

**Kalgankov Yevgeniy Vasilievich**, Engineer, Senior Teacher of Department «Reliability and repair of machinery», Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Kolbasin Alexandr Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Tolstenko Alexandr Vasilievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

---

УДК [622.003.5.622.807.2] (0433)

А.А. Потапенко, аспирант  
(ИГТМ НАН Украины)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ТРУБЫ-ИМИТАТОРА СКВАЖИНЫ

**Аннотация.** Проведенные исследования в имитаторе скважины устройства кавитационных колебаний жидкости с критическим диаметром 2,5 мм свидетельствует о линейном изменении частоты импульсов в диапазоне от 1200 до 7000 Гц от давления подпора от 2 до 12 МПа при давлении нагнетания 22 МПа. Анализ результатов испытаний показывает, что пульсации давления жидкости существуют во всём исследованном диапазоне изменения подпора от 2 до 12 МПа. Установлено, что при распределении пульсаций по длине трубопровода – имитатора скважины наблюдаются два максимума давления. Судя по характеру изменения пульсаций давления можно предположить, что распространение пульсаций давления по длине трубопровода – имитатора скважины происходит по аналогии наложения двух гармонических колебаний с близкими частотами. Наличие таких максимумов в скважине пласта способствует образованию газоотводящих трещин на различных расстояниях от устройства и повышению эффективности дегазации угольных пластов.

**Ключевые слова:** устройство гидроимпульсной кавитации, имитатор скважины, напорное давление, подпорное давление

A.A. Potapenko, Doctoral Student  
(IGTM NASU)

## THE RESEARCH RESULTS OF PRESSURE FLUCTUATIONS DISTRIBUTION ALONG THE TUBE BOREHOLE SIMULATOR

**Abstract.** Research, carried out in a simulated borehole fluid oscillations of cavitation device with a critical diameter of 2.5 mm, indicates the linear variation of the pressure pulse frequency of backup pressure from 2 to 12 MPa at injection pressure 22 MPa in the range of 1200 to 7000 Hz. The analysis of test results shows that fluid pressure pulsations exist in the entire range of backup pressure from 2 to 12 MPa. It's established that two peaks of pressure are observed while distribution of fluctuations along the pipeline simulator of borehole. Judging by the nature of the change of pressure pulsations, one can assume that the distribution of pressure pulsations along the pipeline simulator of borehole occurs by analogy of superimposing of two harmonic oscillations with close frequencies. The presence of such maximums in a borehole of layer facilitates the formation of gas exhaust cracks at different distances from the device and improves the efficiency of coal seams degassing.

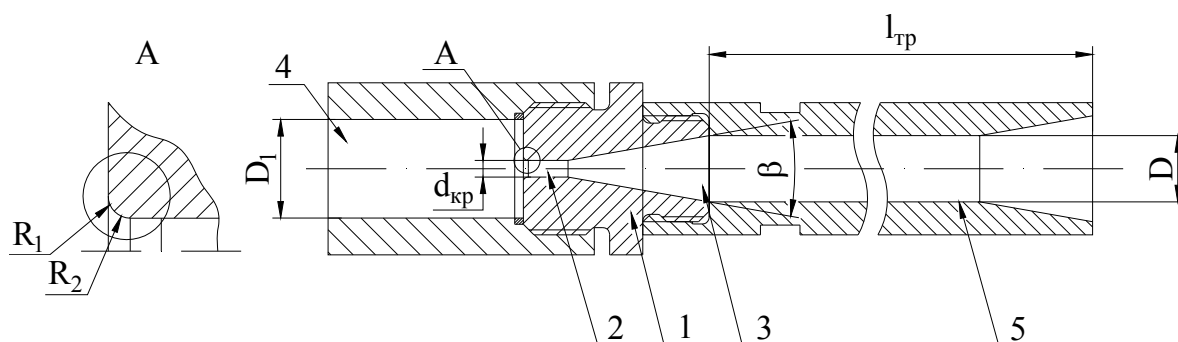
**Keywords:** hydroimpulsive cavitations device, simulator of borehole, forward pressure, backup pressure

Для повышения эффективности гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов в ИГТМ НАНУ создано устройство гидроимпульсной кавитации (рис. 1) [1].

Устройство состоит из входного проточного канала 4, по которому высоконапорный поток жидкости поступает на вход в генератор упругих колебаний давления жидкости 1. В критическом сечении генератора 2 образуется кавитационная каверна, которая распространяется вдоль стенок критики и выходит в диффузорный канал 3. При достижении определённых размеров кавитационная каверна отрывается от стенок генератора, сносится по потоку и захлопывается в зоне повышенного давления в последиффузорном канале 5. После отрыва каверны, тотчас начинает расти новая каверна. Процесс отрыва и захлопывания диффузорной

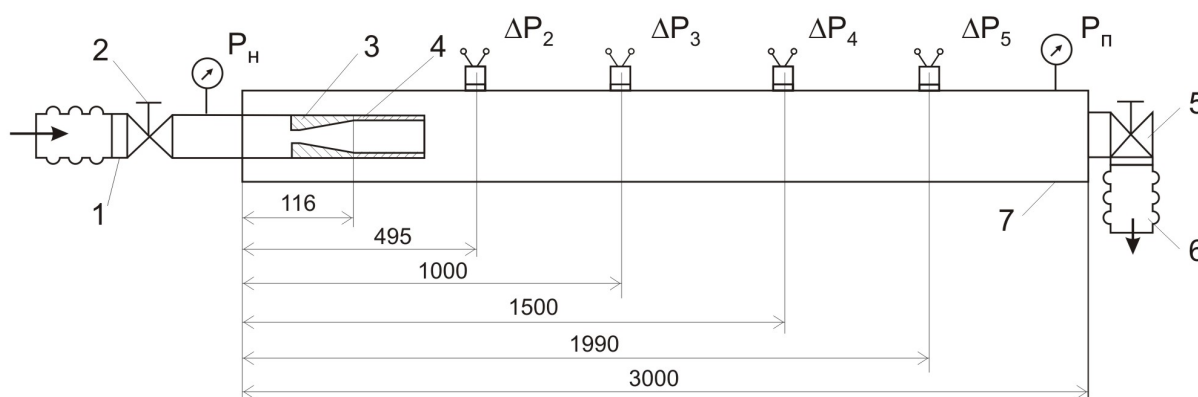
части каверны на определённом режиме происходит строго периодически, создавая высокоамплитудное пульсирующее течение с частотами, лежащими в звуковом диапазоне [2].

Схема испытаний устройства гидроимпульсного рыхления по определению его динамических параметров приведена на рис. 2.



1 – трубка Вентури; 2 – критическое сечение; 3 – диффузор кавитационной камеры; 4 – входной проточный канал; 5 – последиффузорный проточный канал

Рис. 1 – Конструкция кавитационного генератора ГК-2,5



1 – входной трубопровод с регулируемым дросселем 2; 3 – генератор; 4 – последиффузорный канал; 5 – подпорный дроссель; 6 – сливной трубопровод стенда; 7 – трубопровод - имитатор скважины  
Рис. 2 – Схема испытаний устройства гидроимпульсного рыхления

Стенд для исследования включает в себя входной гидравлический канал 1 с регулируемым дросселем 2, соединённый посредством ниппельного соединения с гибким шлангом высокого давления стенда, кавитационный генератор 3, последиффузорный канал 4, трубопровод имитатор скважины 7, на выходе из которого установлен подпорный дроссель 5, соединённый со сливным трубопроводом стенда 6. Модель скважины (имитатор скважины) представляет собою трубопровод (с внутренним диаметром  $d_{вн} = 50$  мм и длиной  $L_{тр} = 3$  м), на котором на различных расстояниях от входа расположены бобышки для установки датчиков давления.

Для исследования кавитационного устройства в трубе - имитаторе скважины, моделирующем его работу в шпуре или скважине при проведении гидрорыхления угольного массива, имитатор скважины был оборудован дополнительными датчиками. Схема установки датчиков пульсаций давления приведена на рис. 2. Подача жидкости на генератор осуществлялась насосной установкой УНР (производительностью 55 л/мин при давлении 20 МПа).

Получены зависимости частоты  $f$  и пульсаций  $\Delta P$  давления жидкости по длине трубопровода от отношения  $P_n/P_H$  подпорного  $P_n$  давления к напорному  $P_H$ .

Анализ приведенных исследований и установленных зависимостей показывает, что пульсации давления жидкости по длине трубопровода-имитатора скважины зарегистрированы практически во всем диапазоне изменения отношения  $P_n/P_H$  [3]. В исследованном диапазоне этого отношения от 0 до 0,8 частота  $f$  следования импульсов, обусловленных схлопыванием кавитационных каверн, наблюдается в диапазоне от 1200 до 7000 Гц. При этом с увеличением подпора (параметр кавитации) частота растёт практически по линейному закону.

Результаты испытаний погружного устройства в имитаторе скважины в виде зависимостей величин пульсаций  $\Delta P$  в различных сечениях трубопровода по его длине от давления подпора  $P_n$  представлена на рис. 3.

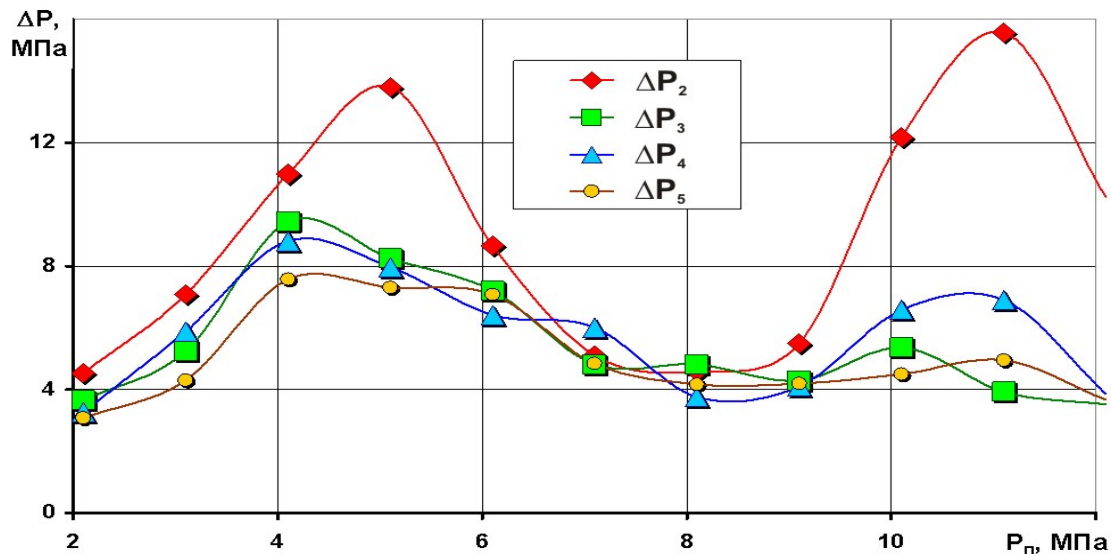


Рис. 3 – Зависимости пульсаций давления  $\Delta P$  в различных сечениях трубопровода имитатора скважины от давления подпора  $P_n$

Анализ этих результатов показывает, что пульсации давления жидкости существуют во всем исследованном диапазоне изменения давления подпора  $P_n$  от 2 до 12 МПа. Изменение величин пульсаций давления  $\Delta P$  от подпора  $P_n$  нелинейно. Имеется два ярко выраженных максимума – первый при значениях давления подпора  $P_n \approx 4,1-5,1$  МПа и частоты  $f \approx 2200-2700$  Гц и второй – при  $P_n \approx 11,1$  МПа и частоты  $f \approx 6500$  Гц. Значения  $\Delta P_3, \Delta P_4$  и  $\Delta P_5$  существенно не отличаются друг от друга и находятся в диапазоне от 4 до 9 МПа.

Зависимости величины пульсаций давлений  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_4$  от отношения  $\tau = P_n/P_H$  не линейны и имеют два максимума, наблюдаемые в районах  $\tau \approx 0,09$  и  $\tau \approx 0,37$  со значениями  $\Delta P_2 = 15,4$  МПа и  $\Delta P_4 = 12,5$  МПа на первом максимуме и  $\Delta P_2 = 10,6$  МПа и  $\Delta P_4 = 6,4$  МПа на втором (рис. 4).

Судя по характеру изменения пульсаций давления можно предположить, что их

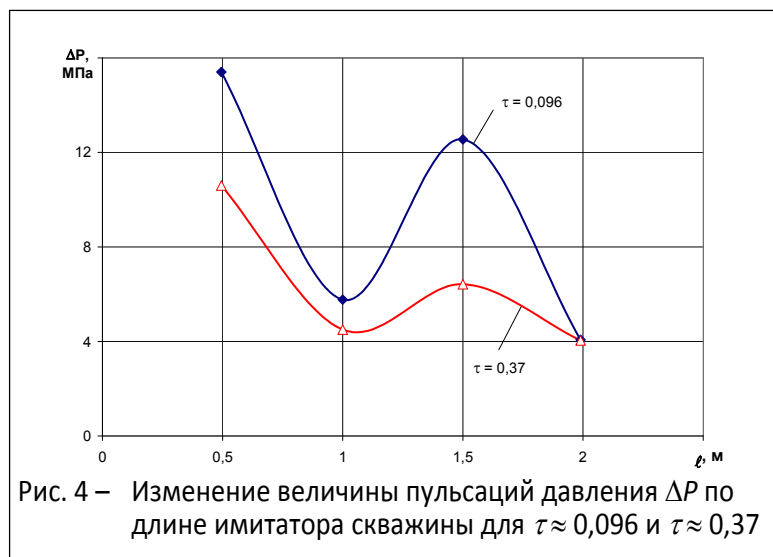


Рис. 4 – Изменение величины пульсаций давления  $\Delta P$  по длине имитатора скважины для  $\tau \approx 0,096$  и  $\tau \approx 0,37$

распространение по длине трубопровода-имитатора скважины происходит по аналогии со сложением двух гармонических колебаний с близкими частотами. Такое явление в физике называется биением. В нашем случае это может быть вызвано взаимодействием прямой и обратной волны импульса при отражении его с торца трубопровода-имитатора скважины.

Само по себе это интересное явление. Его наличие в скважине ведёт к возникновению газоотводящих трещин в пласте на разных расстояниях от генератора, что способствует интенсификации процессов разгрузки пласта и повышению его дегазации.

### **Выводы**

1. Проведенные исследования в имитаторе скважины устройства кавитационных колебаний жидкости с критическим диаметром 2,5 мм свидетельствует о линейном изменении частоты импульсов в диапазоне от 1200 до 7000 Гц от давления подпора от 2 до 12 МПа при давлении нагнетания 22 МПа.

2. Анализ результатов испытаний показывает, что пульсации давления жидкости существуют во всём исследованном диапазоне изменения подпора от 2 до 12 МПа.

3. Установлено, что при распределении пульсаций по длине трубопровода – имитатора скважины наблюдаются два максимума давления. Судя по характеру изменения пульсаций давления можно предположить, что распространение пульсаций давления по длине трубопровода – имитатора скважины происходит по аналогии наложения двух гармонических колебаний с близкими частотами. Наличие таких максимумов в скважине пласта способствует образованию газоотводящих трещин на различных расстояниях от устройства и повышению эффективности дегазации угольных пластов.

---

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Генератор и герметизатор шпура для гидроимпульсного воздействия на угольный массив в технологическом процессе противовыбросовых мероприятий / Л.М. Васильев, Ю.А. Жулай, Н.Я. Трохимец, П.Ю. Моисеенко [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГГМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 61. – С. 314-322.
2. Исследование высокочастотных кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с трубкой Вентури / В.В. Пилипенко, В.А. Задонцев, И.К. Манько [и др.] // Кавитационные колебания в насосных системах: Сб. научн. тр. – К.: Наукова думка, 1976. – Ч. 2. – С. 104-113.
3. Моисеенко, П.Ю. Обоснование параметров кавитационного генератора для гидрорыхления угольных пластов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / П.Ю. Моисеенко. – Днепропетровск: ИГГМ НАНУ, 2009. – 205 с.

---

### **Об авторе**

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

---

### **About the author**

**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

А.В. Новикова, магистр, мл. научн. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СЖАТИИ СО СДВИГОМ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема определения механических характеристик резиновых деталей, предназначенных для виброизоляции тяжёлых горных машин, при циклическом сжатии, сдвиге и сжатии со сдвигом. Приведены результаты квазистатических и динамических испытаний, проведённых с целью оценки влияния предварительного сжатия на сдвиговую жёсткость резиновых элементов.

**Ключевые слова:** кажущийся модуль упругости, сжатие со сдвигом, предварительное поджатие

A.V. Novikova, M. S. (Tech.), Junior Researcher  
(IGTM NASU)

## THE SOLUTION OF A PROBLEM OF COMPRESSION WITH SHEAR OF PRISMATIC RUBBER-METAL ELEMENTS

**Abstract.** The problem of definition of mechanical characteristics of the rubber details intend for vibration insulation of heavy mining machinery is considered, at cyclic compression, shear and both compression and shear. The results of quasi-static and dynamic trials, conducted for the purpose of an estimate of pre-compression influence on shear stiffness of rubber elements, are given.

**Keywords:** apparent elastic modulus, compression with shear, preliminary compression

### 1 Введение

Задача определения осадки резиновых элементов, работающих на сжатие, решалась в разное время такими авторами, как Э.Э. Лавендел [1], С.И. Дымников [2], В.Л. Бидерман, Н.А. Сухова [3, 4] и др. Большинство из них ограничивались случаем малых деформаций.

В работе [5] решалась задача определения напряжённо-деформированного состояния (НДС) резиновых виброизоляторов, предназначенных в качестве элементов вибросейсмозащиты тяжёлых машин и сооружений. Следует отметить, что виброизоляторы такого типа отличаются большими геометрическими размерами и большими деформациями. Авторами работы [5] было предложено учитывать нелинейность при больших деформациях при помощи оригинального упругого потенциала, полученного при экспериментальных исследованиях натуральных вибросейсмоблоков. При этом для учёта особенностей на торцах использовался коэффициент ужесточения  $\beta$ , который рассчитывался по формуле:

$$\beta = 1 + 1,03\rho^2, \quad (1)$$

полученной на основании математической обработки экспериментальных данных для массивных цилиндрических сплошных амортизаторов [6].

При помощи метода Рунге задача расчёта НДС массивного вибросейсмоизолятора была сведена к задаче Коши для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка, которая была решена численно методом Рунге-Кутты четвёртого порядка точности. Далее было проведено численное интегрирование, в результате которого получено значение осадки амортизатора. Сравнение с экспериментом показало, что использование предложенного упругого потенциала, а также формулы (1) приводит к достаточно точным результатам.