

О.А. Усов, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
А.А. Потапенко, аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВОДЫ НА СТЕНКИ СКВАЖИНЫ С ЭНЕРГИЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАССИВ ОТБОЙНОГО МОЛОТКА

Аннотация. Сравнение проводилось по амплитуде и длительности электрического сигнала от перемещения мембраны датчика давления. Мембрана перемещалась двумя способами: ударом падающего тела и колебаниями воды. Показано, что длительность ударного импульса несколько больше, чем кавитационного. Плотность ввода энергии через единицу поверхности массива для кавитационных колебаний в 7 раз меньше чем для отбойного молотка МО5ПМ.

Ключевые слова: энергия удара, гидравлический импульс, амплитуда, частота, электрический сигнал, отбойный молоток, гидрорыхление

O.A. Usov, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,
A.A. Potapenko, Doctoral Student
(IGTM NASU)

THE COMPARISON OF ACTION ENERGY OF WATER FLUCTUATIONS CAVITATION ON BOREHOLE WALL WITH IMPACT ENERGY OF ROCK BREAKER ON AN ARRAY

Abstract. Comparison was carried out on the amplitude and duration of the electric signal from the displacement of membrane pressure sensor. Displacement of membrane happens in two ways: by a blow of a falling body and by water fluctuations. It is shown that the duration of the impact impulse is longer than cavitation impulse. Density of energy input through array contact surface unit for cavitation oscillations is in 7 times less than for the MO5PM rock breakers.

Keywords: impact energy, hydraulic impulse, amplitude, frequency, electrical signal, rock breaker, hydrobreaking

Для борьбы с внезапными выбросами применяется гидрорыхление угольного пласта путём нагнетания в него воды под высоким давлением плунжерными насосами.

ИГТМ ведёт работы по гидроимпульсному рыхлению пласта. Для их создания применяется кавитационный генератор, преобразующий постоянное давление плунжерного насоса в серию непрерывных гидравлических импульсов в частотном диапазоне до 10 кГц. При этом частота основного тона приблизительно 1,2 кГц, а максимальный размах колебаний сопоставим с давлением плунжерного насоса, питающего генератор.

Опыт обработки угольных пластов, в том числе выбросоопасных, показал, что создание импульсов давления в скважине повышает эффективность гидрорыхления. Однако существует гипотетическая опасность провокации выброса этими импульсами на особо выбросоопасных пластах со специальным режимом ведения горных работ.

Целью работы является сравнение энергии воздействия на массив гидравлических импульсов при работе генератора с энергией ударных импульсов при работе отбойного молотка.

Характеристики импульсов давления изучаются на модели скважины, представляющей стальную трубу с вмонтированными в неё индукционными датчиками давления ДДИ-20 (рис. 1).

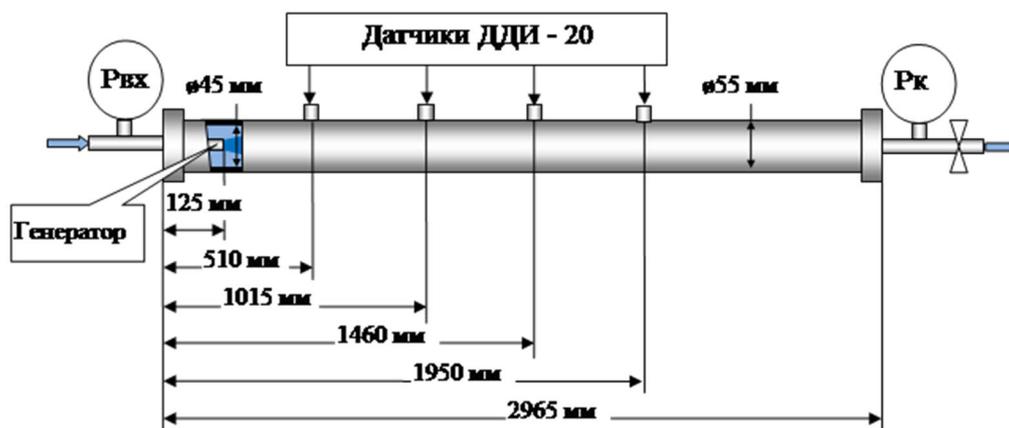


Рис. 1 – Схема измерительной камеры

Вода, поступающая под давлением $P_{вх}$ от насосной установки, проходит через погружной кавитационный генератор и попадает в измерительную камеру, давление в которой $P_{к}$ регулируется краном.

Датчики ДДИ-20, размещённые в измерительной камере регистрируют деформацию мембраны подвергающейся воздействию гидравлического давления. Величина гидравлического давления (МПа) определяется по величине напряжения электрического выходного сигнала (В). Стандартная тарировка выходного сигнала производится по значениям постоянного гидравлического давления в измерительной камере, определяемого манометром.

Для экспериментально сопоставления параметров гидравлического импульса с ударным, была произведена тарировка электрического сигнала при ударе по мембране датчика падающим грузом – стальным стержнем с деревянным наконечником (табл. 1).

Таблица 1 – Деформация мембраны датчика ДДИ-20 при ударе падающим грузом массой 23 г (диаметр мембраны – 9 мм)

Высота сброса груза, см	5	5	10	10	10
Энергия удара, мДж (10^{-3})	11,5	11,5	23	23	23
Напряжение выходного сигнала, В	0,55	0,5	1,1	1,05	1

Испытанию подвергался кавитационный генератор ГК 3.0, пропускающий 80 л/мин при входном давлении 25 МПа. В процессе испытаний устанавливалось входное давление $P_{в} = 10; 15; 20; 22$ МПа. При каждом значении входного давления изменялось давление в камере от 2 до 6 МПа с шагом 1 МПа. Длительность регистрации импульсов при каждой фиксированной паре значений $P_{вх}, P_{к}$ составляла 1,6 с.

На рис. 2 представлены результаты измерений электрического сигнала при ударе по мембране с энергией 23 мНм (первый блок) и 11,5 мНм (второй блок).

Электрический сигнал от максимального гидравлического импульса показан в блоке №3, а от минимального – в блоке №4. Оба сигнала получены от датчика №1 при давлении на входе в генератор 22 МПа. Максимальному сигналу соответствует давление в камере 2 МПа, а минимальному – 6 МПа.

Анализ формы сигнала показывает, что длительность гидравлического импульса – время нарастания от минимума до максимума и последующего спада от максимума до минимума составляет около 10^{-4} с. Длительность ударного импульса больше и составляет примерно $3 \cdot 10^{-4}$ с. Большая растянутость ударного импульса, возможно, объясняется смягчающим влиянием деревянного наконечника на

падающем стальном стержне. Но, скорее всего, гидравлический импульс короче ударного.

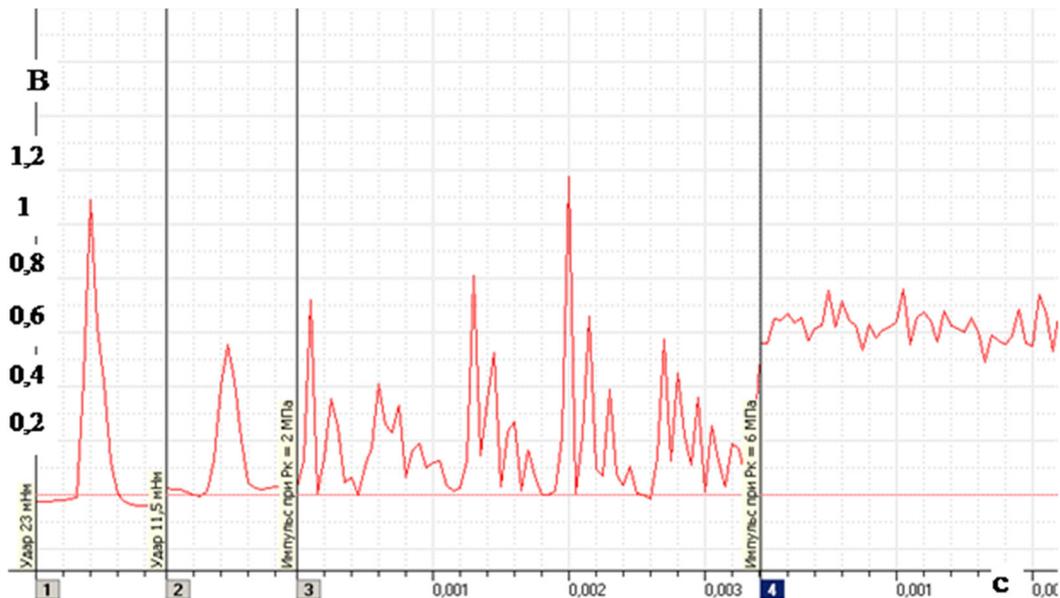


Рис. 2 – Осциллограмма амплитуды колебаний мембраны при $P_{ex} = 22$ МПа, $P_k = 2$ МПа

Сравнение первых двух блоков показывает, что деформация мембраны от удара прямо пропорциональна энергии удара. Тарировка датчика ДДИ-20 показывает, что деформация мембраны прямо пропорциональна величине гидравлического давления. Это позволяет установить соответствие между давлением гидравлического импульса и энергией удара падающего груза.

Значение электрического сигнала от ударного импульса равно 1,1 В, а от гидравлического – 1,2 В. На тарировочном графике датчика ДДИ-20 электрическому сигналу 1,1 В соответствует гидравлическое давление 20 МПа. Т.е.

$$(S_m = 0,64 \text{ см}^2) \cap (20 \text{ МПа} \leftrightarrow 23 \text{ мДж}) \tag{1}$$

где S_m – площадь поверхности для мембраны датчика ДДИ-20 диаметром 9 мм.

При других значениях давления P_u (МПа) гидравлического импульса его ударный эквивалент Γ_{s_m} воздействия на эталонный элемент поверхности массива ($S_m = 0,64 \text{ см}^2$) определится из пропорции

$$P_u/20 = \mathcal{E}/23$$

$$\Gamma_{s_m} = 1,15 P_u, \text{ мДж} \tag{2}$$

При оценке ударного эквивалента импульсного давления на эталонный элемент поверхности камеры (скважины) по формуле (2) нужно учитывать, что колебания в ней носят не стационарный характер (рис. 3).

Приведенные на рис. 3 синхронные осциллограммы каждого из 4-х датчиков показывают, что максимумы амплитуды датчиков не совпадают по времени.

Практически совпадающие максимумы амплитуд у датчиков №1 и №4 (вторая слева вертикальная пунктирная линия) при более детальном рассмотрении смещены по времени всего на 0,3 мс (см. рис. 4). Однако, этого незначительного смещения достаточно для многократного снижения амплитуды датчика №4 в момент максимума амплитуды датчика №1 и наоборот.

В табл. 2 приведены значения импульса на каждом датчике (цифры по вертикали) в те моменты времени, когда амплитуда достигает максимума на одном из них (цифры по горизонтали). Ячейки с максимумом амплитуды выделены серым цветом.

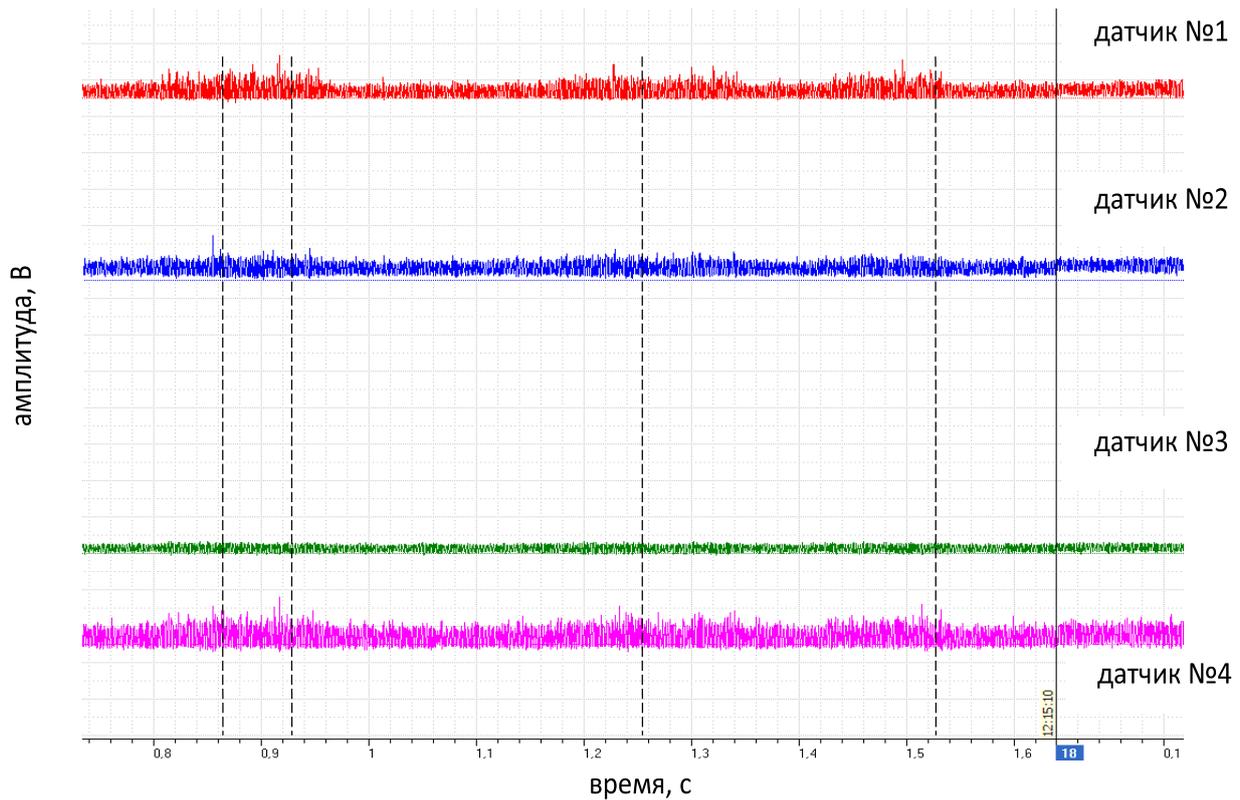


Рис. 3 – Синхронные осциллограммы амплитуд 4-х датчиков при $P_{вх} = 22$ МПа, $P_{к} = 2$ МПа

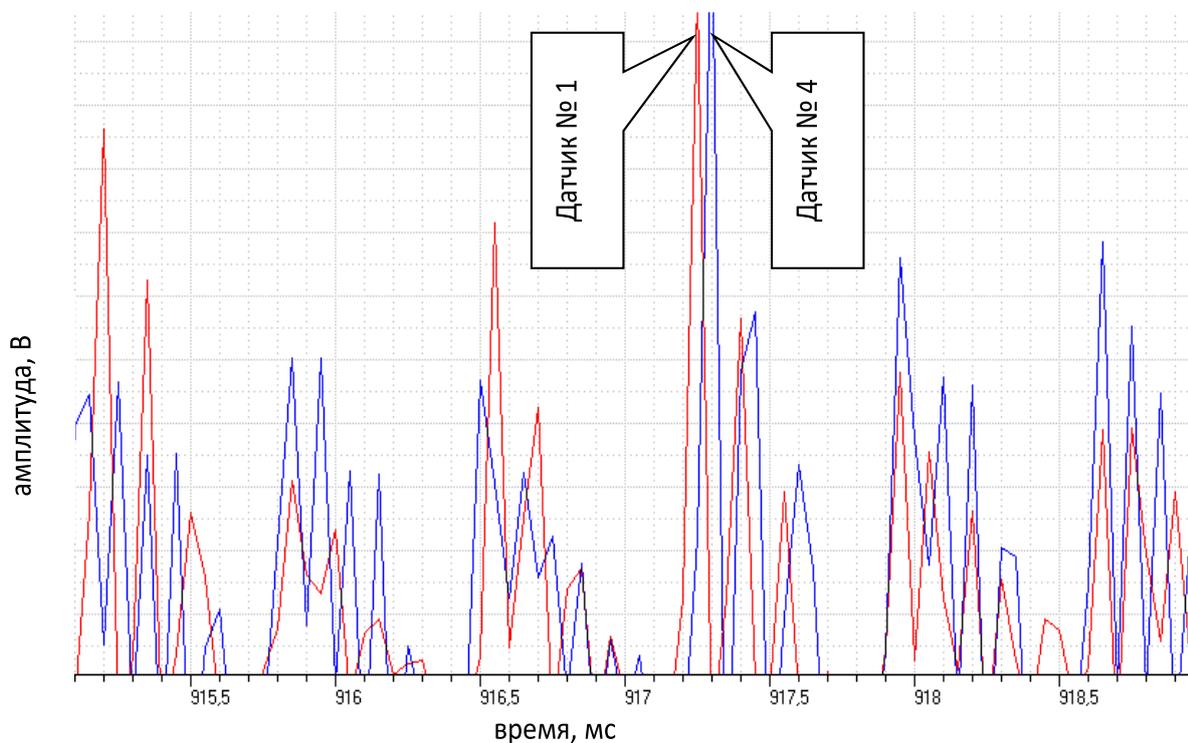


Рис. 4 – Совмещённые осциллограммы амплитуд датчиков №1 и №4 в области максимумов при $P_{вх} = 22$ МПа, $P_{к} = 2$ МПа

Значение в предпоследней строке таблицы получено по формуле (2) для максимального давления гидроимпульса в измерительной камере, равного 24,7 МПа.

Таблиця 2 – Значения электро- и гидро- импульса на каждом датчике в момент максимума амплитуды на одном из них

№ датчика	Электроимпульс (В) в момент максимума на датчике №				Гидроимпульс (МПа) в момент максимума на датчике №				Масштаб P_k/U_k , МПа/В
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	1,18	0,18	0,13	0	21,4	3,3	2,4	0	18,2
2	0,25	1,23	0,34	0,2	3,9	18,9	5,2	3,1	15,4
3	0	1,1	1,75	0,95	0	15,5	24,7	13,4	14,1
4	0,32	0,17	0	1,3	4,1	2,2	0	16,8	12,9
Ударный эквивалент G_{sm} импульсного давления на эталонный элемент поверхности массива, мДж							28		
Энергия удара отбойного молотка M_{sm} , приходящаяся на эталонный элемент поверхности массива, мДж							199		

Энергия удара отбойного молотка, приходящаяся на эталонный элемент поверхности, приведённая в последней строке таблицы, определялась по формуле

$$Ms_m = \mathcal{E}S_m/S_k, \quad (3)$$

где \mathcal{E} – энергия удара отбойного молотка МО5ПМ, равная 29,5 Дж;
 S_k – площадь ударного конуса пики отбойного молотка диаметром $d \approx 3$ см и длиной $h \approx 10$ см.

$$S_k = \pi d(h^2 + d^2/4)^{0,5} \approx 95 \text{ см}^2$$

Результаты расчёта, приведённые в табл. 2, показывают, что удельная энергия удара, передаваемая массиву через единицу поверхности контакта с пикой отбойного молотка в 7 раз выше, чем от максимального кавитационного импульса давления.

Формула (3) определяет минимум удельной энергии удара отбойного молотка, поскольку площадь контакта конусной части пики S_k взята максимальной – при полном её внедрении в массив. На начальной стадии внедрения площадь контакта намного меньше, а удельная энергия удара отбойного молотка значительно выше, чем от максимального кавитационного импульса давления.

Оценка ударного эквивалента производилась по гидравлическому импульсу максимальной амплитуды. Однако, как видно из рис. 2 – рис. 4, не каждый гидравлический импульс имеет амплитуду, близкую к максимальной. На рис. 5 приведены гистограммы распределения электрических импульсов всех четырёх датчиков при работе кавитационного генератора. По горизонтальным осям расположены значения амплитуд, по вертикальным – количество импульсов с данной амплитудой. Длительность интервала измерений составляла 1,6 с для всех датчиков.

Для трёх из четырёх датчиков (1, 2, 4) типичное значение амплитуды лежит в диапазоне (0,15-0,3) В при максимуме её значений (1,2-1,3) В. (Максимальные значения обозначены крайними правыми делениями горизонтальной шкалы). И только на датчике №3 (рис. 5, в) типичное значение амплитуды примерно 0,8 В при максимуме 1,6 В.

Отличие гистограммы датчика №3 от трёх других гистограмм объясняется нарушением его настройки, но, скорее всего, оно свидетельствует о неравномерном распределении импульсного давления по длине рабочей камеры. Для окончательного ответа на этот вопрос необходимы дополнительные экспериментальные измерения.

Тем не менее, имеющихся данных достаточно для вывода, что на полутора из двух метров длины интервала установки датчиков амплитуда большинства импульсов значительно ниже их максимальных значений. Т.е. оценка ударного эквивалента гидравлических импульсов, приведённая в табл. 2, завышена, а оценка

удельной энергии удара отбойного молотка занижена. Это обстоятельство может быть отнесено в запас расчёта.

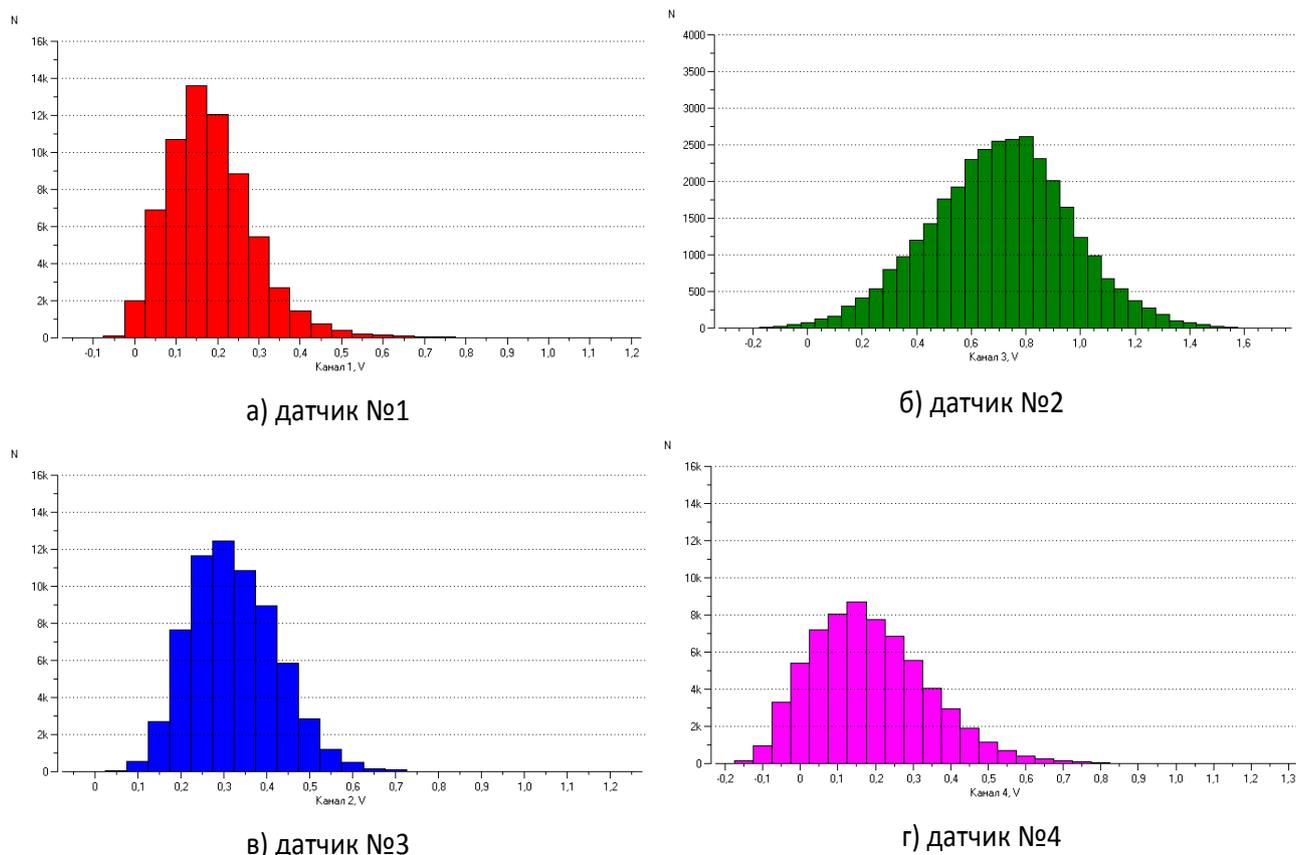


Рис. 5 – Гистограммы распределения импульсов по амплитудам ($P_{вх} = 22$ МПа, $P_{к} = 2$ МПа, интервал регистрации сигналов – 1,6 с)

Выводы

1. Прямым экспериментом установлен ударный эквивалент воздействия гидравлического импульса кавитационного генератора на мембрану датчика ДДИ-20 диаметром 9 мм. Он определяется формулой (2) и составляет 23 мДж при амплитуде импульса 20 МПа.

2. Прямым экспериментом установлено, что длительности гидравлического импульса (около 0,2 мс) короче ударного от груза с деревянным наконечником (примерно 0,4 мс).

3. Проведённая расчётная обработка экспериментальных данных показала, что ударный эквивалент гидравлического импульса, действующий на элемент поверхности скважины площадью $0,64 \text{ см}^2$, как минимум, в 7 раз меньше удельной энергии удара отбойного молотка – той части энергии, которая передаётся через элемент контактной поверхности массива с ударным конусом той же площади.

4. Меньший ударный эквивалент гидравлического импульса, действующий в глубине, а не на поверхности краевой части угольного пласта, позволяет утверждать, что вероятность возникновения выброса при кавитационном гидрорыхлении меньше, чем при работе отбойного молотка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жулай, Ю.А. Теоретическое обоснование динамических параметров импульсного нагнетания жидкости в угольных пласт / Ю.А. Жулай, А.А. Ангеловский // Науковий вісник НГУ. – НГУ: Днепропетровск, 2012. – № 3. – С. 26-30.
2. Машины и оборудование для угольных шахт: Справочник / Под ред. В.Н. Хорина. – 4-е изд. – М.: Недра, 1987. – 424 с.

Об авторах

Усов Олег Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, usov_o_a@mail.ru

Потапенко Александр Алексеевич, аспирант, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина; И.о. генерального директора, Государственное предприятие «Донецкая угольная энергетическая компания» (ГП «ДУЭК»), г. Донецк, Украина

About the authors

Usov Oleg Aleksadrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, usov_o_a@mail.ru

Potapenko Alexandr Alekseevich, Doctoral Student, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine; Acting CEO of State enterprise «Donbasskaya ugolnaya energeticheskaya kompaniya», Donetsk, Ukraine

УДК 648.4:539.3

М.В. Стецюк, аспирант, инженер,
С.Н. Луценко, аспирант, инженер
(ИГТМ НАН Украины)

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКИ ВИБРОПИТАТЕЛЕЙ ПРИ ДОБЫЧЕ УРАНОВЫХ РУД

Аннотация. В статье рассматриваются преимущества использования резиновой футеровки на рабочих плитах вибропитателей, причины их выхода из строя, а также расчёт оптимальной толщины резиновой футеровки.

Ключевые слова: урановая руда, вибропитатель, резиновая футеровка, разрушение футеровки

M.V. Stetsyuk, Doctoral Student, Engineer,
S.N. Lutsenko, Doctoral Student, Engineer
(IGTM NASU)

PROBLEMS OF VIBROPOWERS RUBBER LINING OPERATION IN THE EXTRACTION OF URANIUM ORE

Abstract. The benefit of using a rubber lining at working plates of vibropowers, the reasons for their failure, as well as the calculation of the optimal thickness of the rubber lining are considered in the article.

Keywords: uranium ore, vibropower, rubber lining, fracture of the lining

На сегодняшний день Украина имеет 12 детально разведанных урановых эндогенных месторождений с суммарными запасами, которые в состоянии обеспечить потребности действующих АЭС Украины на 100 лет. При нынешней добыче урана в 400 тонн планируется увеличение её до 1400 тонн в ближайшие три года [1].

При добыче урановой руды следует учитывать не только особенности месторождения урановых руд (глубину залегания руды, высоту пласта и т.д.), но и оборудование, используемое при добыче. Одним из способов доставки руды является механизированный способ. В механизированную доставку входят погрузка, собственно доставка и разгрузка урановой руды. Иногда механизированная доставка включает в себя только погрузку в транспортные средства. Доставка руды от места добычи непосредственно в вагоны электротранспорта осуществляется вибропитателями. На рудниках, разрабатывающих урановые руды, довольно широко