

лочкины для предварительно выявления участков расслоений;

- контрольного бурения на аномальных участках, выявленных на первом этапе, для уточнения строения кровли;

- установку индикаторных станций с глубинными реперами на вновь выявленных участках расслоения площадью свыше 10 м²;

- установку сигнализаторов вертикального смещения потолочкины на участках с повышенной скоростью опускания;

- установку планочных маяков в средней части первичных трещин на поверхности потолочкины;

- установку песчано-цементных или гипсовых маяков на вторичных трещинах, оконтуривающих породные блоки.

По результатам наблюдений выполняют анкерное крепление кровли на участках с прогрессирующими деформациями. Контроль на закрепленных участках продолжают выполнять, используя преимущественно сигнализаторы различных типов, планочные, песчано-цементные и гипсовые маяки. В случае дальнейшего роста деформаций и невозможности усиления крепления осуществляют подрывку кровли для обрушения неустойчивых блоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б. М. Геомеханика подземной добычи гипса / Б. М. Усаченко. – К.: Наукова думка, 1985. – 216 с.

2. Усаченко В. Б. Количественный и качественный анализ обрушений потолочин камер на гипсовых шахтах / В. Б. Усаченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Донецк: ООО «Норд компьютер», 2002. – Вып. 40. – С. 272-281.

3. Система вероятностно-временных моделей динамики блочного массива / В. Г. Беляков, А. В. Леонтьев, Н. А. Мирошниченко [и др.] / ФТПРПИ. – № 3. – 2000. – С. 42–53.

4. Сергиенко В. Н. О бесконтактном измерении деформаций при испытаниях образцов горных пород / В. Н. Сергиенко, В. Н. Трипольский, В. А. Амелин // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Донецк: ООО «Норд компьютер», 2009. – Вып. 83. – С. 97-104.

УДК 622.83

Канд. техн. наук В. Н. Сергиенко,
инженер Л. В. Прохорец
(ИГТМ НАН Украины)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ

Розглянуто основні напрямки адаптації методу ударного імпульсу для оцінки міцності гірських порід безпосередньо в масиві. Представлено результати лабораторних досліджень нового варіанту методу.

PROSPECTS OF USE OF A METHOD SHOCK PULSE FOR AN ESTIMATION OF DURABILITY OF GEOMATERIALS

The basic directions of adaptation of a method of a shock pulse for an estimation of durability of a rock directly in a massif are considered. The results of laboratory researches of new variant of a method are presented.

Прочность геоматериалов была и остается одной из их важнейших характеристик, непосредственно влияющей на устойчивость подземных сооружений. Наиболее достоверные сведения о показателях прочности горных пород получают при выполнении разрушающих испытаний образцов в лабораторных

условиях. Однако, комплекс работ, включающий отбор проб, их подготовку к испытаниям и выполнение самих испытаний является достаточно дорогостоящим и не отличается оперативностью. В связи с этим значительное внимание уделяется косвенным методам, позволяющим выполнить экспресс-оценку прочностных характеристик геоматериалов непосредственно на месте их залегания. Наиболее проработанным из них является ультразвуковой [1, 2]. Однако, данный метод имеет свои ограничения, главным из которых является сложность обеспечения искровзрывобезопасности аппаратуры при выполнении измерений в шахтах, опасных по газу и пыли. Поэтому ведутся исследования по использованию альтернативных методов неразрушающего контроля геоматериалов.

По нашему мнению, перспективным для решения указанной выше задачи является метод ударного импульса [3–5]. Физическая сущность большинства реализаций метода состоит в определении силы удара при дозированной его энергии. Стабилизация энергии достигается путем использования пружины со стабильными характеристиками. В качестве первичного преобразователя используют в основном ударный пьезоакселерометр, который характеризуется широким линейным диапазоном измеряемого ускорения и высокой чувствительностью. При использовании акселерометра амплитуда ударного импульса пропорциональна силе удара.

Метод ударного импульса был разработан для экспресс-оценки прочности бетонов. Его базовые положения, а также методика получения градуировочных (тарировочных) зависимостей применительно к бетонам регламентированы стандартом [6].

Сведения о современных серийных средствах контроля прочности бетонов методом ударного импульса представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Средства контроля прочностных характеристик бетонов методом ударного импульса

Тип Прибора	Диапазон измерения, МПа	Погрешность измерения, %	Масса комплекта, кг	Изготовитель
ИПС-МГ4	3,0-100	8,0	0,9	СКБ «Стройприбор»
ОНИКС-2,5	0,5-100	8,0	0,3	НПП «Интерприбор»
Beton Pro Condrol	0,5-100	7,0	1,1	Компания Condrol
Beton Easy Condrol	3,5-100	15,0	1,0	Компания Condrol

Представленные в табл. 1 средства контроля по своим метрологическим характеристикам (в отношении бетона) приближаются к показателям средств измерений.

Применение метода имеет, однако, свои особенности, которые затрудняют прямой перенос методики, выработанной для контроля бетонных конструкций на земной поверхности, в шахтные условия для оценки прочности геоматериалов.

В известных конструкциях серийных средств контроля необходимая при контроле стабилизация силы удара реализуется путем использования пружин-

ного ударника. Для учета изменения упругих свойств пружины со временем необходимо выполнение регулярной перекалибровки прибора. Кроме этого, результат измерения зависит от вектора направления удара. Однако, наиболее существенным недостатком является наличие подвижных соединений ударного устройства, открытых воздействию атмосферных явлений. В условиях горной выработки влияние агрессивной шахтной атмосферы, высокой влажности, а также значительной запыленности приводит к быстрому износу прецизионной механической части датчика. Указанное обстоятельство является ключевым моментом по ограничению сферы использования перспективного в общем-то метода на подземных объектах.

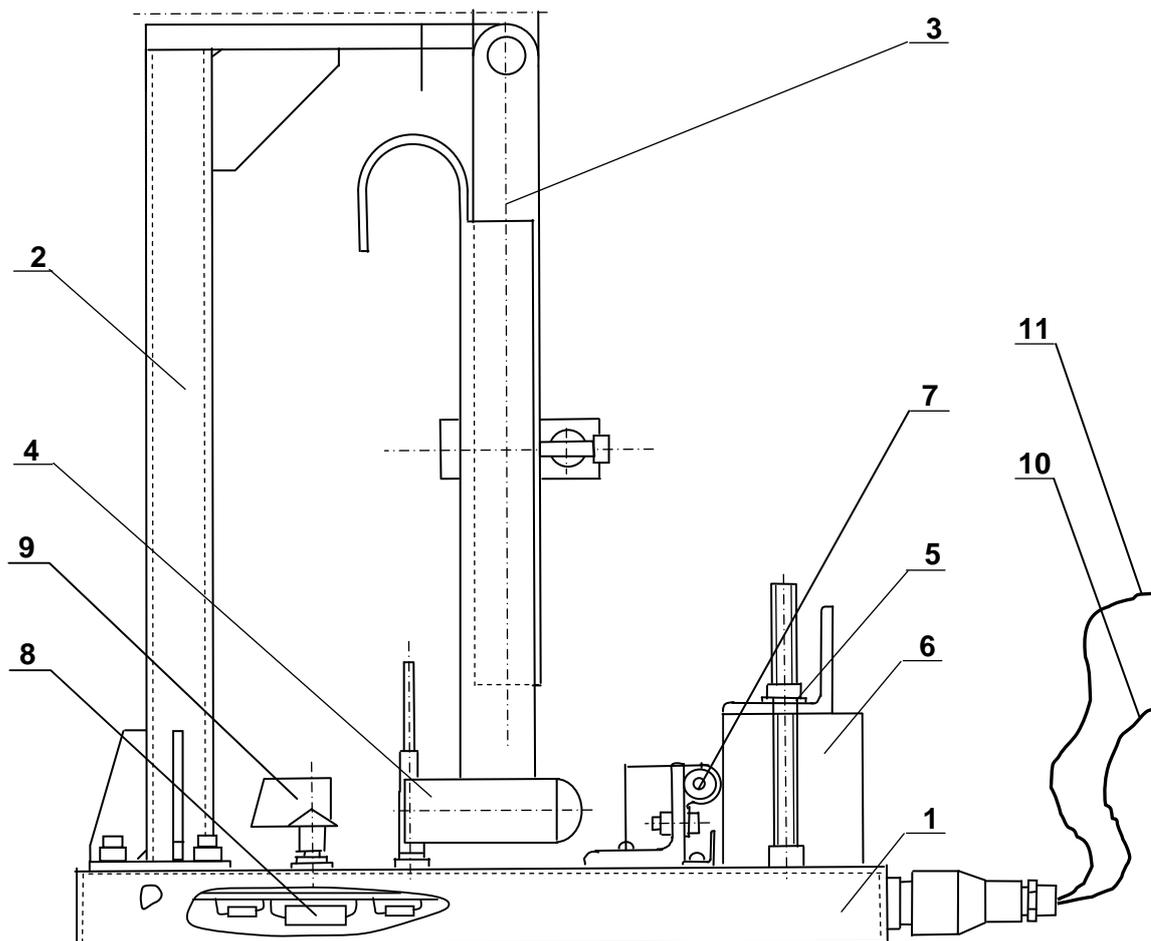
Авторами были выполнены исследования по оценке возможности использования варианта метода для экспресс-определения прочностных свойств геоматериалов в условиях неблагоприятной внешней среды с применением датчика, не содержащего подвижных элементов. Для исследований был разработан стенд, конструкция которого представлена на рис. 1.

На основании 1 установлена стойка 2, к которой присоединен рычаг 3, имеющий возможность поворота в вертикальной плоскости. На его нижнем конце жестко закреплен ударник 4, со встроенным пьезоэлектрическим датчиком ударного ускорения, имеющим диапазон до 2000 g. На основании закреплен также фиксатор 5, позволяющий жестко фиксировать положение исследуемого образца 6. Фотодатчик 7, содержащий лазер и фотоэлемент, служит для фиксации момента появления передней части ударника на некотором фиксированном расстоянии перед образцом. Электронный блок 8 служит для усиления сигнала с датчика ударного ускорения, а также для формирования сигнала запуска запоминающего осциллографа. Установка задержки запуска производится с использованием регулятора 10.

Через проводники 10 осуществляется подключение электронного блока ко входам запоминающего осциллографа, а через проводники 11 – к источнику питания.

Работа стенда происходит следующим образом.

При полностью собранной установке с подключенными внешними электрическими соединениями, рычаг 3 с закрепленным на нем ударником 4 отводят в направлении стойки 2 и отпускают. Под действием силы тяжести ударник движется в направлении поверхности образца 6. Непосредственно перед образцом он пересекает световой поток от лазера в направлении фотоэлемента. При этом напряжение на выходе фотоэлемента скачком уменьшается.



1 – основание; 2 – стойка; 3 – рычаг; 4 – ударник; 5 – фиксатор; 6 – исследуемый образец; 7 – фотодатчик; 8 – электронный блок; 9 – регулятор задержки запуска; 10 – подключение запоминающего осциллографа; 11 – подключение блока питания

Рис. 1 – Конструкция стенда для исследования динамического взаимодействия жесткого ударника с образцами геоматериалов.

По моменту перепада напряжений электронным блоком 8 формируется импульс задержки регулируемой длительности $t_{зад}$. Его длительность с помощью регулятора 9 подбирают таким образом, чтобы она была несколько меньше времени перемещения ударника от пересечения светового луча до поверхности образца. По заднему фронту импульса задержки происходит запуск ждущей развертки запоминающего осциллографа. Он должен произойти непосредственно перед появлением сигнала ударного импульса на выходе датчика ускорения. Полученную осциллограмму фотографируют и при компьютерной обработке полученного изображения определяют параметры ударного импульса – амплитуду A и длительность τ . Вид осциллограммы ударного импульса иллюстрируется рис. 2.

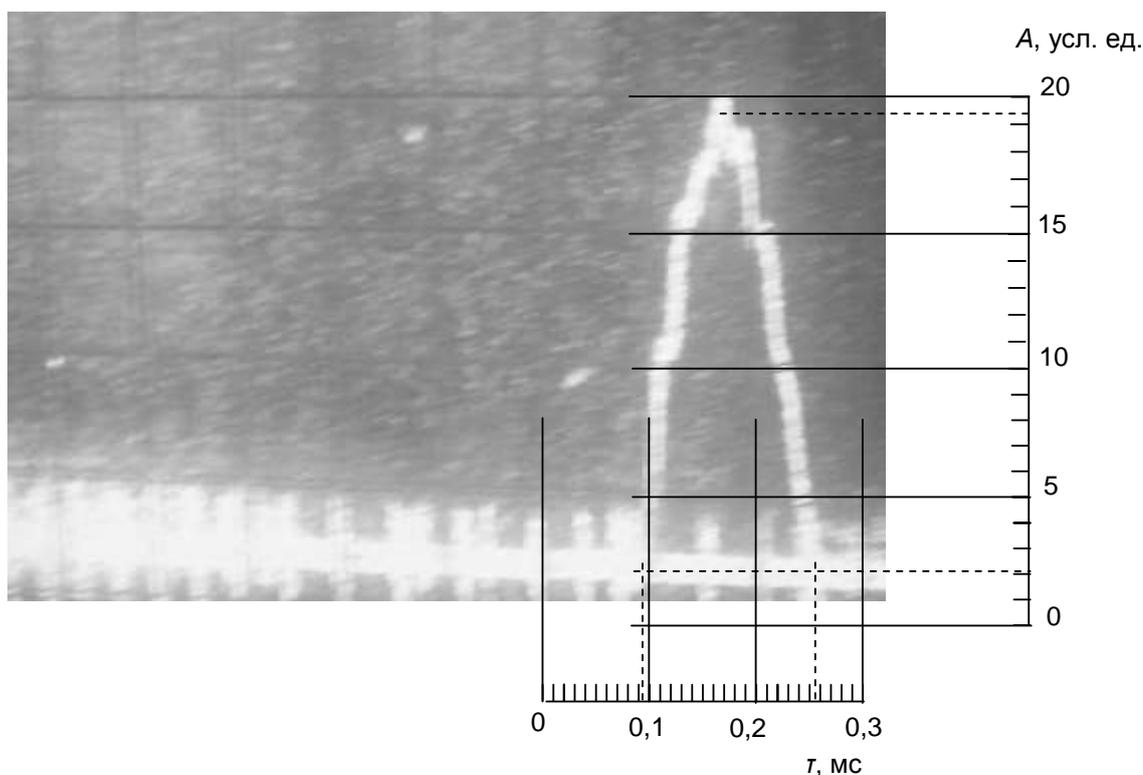


Рис. 2 – Осциллограмма ударного импульса.

На первом этапе экспериментальных исследований определялась зависимость длительности ударного импульса от его амплитуды, пропорциональной силе удара. В качестве эталонной среды было выбрано органическое стекло, характеризующееся высокой однородностью и стабильностью свойств. Остальные исследуемые материалы представлены горными породами.

Результаты исследований показали, что для каждого из исследованных материалов экспериментально полученную зависимость между амплитудой импульса и его длительностью можно разделить на два участка. На первом происходит нелинейное уменьшение длительности импульса с возрастанием силы удара, а на втором длительность стабилизируется. Значение силы удара (амплитуды импульса), при которой начинается стабилизация его длительности, является индивидуальным для каждого из материалов.

Вид упомянутой зависимости для угля представлен на рис. 3. Начало участка стабилизации отмечено треугольником.

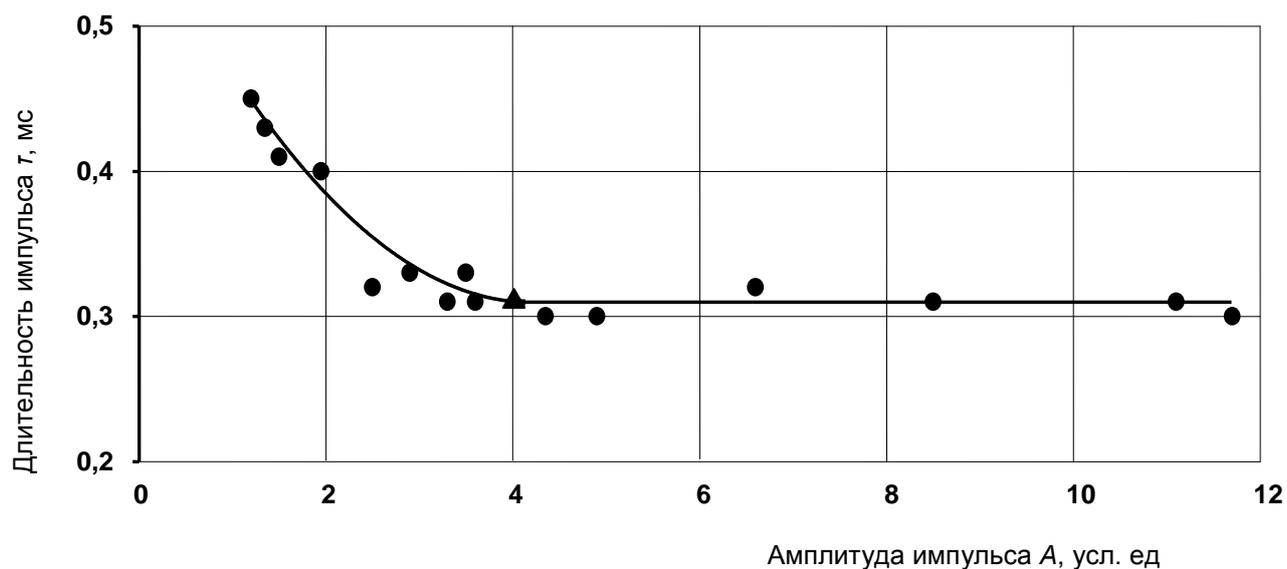


Рис. 3 – Зависимость длительности ударного импульса от его амплитуды для угля.

Обработка результатов измерений позволила установить, что ниспадающий участок зависимости с хорошим приближением описывается квадратичной функцией (табл.2).

Таблица 2 – Аппроксимация ниспадающего участка экспериментальных зависимостей длительности импульса от его амплитуды для различных материалов

Исследуемый материал	Уравнение аппроксимирующей кривой ниспадающего участка	Достоверность аппроксимации	Начало стабилизации, усл. ед.
Органическое стекло	$\tau = 0,0016A^2 - 0,0338A + 0,4309$	0,8160	10
Ракушечник	$\tau = 0,0021A^2 - 0,0406A + 0,448$	0,8227	9
Уголь	$\tau = 0,0343A^2 - 0,221A + 0,6688$	0,9208	4
Боксит	$\tau = 0,0008A^2 - 0,0246A + 0,3078$	0,9382	12

На втором этапе экспериментальных исследований была исследована зависимость между пределом прочности материала на одноосное сжатие и длительностью ударного импульса. При этом силу удара выбирали такой, чтобы амплитуда импульса превышала значение, при котором начинается стабилизация длительности удара. В качестве нижнего порогового значения силы удара выбрано такое, которое обеспечивает амплитуду ударного импульса 14 условных единиц.

В соответствии с требованиями ДСТУ БВ.2.7-220:2009 [6] при использовании метода ударного импульса необходима предварительная подготовка контролируемой поверхности. С помощью механического инструмента на площадке с минимальными размерами 50 x 50 мм снимали выветрелый поверхностный

слой геоматериала и заглаживали поверхность мелкозернистым абразивом с удалением продуктов шлифования. При лабораторных испытаниях образец зажимали в тисках. Количество испытаний брали таким, чтобы минимальный объем выборки для статистического анализа с учетом предварительно отсеянных данных составлял 10 значений.

Испытания образцов на одноосное сжатие выполняли с использованием пресса ПСУ-50 в соответствии с ГОСТ 21153.2-84 [7]. После обработки результатов по каждой из категорий геоматериалов получено поле значений, отображающее зависимость «длительность ударного импульса – прочность на одноосное сжатие», и вычислены уравнения регрессии.

Пример зависимости «прочность – длительность ударного импульса» для песчаника представлен на рис. 4.

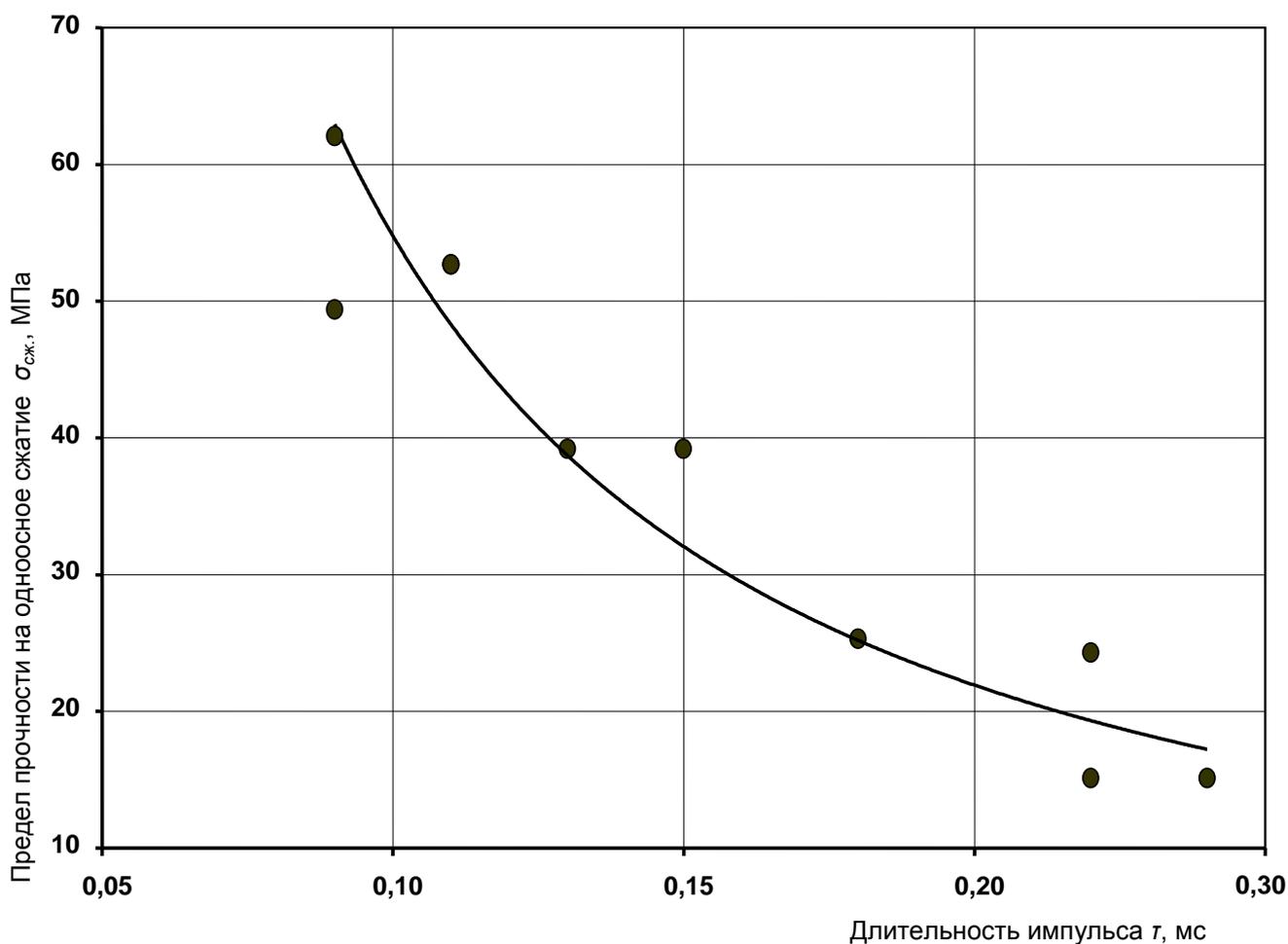


Рис. 4 – Зависимость между прочностью и длительностью ударного импульса для песчаника.

Анализ экспериментальных данных показал, что корреляционная зависимость между длительностью ударного импульса и пределом прочности горной породы на одноосное сжатие удовлетворительно описывается степенной функцией. Соответствующие уравнения регрессии для некоторых горных пород представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Уравнения регрессии для описания зависимости прочности пород от длительности ударного импульса

Исследуемый геоматериал	Уравнение регрессии	Достоверность Аналитической зависимости
гипс	$\sigma_{с.ж.} = 3,4404\tau^{-1,3402}$	0,8218
уголь	$\sigma_{с.ж.} = 7,7731\tau^{-1,0605}$	0,8157
песчаник	$\sigma_{с.ж.} = 2,614\tau^{-1,3213}$	0,8788
алевролит	$\sigma_{с.ж.} = 0,0375\tau^{-3,8711}$	0,8396

По результатам лабораторного эксперимента можно сформулировать следующий вывод:

- экспериментально установлено, что длительность ударного импульса нелинейно, по степенному закону уменьшается при возрастании предела прочности на одноосное сжатие геоматериалов, причем параметры указанной зависимости и диапазон ее корректного использования определяются литотипом геоматериала.

Таким образом, выполненные исследования показали возможность расширения сферы использования метода ударного импульса на геоматериалы. Предложена новая методика оценки прочностных свойств геоматериалов, базирующаяся на использовании ударника, не содержащего взаимно подвижных элементов и предполагающая в качестве информативного параметра длительность ударного импульса. Результаты исследований являются исходными данными для разработки новых средств оперативной оценки прочностных свойств геоматериалов непосредственно на месте залегания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силаева О. И. Исследования с помощью ультразвука скоростей распространения упругих волн и упругих параметров в образцах горных пород при одностороннем давлении / О. И. Силаева. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 110 с.
2. Руководство по экспресс-определению прочностных свойств углевмещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин / А. А. Майборода, О. С. Алферов, А. А. Яланский [и др.] – Днепропетровск: ДГИ, 1988. – Ч. 1. – 48 с.; Ч. 2. – 82 с.
3. Лужин О. В. Неразрушающие методы испытания бетона / О. В. Лужин, В. А. Волохов [и др]. - М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.
4. Коревицкая М. Г. Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций / М. Г. Коревицкая. М.: Высшая, школа, 1989. – С. 214–215.
5. Штенгель В. Г. О корректном применении НК в обследовании железобетонных конструкций длительно эксплуатируемых сооружений / В. Г. Штенгель // В мире НК. – 2009. – № 3. – С. 56–62.
6. ДСТУ БВ.2.7–220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю: Чинний від 2010–09–01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 20 с.
7. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: Введен с 1986–07–01. – М.: Изд.-во стандартов, 2001. – 10 с.

Канд. техн. наук Р.В. Кирия,
инженеры Д.Д. Брагинец, Т.Ф. Мищенко
(ИГТМ НАН Украины)

ИСТЕЧЕНИЕ СЫПУЧЕГО ГРУЗА ИЗ БУНКЕРА С РЕГУЛИРУЕМОЙ БОКОВОЙ ЗАСЛОНКОЙ

Розроблено математичну модель витікання сипкого вантажу із бункера з регульованою боковою заслінкою. Знайдена залежність витрат сипкого вантажу із бункера від кута нахилу заслінки. Отримані результати порівнювалися з експериментальними даними.

EXHAUST BULK MATERIAL FROM CONTROL LATERAL DAMPER

Exhaust bulk material from control lateral damper mathematical model is proposed. Bunker bulk flow as function of damper angle is obtained. The results obtained were compared with experimental data.

Одним из путей повышения эффективности работы горнотранспортного оборудования является применение компьютерных технологий, позволяющих адаптировать работу системы транспорта к изменяющимся условиям работы конвейерных линий с минимальным участием человека.

Для эффективной работы бункеров в таких системах транспорта необходимо иметь управляемые средства их разгрузки, позволяющие поддерживать стабильные параметры грузопотока при изменении внешних условий.

В работах [1, 2] разработаны математические модели истечения сыпучего груза из бункера с различным расположением щелевого отверстия и определена производительность разгрузки сыпучего груза из бункера в зависимости от ширины его выпускного отверстия. Однако математических моделей истечения сыпучего груза из бункера с регулируемой заслонкой не существует.

Целью статьи является определение средней скорости и расхода сыпучего груза из бункера с регулируемой заслонкой, расположенной в боковой стенке бункера.

Задачами исследований являлись: установление теоретической зависимости расхода сыпучего груза из бункера от угла наклона заслонки, величины выходного отверстия, длины заслонки и физико-механических свойств сыпучего груза; экспериментальные исследования процесса истечения сыпучего груза с различным диаметром частиц из бункера с регулируемой заслонкой, расположенной в боковой стенке бункера.

Рассмотрим истечение сыпучего груза из прямоугольного бункера с боковым щелевым отверстием шириной a , длиной b ($b > a$) и углом наклона заслонки к боковой стенке бункера α (рис. 1).

На основе визуальных исследований процесса истечения сыпучего груза из бункера с боковым щелевым отверстием и регулируемой заслонкой, так же, как и для бункера с боковым или горизонтальным щелевым выпускным отверстием [1, 2] можно выделить 5 зон: **A, B, C, D, E**, отличающихся друг от друга структурно-механическим состоянием сыпучего груза (см. рис. 1).