

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ВОЛН ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

Наведено конструкцію пристрою для виміру параметрів ударних повітряних хвиль і результати фактичних вимірів при здійсненні масового вибуху в підземних умовах. Зроблено зіставлення результатів вимірів з теоретичними розрахунками, відносна погрішність яких не перевищила 23%, що свідчить про вірогідність отриманих результатів.

CHARACTERIZATION OF THE AIR-BLAST WAVES WHILE PERFORMING SINGLE BLAST INBYE

The article highlights the importance of the constructed device for measuring air-blast waves. The results of the metering received after the execution of the single blast inbye are compared with theoretical calculations, the ratio error of which does not exceed 23%. Top-priority, therefore, is given to simulation veracity, the evidence of which is covered in the article.

Ударные воздушные волны (УВВ) образуются при отбойке крепких руд в результате проведения массовых взрывов. Распространяясь по горным выработкам на большие расстояния, УВВ могут повлечь за собой различные негативные последствия, что ведет к большим экономическим затратам на ремонтно-восстановительные работы.

К основным параметрам УВВ относятся (рис. 1): давление на ее фронте (ΔP , кПа), импульс (I , Па·с), скорость распространения (v , м/с) и время ее действия (τ , с). По данным исследования [1] эти значения колеблются в таких пределах: $\Delta P = 0-100000$ кПа; $v = 340-9780$ м/с.

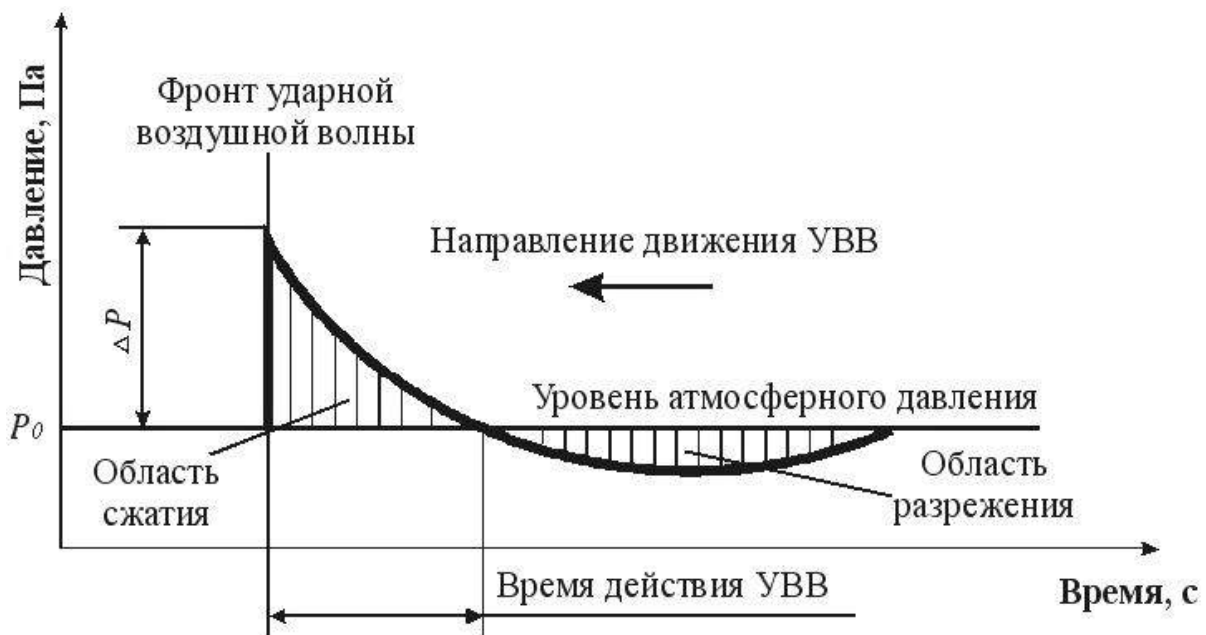


Рис. 1 – Изменение давления за фронтом УВВ

Для установления параметров УВВ разработаны различные измерительные устройства. Они могут быть электрическими и механическими. Однако эти устройства изготавливались более двадцати лет назад в единичных экземплярах. На сегодняшний день отсутствуют технические характеристики и методика их применения.

В связи с изложенным, для замера импульса УВВ автором разработан простое механическое устройство с большим диапазоном измерений, а также методика его применения [2].

Измерительное устройство состоит (рис. 2) из корпуса 1, представляющего собой трубу диаметром 34 мм. В трубе имеется паз 9. К торцу трубы прикреплена пружина 7, а с другой стороны она через подвижный стержень 8 соединена с измерительным диском 4. Для направления движения диска на трубе имеется подвижное основание 3, соединенное с измерительным диском. К торцу подвижного основания примыкает резиновое кольцо 2.

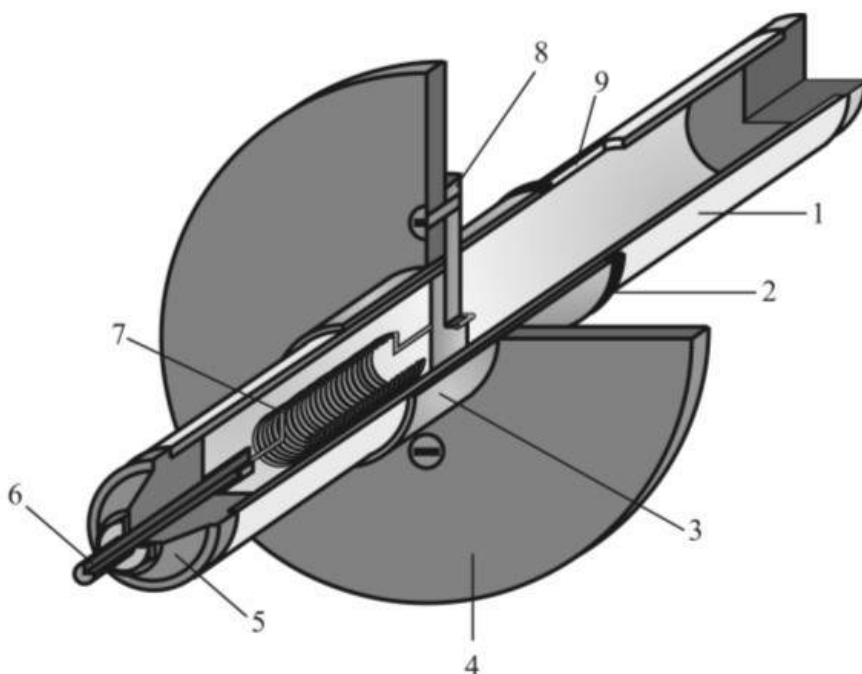


Рис. 2 – Конструкция измерительного устройства

Для начального минимального натяжения пружины в приборе имеется регулировочный винт 6, который можно перемещать при помощи резьбового соединения вдоль конуса 5, тем самым ослабляя или натягивая пружину.

Принцип действия прибора заключается в следующем: давление на фронте УВВ воздействует на измерительный диск 4. В зависимости от площади последнего создается усилие, которое растягивает пружину 7. Для определения максимальной величины растяжения пружины у прибора имеется резиновое кольцо 2, которое под действием подвижного основания перемещается вместе с ним по основанию прибора. После того, как воздействие на измерительный диск закончено, он под действием пружины возвращается в исходное положение.

ние, а резиновое кольцо показывает пройденное им расстояние, которое измеряется линейкой.

Величина растяжения пружины x будет зависеть от прикладываемого усилия к измерительному диску прибора и может быть вычислена при помощи интеграла Дюамеля [3]:

$$x = \frac{e^{-nt}}{p_{\delta}} \int_0^t e^{-nt'} q \sin p_{\delta}(t-t') dt' \quad (1)$$

где n – вводная переменная; $2n = c/m$; c – коэффициент вязкости; m – масса подвижного элемента прибора, кг; p_{δ} – круговая частота затухающих колебаний при демпфировании, Гц; t – время приложения силы к подвижному элементу прибора, с; t' – произвольный момент времени, с; $q = Q/m$ – возмущающая сила, отнесенная к единице массы подвижного элемента прибора, Н/кг; Q – возмущающая сила, Н.

После математических преобразований формула для определения возмущающей силы принимает следующий вид:

$$Q = \frac{Ak}{2 \sin \left(\frac{\sqrt{\frac{k}{m}} t}{2} \right)}, \text{ Н} \quad (2)$$

где A – амплитуда колебаний пружины, м; k – жесткость пружины, Н/м; m – масса подвижного элемента измерительного устройства, кг; t – время действия УВВ, с

Зная массу подвижного элемента m , площадь измерительного диска S , величину растяжения пружины A и ее жесткость k , определим давление, которое воздействовало на прибор:

$$P = \frac{Ak}{2S \sin \left(\frac{\sqrt{\frac{k}{m}} t}{2} \right)}, \text{ Па} \quad (3)$$

В лабораторных условиях были исследованы характеристики прибора при статических и динамических нагрузках.

Этими исследованиями определены масса подвижного элемента прибора и коэффициент жесткости пружины, необходимые для расшифровки показаний прибора, а также изучено его поведение при импульсном приложении силы.

Известный специалист в области исследования ударных воздушных волн А.И. Гурин [1] рекомендует проводить тарировку приборов в условиях, когда точно известна масса взрываемого взрывчатого вещества и расстояние до места взрыва.

Поэтому местом тарировки прибора были выбраны тупиковые выработки шахты «Проходческая» ЗАО «Запорожского железорудного комбината». Эксперименты выполнялись при проведении трех тупиковых выработок сечением $12,4 \text{ м}^2$ при массе одновременно взрываемого взрывчатого вещества от 30 до 50 кг. В каждой из выработок устанавливали по три прибора, имеющих одинаковые характеристики.

Для определения мест установки приборов предварительно рассчитывали параметры ударных воздушных волн при движении по рассматриваемым выработкам [4].

В соответствии с выполненными расчетами места установки приборов с диаметром измерительного диска 30 мм должны находиться на расстоянии от забоя в пределах 15-60 м.

Для установки приборов в выработке в ее боковой стенке бурились шпуров длиной 0,5 м, в которых устанавливалась труба с разрезом 1 (рис. 3) распорным клином с резьбой и гайкой 2. Производилось закрепление трубы в шпуре. Прибор 4 непосредственно крепился к раме 3 с помощью винта 5.

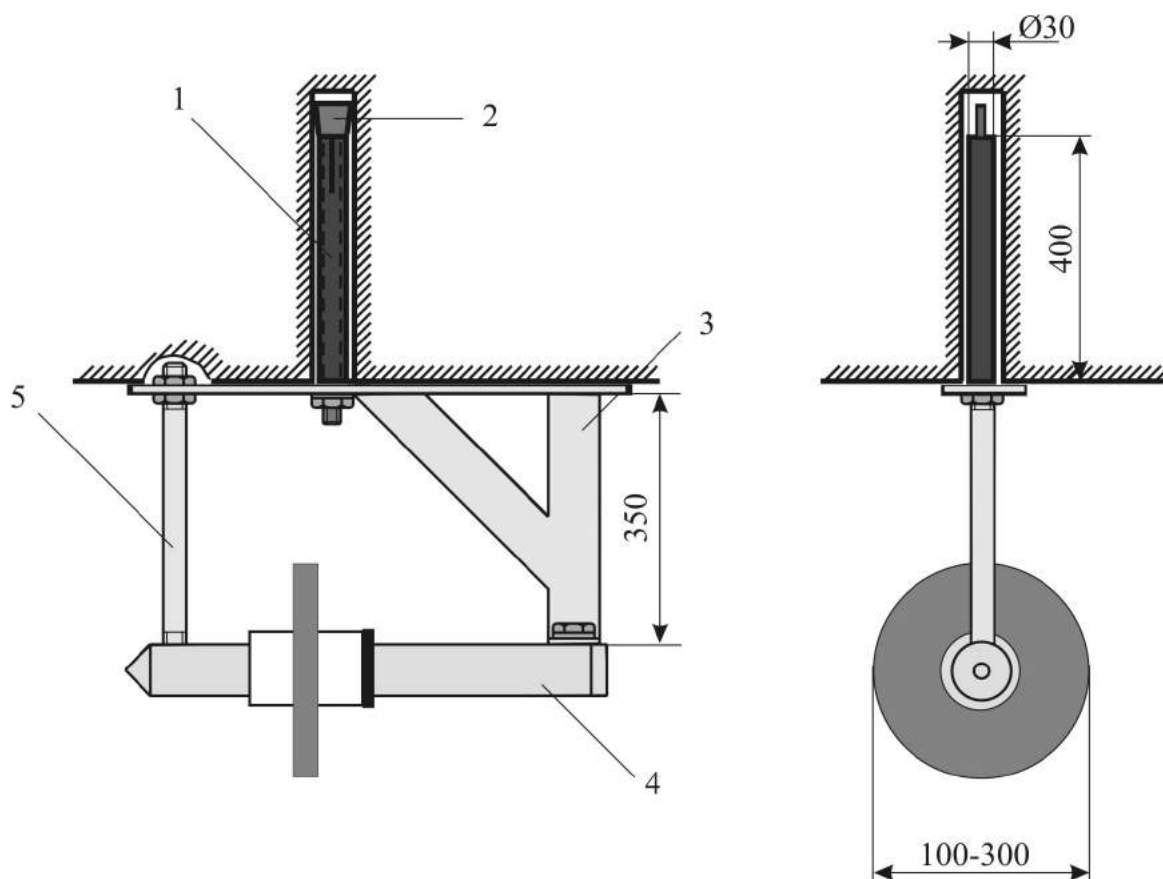
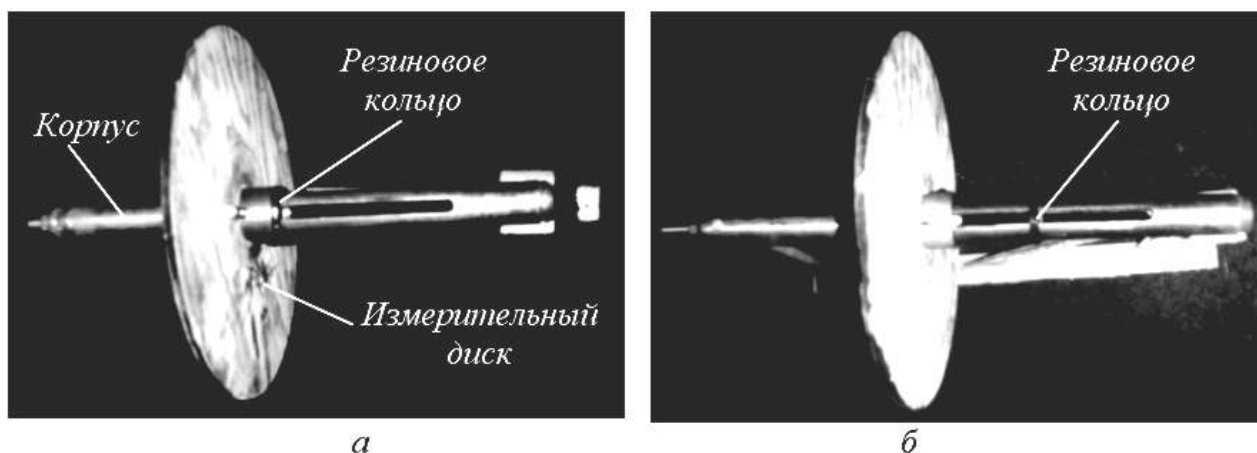


Рис. 3 - Схема крепления прибора в горной выработке

После установки всех приборов в выработке проводили взрывные работы, предварительно зафиксировав следующие параметры: расстояние от установки приборов до забоя, площадь сечения выработки, тип взрывчатого вещества, его массу, время замедления, тип забойки, массу ВВ.

По окончании взрывных работ снимали показания приборов - пройденное расстояние подвижного элемента измерительного устройства.

Показания прибора до и после прохождения ударной воздушной волны представлены на рис. 4.



а – перед взрывом; б – после взрыва

Рис. 4 - Показания прибора до и после прохождения ударной воздушной волны

Результаты показаний прибора для одной из экспериментальных выработок и сопоставление их с теоретическими расчетами приведено в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты замеров давления ударной воздушной волны выработке

Наименование выработки	Расстояние до забоя, м	$P_{теор}$, Па	$P_{изм}$, Па	P , %
г. 775 м орт 1ю+15	37,7	777	750	3,66
	43,2	550	565	2,73
	62,0	261	268	2,70

Из рис. 5 видно, что давление ударной воздушной волны изменяется по экспоненциальной зависимости, что полностью совпадает с теорией ударных воздушных волн.

Тарировка прибора в промышленных условиях показала, что разность между фактическими показаниями и теоретическим расчетами не превысила 12,5%. Это позволяет использовать прибор для замеров параметров ударных воздушных волн при ведении взрывных работ в подземных условиях.

Натурные исследования параметров УВВ проводились на шахте «Эксплуатационная» камере 2/5ю горизонта 740 м, в условиях, для которых предварительно выполнялись теоретические расчеты параметров УВВ.

На основании рассчитанных параметров УВВ, которые были нанесены на

план горных выработок (рис. 6), по характеристикам измерительного устройства определялись места их установки.

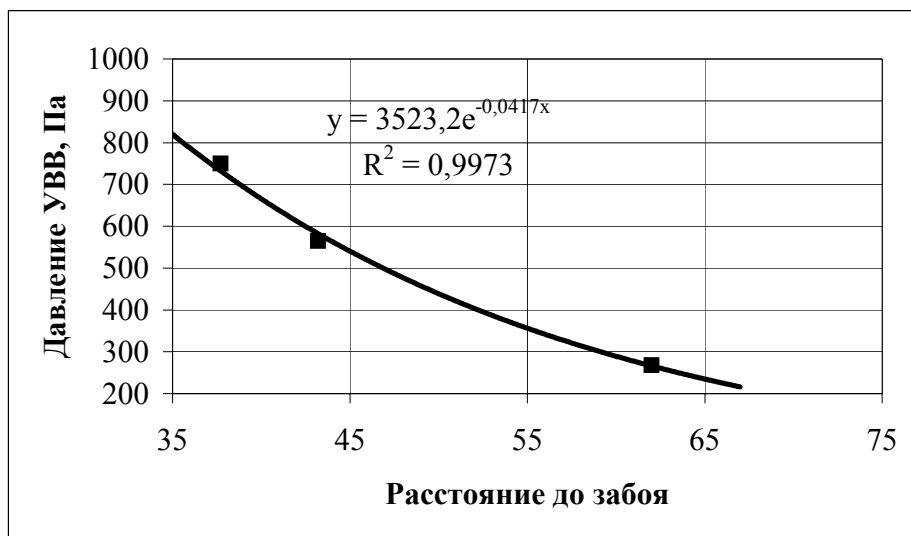


Рис. 5 – Фактическое изменение давления ударной воздушной волны по выработке

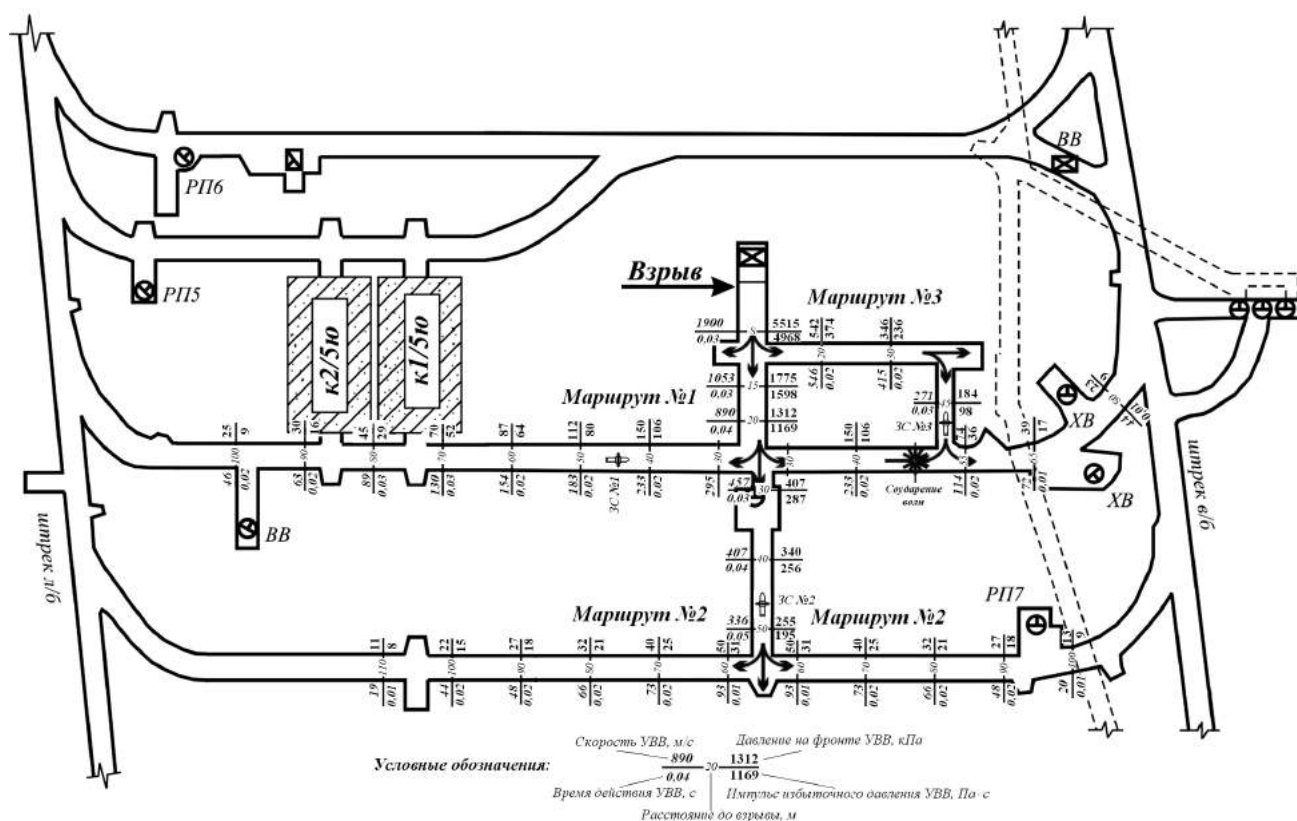


Рис. 6 – План горизонта 740 м с местом расположения замерных станций и значениями параметров УВВ

Взрыв проходил в две серии. В первую серию взрывалось 2540 кг ВВ, во вторую 1472 кг. Интервал между сериями составил 0,75с.

Результаты замеров приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Фактические и теоретические значения УВВ в местах замера

Номер прибора	Время действия УВВ (теор), с	Скорость УВВ (теор), м/с	Ризм, Па	Рпопр, Па	Ртеор, Па	Р, %
№1	0,03	260	1325	2445	3004	22,86
№2	0,02	130	2547	3868	4575	18,27
№3	0,05	336	1655	3424	3900	13,90

Как видно из таблицы 2, расхождение расчетных и фактических данных колеблется в пределах от 13,9 до 22,86%. Такое расхождение объясняется большим разветвлением и различными характеристикам выработок, по которым движется УВВ.

Вместе с тем, полученные расхождения находятся в допустимых для расчета пределах, что дает основание использовать фактические параметры УВВ для расчета и обоснования параметров взрывозащитной перемычки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурин А. А., Малый П. С., Савенко С. К. Ударные воздушные волны в горных выработок. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 223 с.
2. Рахутин В. С., Русских В. В., Овчинников Н. П. Прибор для определения параметров ударной воздушной волны при ее движении по подземным выработкам // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №6. – С.12-14.
3. Тимошенко С. П. и др. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1985.
4. Рахутин В. С., Русских В. В. Параметры ударных воздушных волн при движении по подземным выработкам // Сб. научн. тр. / НГА Украины. – 2001. – №11, Т.1. – С.41-46.