осциллограммы свободных колебаний анкера

Вид осциллограмм свидетельствует о сложном спектральном составе свободных колебаний. Однако, несмотря на модуляцию высокочастотных составляющих спектра низкочастотными, просматривается определенная закономерность. По результатам первого этапа эксперимента был сделан вывод, что уве-

личение степени защемления анкера приводит к снижению добротности его, как колебательной системы. Количественной оценкой добротности системы может быть время релаксации  $\tau_p$ , в течение которого происходит уменьшение амплитуды колебаний в  $e$  раз. Для оценки данного параметра был собран макет электронного устройства, реализующий следующие функции:

- усиление сигнала с выхода первичного преобразователя;
- фиксацию момента уменьшения начальной амплитуды  $A_0$  свободных колебаний анкера до верхнего порогового уровня  $A_B$ ;
- фиксацию момента последующего уменьшения амплитуды до нижнего порогового уровня  $A_H$ , равного  $A_B/e$ ;
- определение интервала времени  $\tau_p$ , в течение которого произошло изменение уровня от  $A_B$  до  $A_H$ .

На каждом этапе регистрировали по 10 значений информативного параметра. Средние значения и степень разброса величины  $\tau_p$ , на каждом шаге выполняемого эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Некоторые статистические характеристики массива значений времени релаксации колебаний в возбужденном анкере при различной степени его защемления

Количество зажимов на анкере	Время релаксации $\tau_p$ , мс	Среднее стандартное отклонение, мс	Коэффициент вариации, %
0	92,3	15,3	16,6
1	37,4	4,26	11,4
2	25,6	4,02	15,7
3	19,9	3,08	15,5
4	17,6	2,83	16,1
5	17,2	3,12	18,1
6	16,9	3,02	17,9
7	16,1	2,94	18,3
8	14,8	2,73	18,4
9	14,3	2,65	18,5
10	13,7	2,31	16,9
11	13,2	2,50	18,9
12	11,9	1,94	16,3
13	10,8	2,05	19,0
14	9,2	1,34	14,6

Предварительный анализ данных табл. 1 позволил установить следующее:

- совокупность измерений информативного параметра для одного цикла измерений характеризуется средней степенью вариации (от 10 % до 20 %);
- время релаксации нелинейно уменьшается при возрастании степени защемления анкера;
- наиболее резкое изменение параметра наблюдается при незначительном защемлении анкера.

Графически зависимость информативного параметра от степени защемления анкера представлена на рис. 3.

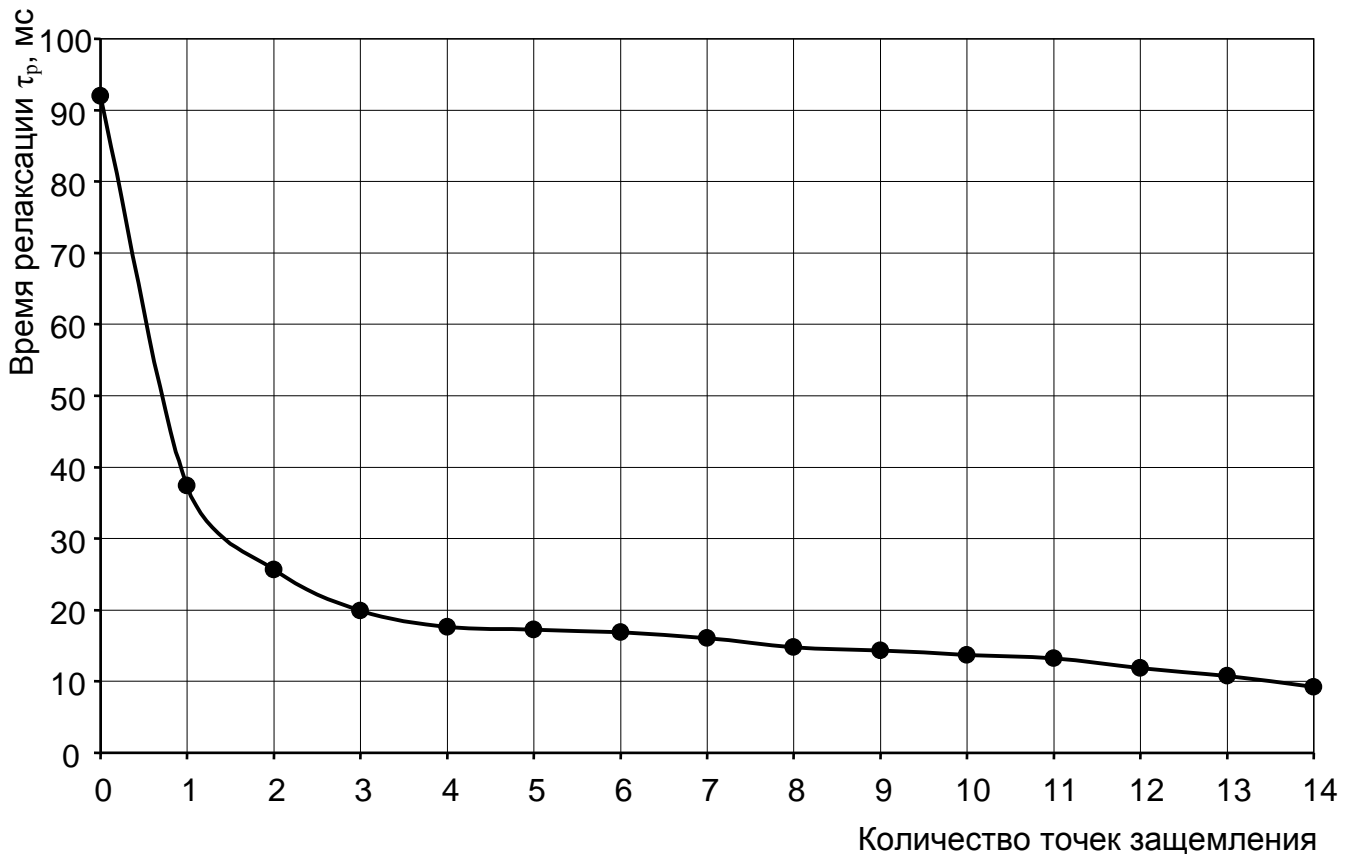


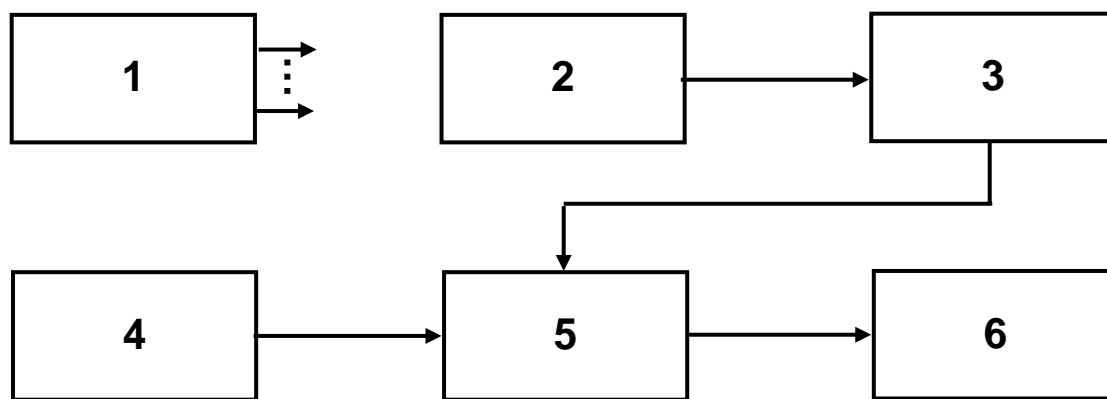
Рисунок 3 – Характер изменения времени релаксации свободных колебаний в анкері в зависимости от степени его заземления

Стендовые исследования позволили обосновать способ контроля элементов геоконструктивных конструкций, в частности анкеров, включающий закрепление на исследуемом объекте датчика вибрации, возбуждение свободных колебаний в объекте путем нанесения одиночного удара, их регистрацию датчиком с преобразованием в электрический аналог, определение моментов уменьшения амплитуды затухающего колебательного процесса до первого, а затем до второго, более низкого уровня, и определение временного интервала между указанными моментами, по величине которого судят о состоянии обследуемого элемента.

Для реализации указанного способа был разработан экспериментальный образец аппаратуры КВАК (комплексный виброакустический контроль) в двух вариантах. Особенности более совершенного варианта аппаратуры (КВАК-2) следующие:

- использование ударопрочного металлического корпуса;
- повышенная степень искровзрывобезопасности за счет комплекса конструктивных и схемных решений;
- повышенная устойчивость к электромагнитным помехам;
- наличие в комплекте двух датчиков для регистрации вибрации, что позволяет расширить сферу применения аппаратуры.

Укрупненная структурная схема виброакустической аппаратуры КВАК-2 представлена на рис. 4.



1 – блок питания, 2 – датчик, 3 – блок аналоговой обработки сигнала,  
4 – формирователь частотной сетки, 5 – блок управления циклом,  
6 – блок индикации

Рисунок 4 – Структурная схема аппаратуры КВАК-2

Первичным источником питания аппаратуры служит батарея из трех элементов АА, разрешенных ДСТУ 7113:2009 [15] для работы в среде, опасной по газу и пыли. Элементы помещены в герметизированную оболочку, в которой также расположен токоограничивающий резистор. Для предотвращения последствий ошибочной установки элементов с обратной полярностью служит защитный диод. Импульсный стабилизатор позволяет получить напряжение 7 В при колебаниях на входе от 3,0 до 4,5 В. Необходимое для работы большинства узлов аппаратуры напряжение 5 В с малым уровнем пульсаций получают с помощью дополнительного линейного стабилизатора. Установленный на его выходе делитель с подобранными резисторами дает возможность дополнительно получить опорные напряжения для фиксации верхнего и нижнего уровней амплитуды колебательного процесса. В данном варианте аппаратуры отношение уровней равно 2, а значение опорных напряжений составляет 3,0 и 1,5 В. Информативный параметр  $P$  при этом не равен времени релаксации  $\tau_p$ , но пропорционален ей.

Функциональный блок 2 представляет собой датчик для регистрации вибрации элемента геокомпозитной конструкции, возбужденной ударом. Конструктивно датчик выполнен в двух вариантах:

- в виде большеразмерного «крокодила», одеваемого на хвостовик анкера;
- в виде контактного щупа с заостренным наконечником.

Для уменьшения наводок промышленной частоты датчик выполнен активным. Оба варианта имеют одну и ту же принципиальную схему. В качестве первичного преобразователя виброускорения в электрическое переменное напряжение служит пьезокерамика ЦТС-19 в виде цилиндра диаметром 10 мм и высотой 15 мм. Для получения низкоомного выхода от высокоомного источника сигнала служит буферный усилительный каскад, выполненный на полевом транзисторе.

Основное усиление поступившего с выхода датчика аналогового электриче-

ского сигнала, а также его одновременное детектирование происходит в функциональном блоке 3, в каскаде, собранном на операционном усилителе. Его выход нагружен на сдвоенный компаратор. Каждый из компараторов сравнивает текущее значение продетектированного сигнала с величиной опорных напряжений. Компараторы являются последним звеном для перехода к цифровой обработке сигнала.

Функциональный блок 4 предназначен для формирования набора фиксированных частот. Форма сигнала – меандр. Задающий генератор собран на двух элементах микросхемы 2И-НЕ. В качестве частото задающего элемента использован кварцевый резонатор с номиналом 400 кГц. С помощью делителя получают частоты 2, 1 и 0,25 кГц. Сигналы на указанных частотах используются следующим образом:

- 2 кГц – с целью получения отрицательного напряжения для питания операционных усилителей в блоке аналоговой обработки сигнала;

- 1 кГц – в качестве калибровочных меток для определения временного интервала;

- 250 Гц – для работы жидкокристаллического индикатора.

В функциональном блоке 5 осуществляется формирование цикла работы аппаратуры. Для создания цифровых линий задержки с номиналом 64 мс используются два цифровых счетчика. Назначение задержки – отследить последний импульс с выхода каждого компаратора. Если в течение интервала задержки появится очередной импульс, то счетчик начнет цикл счета импульсов частотой 250 Гц с нуля. В случае отсутствия импульса в качестве последнего принимается импульс, после которого был выполнен полный цикл работы счетчика.

С использованием сигналов на выходе линий задержки формируется временной интервал, равный разности моментов формирования последних импульсов на выходе компараторов. Он равен промежутку времени, в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается от уровня 3,0 В до уровня 1,5 В, т. е. в два раза. Заполнение интервала калиброванными импульсами с частотой 1 кГц происходит в формирователе частотной сетки.

В блоке индикации в цифровой форме осуществляется представление значения информативного параметра – времени уменьшения амплитуды свободных колебаний в два раза. Для подсчета количества калибровочных импульсов в течение установленного интервала служат микросхемы-счетчики со встроенным дешифратором кода. Результат представляется тремя семиэлементными группами жидкокристаллического индикатора. Результат подсчета сохраняется до начала следующего цикла.

Средний ток, потребляемый аппаратурой, составляет порядка 30 мА. Предусмотрено автоматическое отключение источника питания при снижении напряжения на батарее до 3,0 В.

Проверка работоспособности аппаратуры КВАК-2 выполнена в условиях Артемовской гипсовой шахты. В процессе эксперимента осуществлялся виброакустический контроль состояния одиночных анкеров с механическим зам-

ком, имеющих различную степень сцепления с кровлей камер. Технология работы с аппаратурой КВАК-2 иллюстрируется рис. 5.

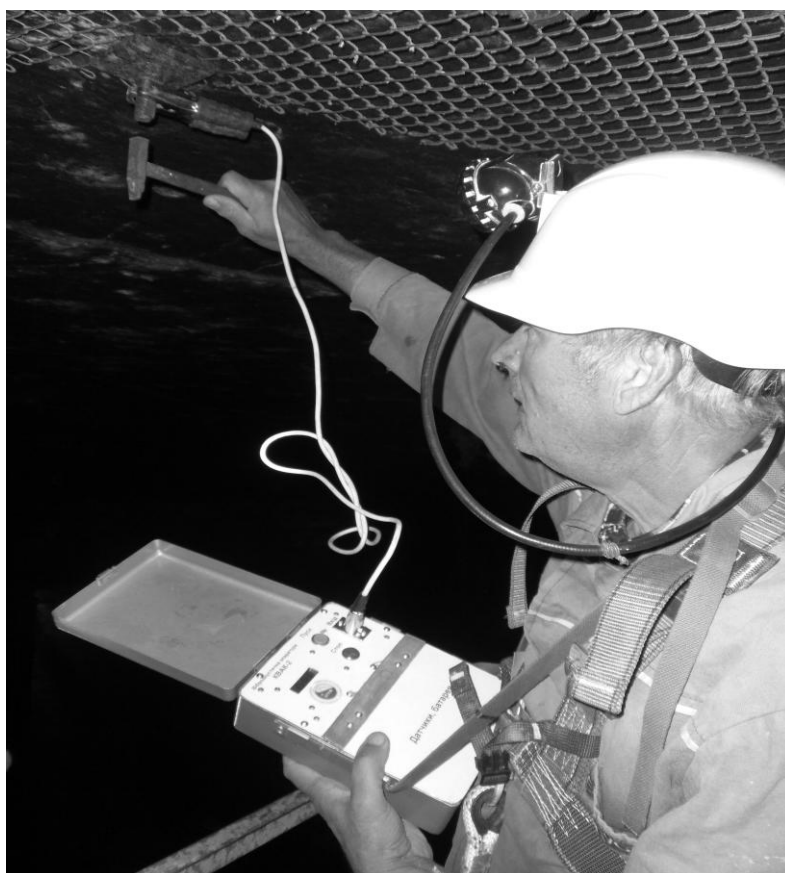


Рисунок 5 – Иллюстрация апробации аппаратуры КВАК-2 в условиях Артемовской гипсовой шахты

Обобщенные результаты, полученные в процессе обработки всего массива натуральных экспериментальных данных, представлены в табл. 2.

Таблица 2– Результаты обработки данных натурального эксперимента

Элемент крепи	Состояние элемента	Количество измерений	Среднее значение $P_{ср.}$	Погрешность $\delta P_{i пр.}$ , %
Анкер	устойчивый	13	37,4	3,1
	менее устойчивый	24	45,6	2,0
	слабо затянутый	18	54,5	3,4
	то же	10	59,8	4,1

Стендовые исследования, результаты которых были изложены ранее, позволили установить, что начальный участок зависимости, связывающий условный показатель защемления анкера  $z$  и значение информативного параметра виброакустического контроля  $P$ , может быть описан аналитическим выражением:

$$P = -6 z^3 + 39 z^2 - 87 z + 92.$$



Перенос результатов стендовых исследований на натуральный объект носит несколько формальный характер, поскольку имеют место различные условия защемления, что допустимо в первом приближении. График для оценки степени закрепления анкеров с механическим замком по величине информативного параметра представлен на рис. 6.

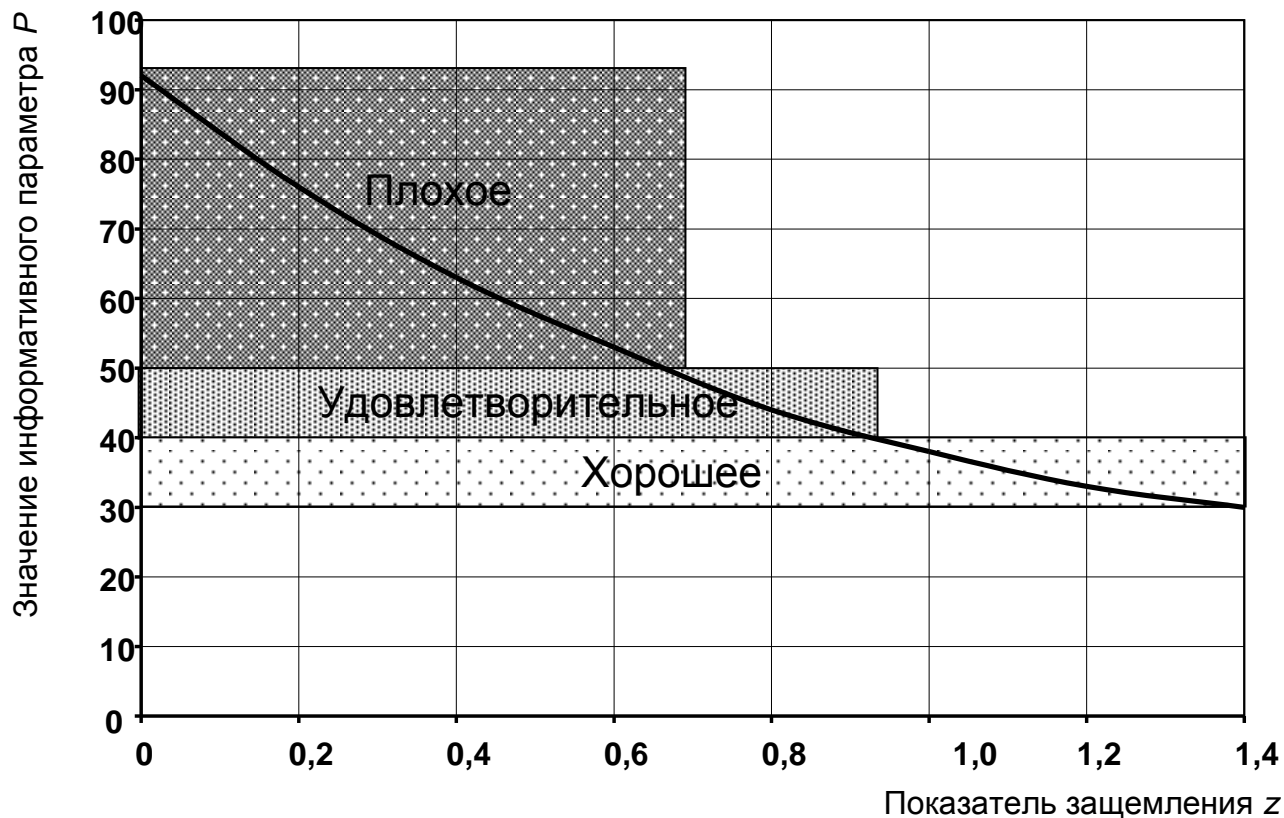


Рисунок 6 – График для оценки степени закрепления анкеров с механическим замком по характеристике их свободных колебаний

Предполагая по умолчанию, что преобладающая часть анкеров с механическим замком закреплена качественно, значение информативного параметра при их контроле не должно превышать 40 единиц. Приемлемое значение абсолютной погрешности для отнесения анкера к данной градации составляет две единицы или 5 % от значения параметра. По результатам предварительных натуральных исследований достижение заданной погрешности для данной разработки может быть получено при количестве измерений на одном анкере от 10 до 15. При реализации планируемой в перспективе автоматизированной обработки данных непосредственно на месте выполнения контроля продолжительность цикла для одного анкера не должна превышать одной минуты.

### Выводы.

1. Серией экспериментов на стенде показана возможность виброакустического метода контроля для оценки степени защемления анкеров путем использования в качестве информативного параметра времени релаксации свободных колебаний.

2. Разработан экспериментальный образец портативной цифровой аппаратуры КВАК-2 для оценки качества установки анкеров.

3. Выполнена апробация аппаратуры КВАК-2 в условиях Артемовской гипсовой шахты. По результатам натурных испытаний предложен предварительный ориентировочный критерий для оценки состояния анкеров с механическим замком.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01- 10. Вид. офіційне: затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. – Київ, 2010.- 2154. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України).

2. Контроль состояния горных выработок с анкерной крепью / В. В. Виноградов, А. П. Круковский, Л. Г. Адорская, В. А. Хворостян // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2006. – № 64. – С. 246-252.

3. Демченко, А. И. Результаты испытаний сталеполлимерных анкеров на вытягивание в сложных горно-геологических условиях / А. И. Демченко, А. А. Яйцов // Наукові праці УкрНДМІ. – Донецьк, 2007. – Вип. 1. – С. 239-247.

4. Горбатенко, И. Д. Результаты мониторинга горных выработок с анкерной крепью / И. Д. Горбатенко // Разработка рудных месторождений: Сб. науч. трудов КТУ. – Кривой Рог, 2010. – Вып. 93. – С. 98-104.

5. Халимендик, Ю. М. Мониторинг состояния выработок с анкерным креплением / Ю. М. Халимендик, А. В. Бруй, М. В. Чемакина // ГИАБ. – 2013. – № 11. - С. 19-23.

6. Опышко, Ю. С. Мониторинг состояния выработок с анкерной крепью / Ю. С. Опышко // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2002. – № 38. – С. 15-165.

7. Булат, А. Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В. В. Виноградов. – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.

8. Костюк, С. Г. Систематический контроль работы анкерной крепи при установке и эксплуатации / С. Г. Костюк, Н. Т. Бедарев // Форум горняков: Материалы международной конференции. – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С. 133-136.

9. Рекомендации по систематическому визуальному контролю за работой анкерной крепи / В. П. Баскаков, Н. Т. Бедарев, С. Г. Костюк [и др.]. – Прокопьевск: КузГТУ, 2013. – 39 с.

10. Виброакустический контроль динамики системы «углепородный массив – крепь горных выработок» / С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук, А. В. Мухин, В. Г. Черватюк // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2002. – № 36. – С. 131-135.

11. Скипочка, С. И. Геофизический контроль состояния кровли горных выработок, закрепленных анкерной крепью / С. И. Скипочка, Б. М. Усаченко, А. А. Яланский // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2002. – № 38. – С. 109-114.

12. Пат. 4198865 США, МПК G01N 29/04. Устройство и способ мониторинга закрепления болта / У. Таплей, Дональд Р. Капп (США). – № 05/827712; Заявл. 24.97.78; Приоритет от 24.97.78; Оpubл. 22.04.80. – 6 с.

13. Пат. 4062229 США, МПК G01N 29/04. Метод проверки целостности установленных анкерных болтов / Дэвид Э. Годфри, Норманн Р. Кучер (США). - № 05/770697; Заявл. 22.02.77; Приоритет от . 22.02.77; Оpubл. 13.12.77. – 6 с.

14. Вознесенский, Е. А. Неразрушающий контроль анкерного крепления кровли горных выработок и объектов подземного городского строительства / Е. А. Вознесенский // ГИАБ. – 2010. - № 12. – С. 135-137.

15. ДСТУ 7113:2009 Вибухонебезпечні середовища. Частина 0. Електрообладнання. Загальні вимоги: Чинний від 2011-07-01. – К.: Держспоживстандарт, 2012. – 66 с.

#### REFERENCES

1. State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mining supervision (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10: Pravila bezpeky u vuhilnikh shakhtakh* [10.0-1.01-05: Safty rules in coal mines], Kiev, Ukraine.

2. Vinogradov, V.V., Krukovskiy, A.P., Adorskaya, L.G. and Khvorostyan, V.A. (2006), "Condition

monitoring of mines with roof bolting", *Geo-Technical Mechanics*, no. 64, pp. 246-252.

3. Demchenko, A. I. and Yaytsov, A.A. (2007), "Test results of steelpolymer anchors pull-out in difficult geological conditions", *Collected scientific works of UkrNDMI*, no. 1, pp. 239-247.

4. Gorbatenko, I.D. (2010), "Monitoring results of mines with roof bolting", *Razrobotka rudnikh mestorozhdeniy*, no. 93, pp. 98-104

5. Halimendik, Y.M., Bruy, A.V. and Chemakina, M.V. (2013), "Status monitoring of mines with roof bolting", *GIAB*, no. 11, pp. 19-23.

6. Oprichko, Yu.S. (2002), "Status monitoring of mines with roof bolting", *Geo-Technical Mechanics*, no. 38, pp.157-165.

7. Bulat, A.F. and Vinogradov, V.V. (2002), *Oporno-ankernoye krepneniye gornikh vyrabotok ugolnikh shakht* [Supporting mounting of anchors in coal mines], Vilpo, Dnepropetrovsk, Ukraine.

8. Kostyuk, S.G. and Bedarev, N.T. (2009), "Systematic control of roof bolting installation and operation", *Miners forum. Materials of international conference*, Dnepropetrovsk, Ukraine, pp. 133-136.

9. Baskakov, V.P., Bedarev, N.T. and Kostiuk, S.G. (2013), *Recomendatsiyi po sistematicheskomu visualnomu kontrolyu za rabotoy ankernoy krepki* [Recommendations for systematic visual inspection of the roof bolting operation], KuzSTU branch, Prokopyevsk, Russia.

10. Skipochka, S.I., Palamarchuk, T.A., Mukhin, A.V. and Chervatyuk, V.G. (2002), "Vibroacoustic control of "coal rock - lining of mine working" system dynamic", *Geo-Technical Mechanics*, no. 36, pp. 131-135.

11. Skipochka, S.I., Usachenko, B.M. and Yalanskiy, A.A. (2002), "Geophysical state control of anchored roof of mine workings", *Geo-Technical Mechanics*, no. 38, pp. 109-114.

12. W. Tarpley and Jr., Donald R. Culp, Energy & Minerals Research Co. (1980), *Apparatus and method of monitoring anchored bolts*, U.S.A., Pat.№4198865A.

13. David E. Godfrey and Norman R. Kuchar, General Electric Company (1977), *Method of testing the integrity of installed rock bolts*, U.S.A., Pat. №4062229A.

14. Voznesenskiy, E.A. (2010), "Non-destructive control of anchoring mining roof and objects of underground urban construction ", *GIAB*, no. 12, pp. 135-137.

15. State Standards of Ukraine (2011), *DSTU 7113:2009: Vibuhonebezpechni seredovishcha. Chastyna 0. Electroobladnannya. Zagalni vymogy* [7113:2009. Explosive environments. Part 0. Electric. General requirements], Derzhspozhchivstandart, Kiev, Ukraine.

#### Об авторах

**Скипочка Сергей Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [skipochka@ukr.net](mailto:skipochka@ukr.net)

**Сергиенко Виктор Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [sergienko.vic@yandex.ua](mailto:sergienko.vic@yandex.ua)

**Красовский Игорь Святославович**, магистр, инженер в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [i.s.krasovskiy@gmail.com](mailto:i.s.krasovskiy@gmail.com)

#### About the authors

**Skipochka Sergej Ivanovitch**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of Department of Rock Mechanics, The Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [skipochka@ukr.net](mailto:skipochka@ukr.net)

**Sergienko Viktor Nikolayevich** of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Rock Mechanics Department, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [sergienko.vic@yandex.ua](mailto:sergienko.vic@yandex.ua)

**Krasovskiy Igor Svyatoslavovich**, Master of Science, Engineer in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [i.s.krasovskiy@gmail.com](mailto:i.s.krasovskiy@gmail.com)

**Анотація.** Об'єкт досліджень – ударно-хвильові процеси в напруженому анкері. Мета роботи – обґрунтування інформативних параметрів та створення засобу неруйнівного контролю для оцінки якості закріплення анкерів в масиві.

Представлена конструкція стенду, що дозволяє моделювати різний ступінь защемлення анкерів. Встановлено, що час релаксації вільних коливань в анкері нелінійно зменшується при зростанні його защемлення. Залежність між вказаними величинами наближено описується поліномом третьої ступені.

На базі виконаних досліджень розроблено експериментальний зразок апаратури КВАК-2. В комплект апаратури входить електронний блок і два датчики для реєстрації вібрації. Розглянуто структурну схему апаратури та роботу окремих блоків.

Наведено відомості щодо натурних випробувань апаратури в умовах гіпсової шахти. За результатами випробувань визначено оціночний критерій якості встановлення анкерів з механічним замком в покрівлі виробок.

**Ключові слова:** анкер, якість закріплення, неруйнівний контроль, віброакустичний метод, апаратура.

**Abstract.** Object of the research was shock-wave processes in the strained anchor. Objective of the work was to validate informative parameters and design a facility for non-destructive quality control of the anchor setting in the rocks.

A stand designed for simulating different rates of the anchor fixing is presented in the article. It is stated that the stronger is the anchor fixing the less is relaxation time for the free oscillations in the anchor (nonlinear dependence). Dependence between the mentioned values is approximately described by a polynomial of the third degree.

An experimental model of the KWAK-2 apparatus was designed on the basis of this research. The apparatus contains electronic unit and two sensors for vibration registration. A structural diagram of the apparatus and operation of each of its units are presented.

Results of the apparatus field tests conducted in the gypsum mine are presented basing on which a criterion was specified for evaluating quality of the expanding anchor setting in the tunnel.

**Keywords:** anchor, fixing quality, non-destructive control, vibroacoustic method, apparatus.

*Статья поступила в редакцию 5.12.2015*

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.П. Круковским*