

УДК 622.235.213.002.56

Меньшиков Павел Владимирович

младший научный сотрудник
лаборатории разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: menshikovpv@mail.ru

Синицын Виктор Александрович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН

Шеменив Валерий Геннадьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: rgp@igduran.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ
ДЕТОНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
DATATRAP II DATA/VOD RECORDER***Аннотация:*

Дано описание экспериментальных методов измерения скорости детонации и измерительного комплекта оборудования DATATRAP II DATA/VOD Recorder, предназначенного для определения скорости и длительности детонации, детонационного давления при испытании порошкообразных, гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ как на испытательном полигоне, так и в технологических скважинах, использующего реостатный метод измерения скорости детонации, а также для определения параметров взрыва и его воздействия на окружающую среду, таких как скорость смещения, ускорение сейсмических колебаний и давление на фронте ударной воздушной волны.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, скорость детонации, ударная воздушная волна, ускорение сейсмических колебаний, измерительный комплект оборудования, измерительный кабель, зондовый стержень, взрывные скважины

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.112

Menshikov Pavel V.

junior researcher,
rocks breaking laboratory,
The Institute of mining UB RAS
620075, Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: menshikovpv@mail.ru

Sinizin Viktor A.

candidate of technical sciences,
senior researcher,
rocks breaking laboratory,
The Institute of mining UB RAS

Shemenov Valery G.

candidate of technical sciences,
the head of rocks breaking laboratory,
The Institute of mining UB RAS
e-mail: rgp@igduran.ru

**MAIN DETONATION
CHARACTERISTICS OF EXPLOSIVES
DETERMINATION USING
THE DATATRAP II DATA/VOD RECORDER
MEASURING EQUIPMENT***Abstract:*

The article describes the experimental methods for measuring both the velocity of detonation and measuring equipment set DATATRAP II DATA / VOD Recorder, designed to determine the velocity and duration of detonation, detonation pressure for powder, granular and emulsion explosives on the test site as well as in technological blast holes, the equipment uses rheostat-bonding method for measuring the velocity of detonation, as well as for determination the parameters of the explosion and its impact on the environment, such as the velocity of displacements, acceleration of seismic vibrations and air pressure in the shock wave front.

Key words: explosives, detonation velocity, shock air wave, acceleration of seismic vibrations, measuring equipment set, probe cable, probe rod, blast holes

Сущность ионизационного метода определения скорости детонации заключается в измерении времени ее прохождения фронтом фиксированной базы – участка заряда между двумя или более датчиками. Принцип измерения основан на превращении исходного ВВ – диэлектрика в токопроводящую систему из ионизированных продуктов взрыва. Если в электрической цепи обеспечить искровой промежуток, разместив его в заряде ВВ, то в момент прохождения фронта детонации через него в электрической цепи

возникает импульс тока, который может быть зарегистрирован осциллографическим измерителем времени или частотомером [1].

Размещая два электромагнитных датчика на расстоянии l м, можно зафиксировать интервал времени t (с), за которое детонационная волна проходит это расстояние. По полученным данным рассчитывается скорость детонации (м/с):

$$D = l/t.$$

Погрешность измерения при определении скорости детонации 3 – 5 %.

Однако благодаря новейшему реостатному измерительному прибору DATATRAP II DATA/VOD Recorder точность измерения повышается в несколько раз.

Измерительный комплект оборудования DATATRAP DATA/VOD Recorder (компания «MREL Group of Companies Limited») используется в научно-исследовательских работах, проводимых ИГД УрО РАН на горных предприятиях. Прибор предназначен для определения детонационных характеристик ВВ в технологических скважинах и при полигонных испытаниях при производстве взрывных работ. Детонационные характеристики необходимы, чтобы определить соответствие стандартам контроля качества, устанавливаемым производителем. Прибор также предназначен для оценки сейсмического и ударно-воздушного воздействия от технологических массовых взрывов на сохранность охраняемых объектов, в том числе зданий и сооружений, расположенных вблизи взрывоопасных зон.

От мировых аналогов прибор для определения скорости детонации взрывчатых веществ DATATRAP II DATA/VOD Recorder отличается большим количеством каналов для измерения, возможностью параллельного измерения скорости детонации по каждому отдельному каналу, большим объемом внутренней памяти с возможностью ее дальнейшего увеличения, большой и независимой программируемой частотой дискретизации по каждому отдельному каналу от 1 Гц до 10 МГц. Также DATATRAP II DATA/VOD Recorder, кроме измерения скорости детонации, может определять любую другую информацию от любого сенсора, на выходе у которого имеется постоянный ток (скорость смещения, ускорение, давление на фронте ударно-воздушной волны (УВВ), температура, детонационное давление и натяжение) [2].

Измерение скорости детонации взрывчатых веществ выполняется реостатным методом (рис. 1, 2). В заряд ВВ по всей его длине помещают измерительный кабель, который присоединяют к кабелю РК, а затем к измерительному прибору. При взрыве, по мере прохождения детонационной волны по заряду ВВ, длина измерительного кабеля уменьшается и, соответственно, изменяется сопротивление кабеля. Регистрирующий прибор непрерывно измеряет изменения величины сопротивления электрической цепи и записывает во встроенную память. Регистрирующий прибор фиксирует событие (взрыв одного заряда) в виде цифрового файла – таблицы «время – величина сопротивления» – с возможностью расшифровки на персональном компьютере в виде диаграммы «длина заряда – время» с автоматическим вычислением скорости детонации [3].

Комплект оборудования DATATRAP II DATA/VOD Recorder («MREL Group of Companies Limited») для измерения скорости детонации взрывчатых веществ состоит из 4-х частей: измерительного кабеля VOD PROCABLE-LR «Синий», VOD PROCABLE «Зеленый» или зондовых стержней VOD PROBEROD-HR/HS, коаксиального радиочастотного кабеля типа РК (РК-75, РК-50 или RG-58/U), BNC-адаптеров и блока регистрирующей аппаратуры DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Измерительные кабели VOD PROCABLE-LR «Синий» и VOD PROCABLE «Зеленый» имеют классическую конфигурацию стандартного коаксиального кабеля типа RG, где провод с высоким сопротивлением является главным проводом, а оплетка действует как обратный провод. Диэлектрический материал, помещенный между проводом высо-

кого сопротивления и обратным проводом, обеспечивает изоляцию и их физическое разделение. Последнее снижает возможность короткого замыкания в процессе работы с кабелем. Пластиковый внешний слой защищает зондовый кабель от износа.

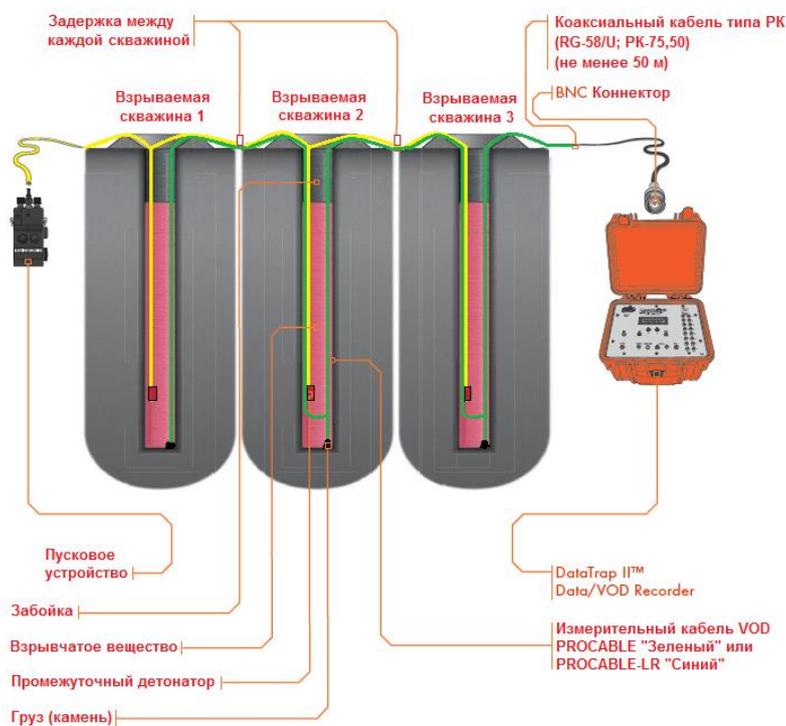


Рис. 1 – Схема расположения измерительного кабеля VOD PROCABLE при измерении скорости детонации ВВ в нескольких скважинах

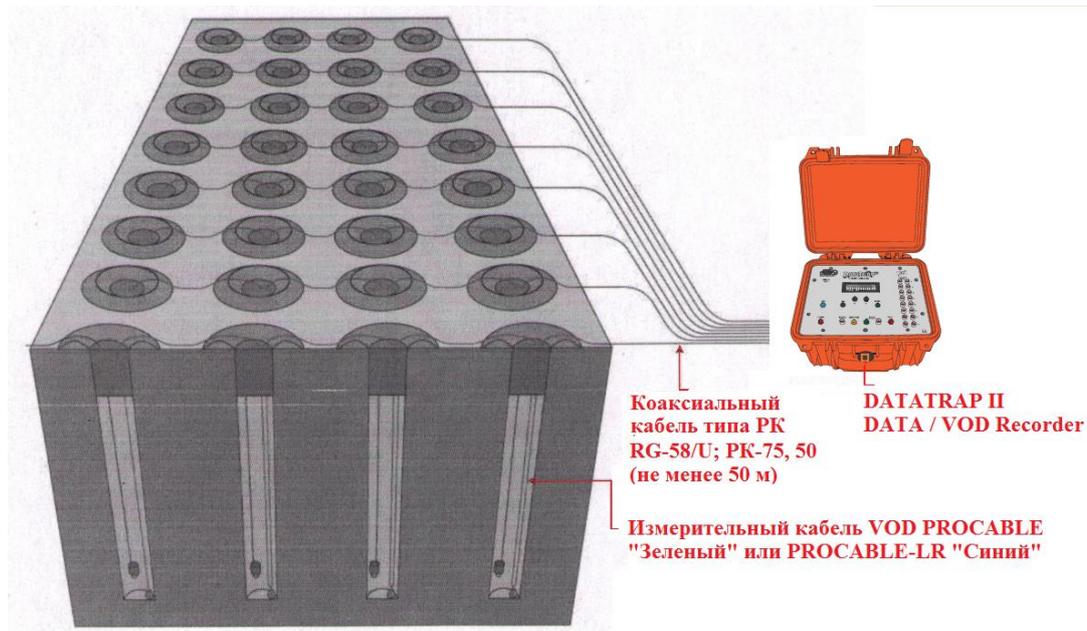


Рис. 2 – Схема расположения измерительного кабеля VOD PROCABLE при параллельном и последовательном измерении скорости детонации ВВ в нескольких скважинах

Оба кабеля используются для измерения скорости детонации взрывчатых веществ во взрывных скважинах и времени задержки между скважинами и колонками зарядов. Выбор кабеля зависит от полного сопротивления цепи, которое, в свою очередь, зависит от количества исследуемых скважин. Единственное различие между двумя рассматриваемыми кабелями имеет отношение к их номинальному или удельному сопротивлению. Удельное сопротивление зондового кабеля VOD PROCABLE «Зеленый» – 11,2 Ом/м, удельное сопротивление кабеля PROBECABLE-LR (LR означает Low-Resistance – низкое сопротивление) – 3,38 Ом/м. Последнее значение позволяет проводить запись скорости детонации на расстояниях до 850 м [2].

Зондовый стержень VOD PROBEROD-HR/HS (рис. 3) представляет собой калиброванный прочный зонд, состоящий из изолированного провода высокого сопротивления, помещенного в металлическую трубку небольшого диаметра, действующий как обратный провод цепи. Такие зонды специально разработаны для измерения скорости детонации взрывчатых веществ в картриджах и коротких трубчатых образцах, в ограниченных или неограниченных условиях [2].

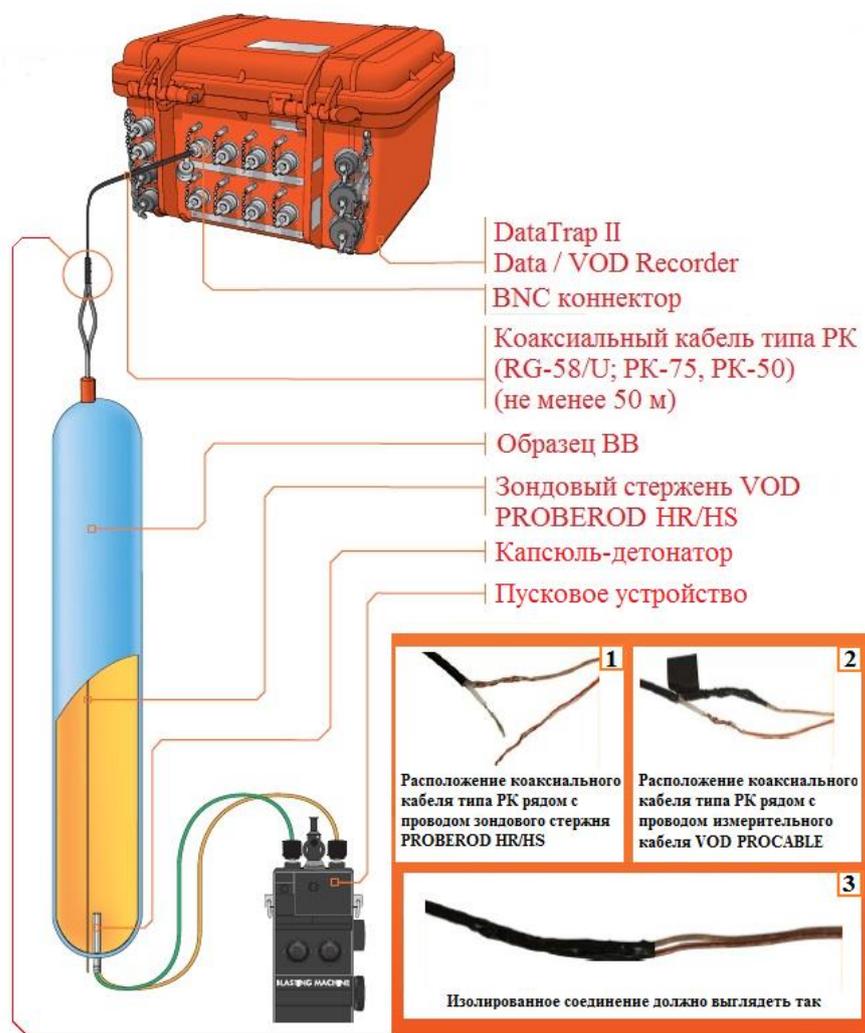


Рис. 3 – Схема расположения зондового стержня VOD PROBEROD HR/HS при измерении скорости детонации в образце ВВ

Метод измерения ускорения сейсмических колебаний для оценки сейсмического воздействия на здания и сооружения (далее объекты), расположенные вблизи взрывоопасных зон, основан на регистрации механических колебаний грунта в основании объекта с помощью трехосного пьезоэлектрического акселерометра ICP, преобразующего

механические колебания в электрические сигналы напряжения постоянного тока, с записью на регистрирующий прибор DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Комплект оборудования для измерения ускорения сейсмических колебаний состоит из 5-ти частей: трехосного пьезоэлектрического акселерометра ICP (модель 356A02), сигнального кабеля для подключения трехосного акселерометра ICP, трехканального преобразователя сигналов ICP (модель 480B21), BNC-кабелей и блока регистрирующей аппаратуры DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Метод измерения давления на фронте УВВ для оценки воздействия ударно-воздушной волны на остекление зданий и сооружений основан на регистрации колебаний диафрагмы чувствительного элемента датчика давления взрывной волны ICP карандашного типа, преобразующего механические колебания в электрические сигналы напряжения постоянного тока с записью на регистрирующий прибор DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Комплект оборудования для измерения давления на фронте УВВ состоит из 6-ти частей: датчиков давления взрывной волны ICP карандашного типа (модель 137B21B), сигнальных коаксиальных BNC-кабелей для подключения датчиков давления взрывной волны ICP карандашного типа, четырехканального усилителя высокочастотных сигналов ICP (модель 482C05), блока питания, BNC-кабелей и блока регистрирующей аппаратуры DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Схема измерения ускорения сейсмических колебаний и давления на фронте УВВ представлена на рис. 4.

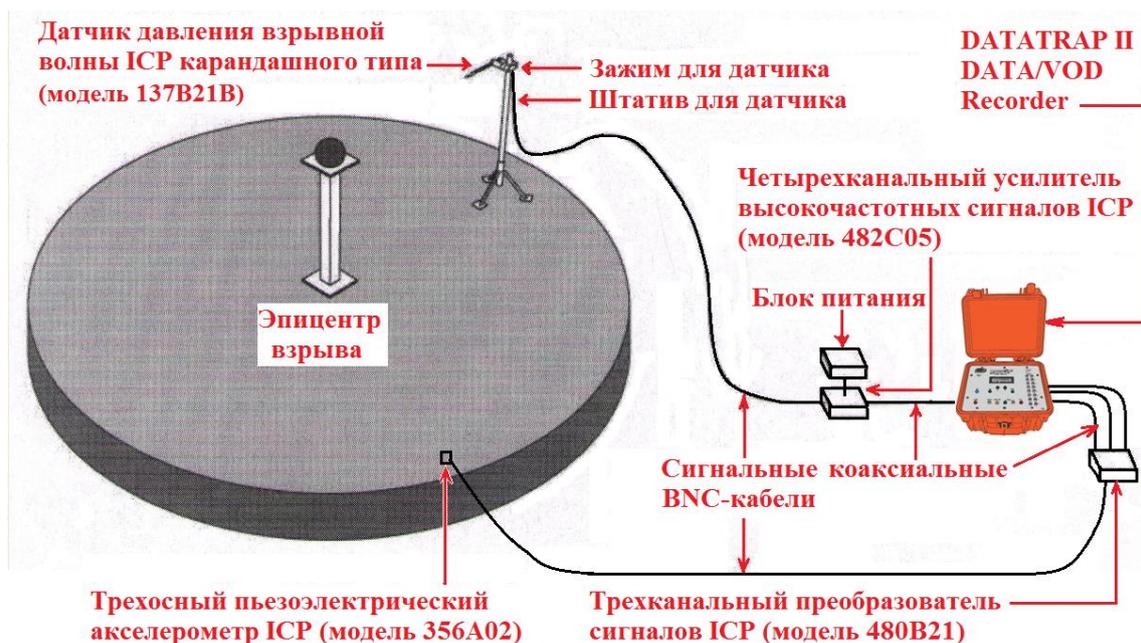


Рис. 4 – Схема измерения ускорения сейсмических колебаний и давления на фронте УВВ

Применение прибора DATATRAP II DATA/VOD Recorder совместно с имеющейся аппаратной базой ИГД УрО РАН позволяет получать более точные стандартные и дополнительные измерения основных свойств взрывчатых веществ, таких как скорость и длительность детонации, детонационное давление при испытании порошкообразных, гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ как на испытательном полигоне, так и в технологических скважинах, а также параметры взрыва и его воздействия на окружающую среду, такие как скорость смещения, ускорение сейсмических колебаний и давление на фронте УВВ.

К примеру, на предприятии ООО «АВТ-Урал» (ОАО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК») с помощью данного комплекта оборудования были определены фактические интервалы замедления между скважинами во взрывааемом блоке и скорости детонации ВВ «Нитронит Э-70» в отдельных технологических скважинах. Схематические разрезы исследуемой группы скважин и графики результатов измерений представлены на рис. 5 и 6.

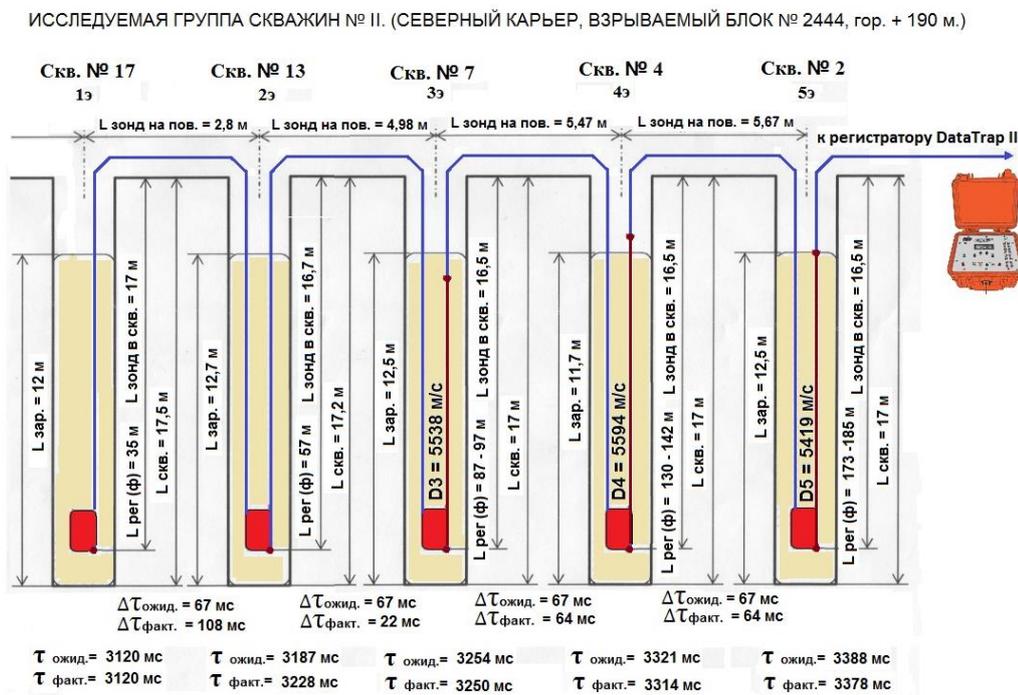


Рис. 5а – Схематический разрез исследуемой группы скважин № II при определении фактических интервалов замедлений между скважинами и скорости детонации ВВ

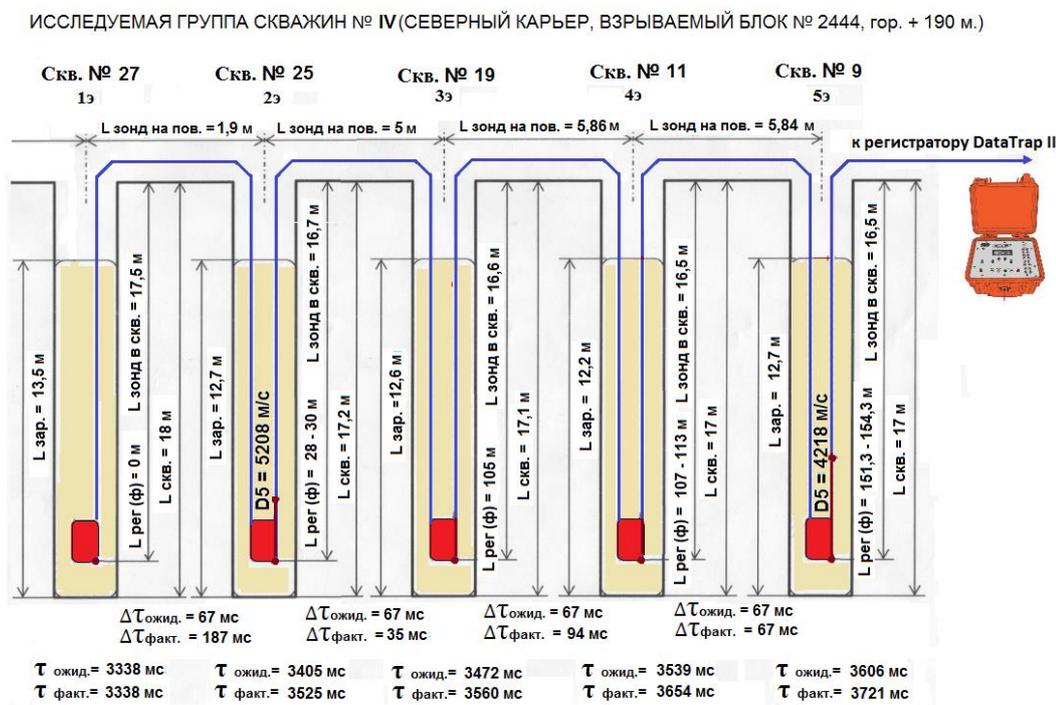


Рис. 5б – Схематический разрез исследуемой группы скважин № IV при определении фактических интервалов замедлений между скважинами и скорости детонации ВВ

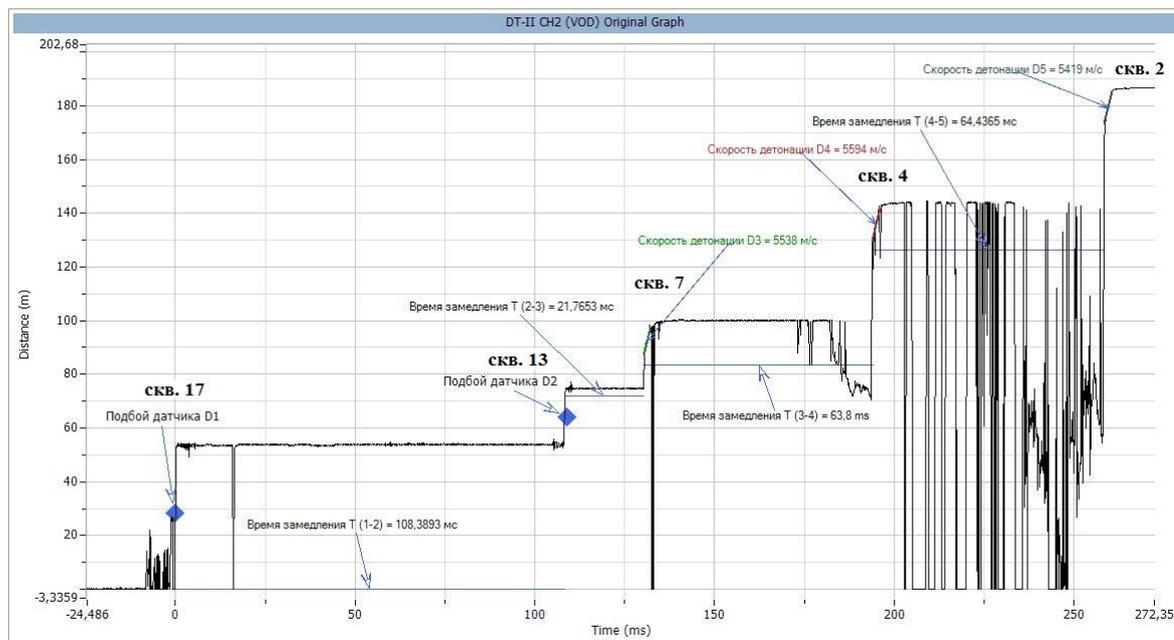


Рис. 6а – График результатов измерений фактических интервалов замедлений между скважинами исследуемой группы № II и скорости детонации ВВ

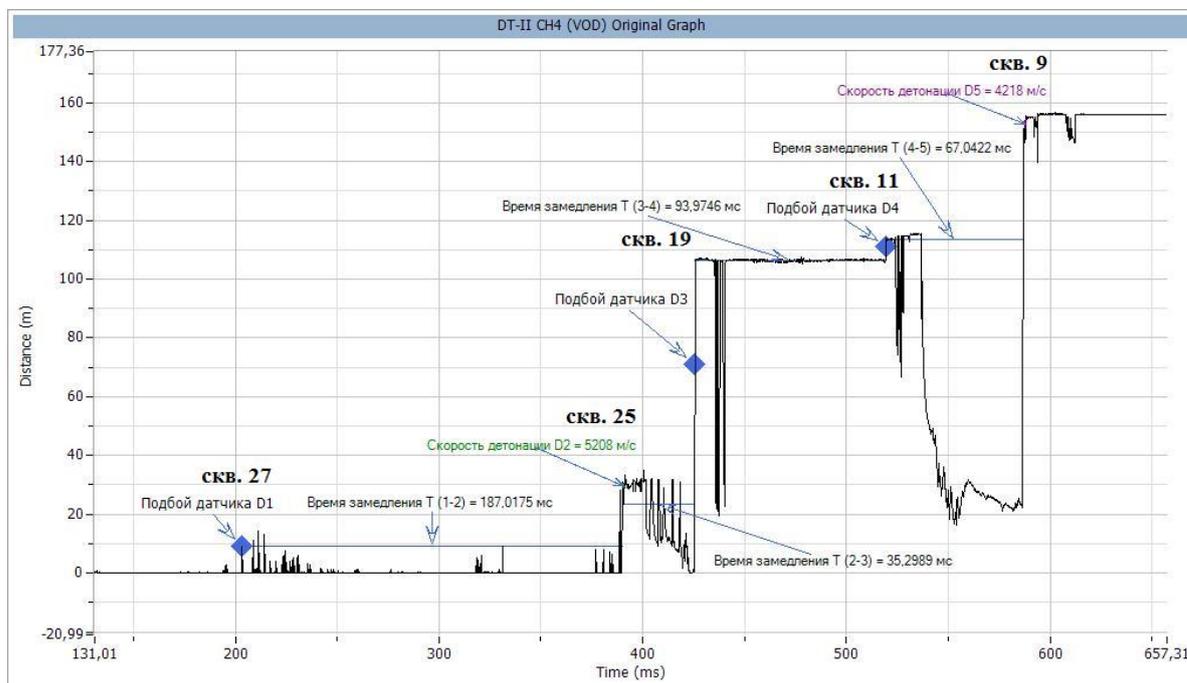


Рис. 6б – График результатов измерений фактических интервалов замедлений между скважинами исследуемой группы № IV и скорости детонации ВВ

Результаты экспериментальных измерений фактических интервалов замедления между скважинами и скорости детонации ВВ представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты измерений фактических интервалов замедлений между скважинами и скорости детонации
ЭВВ «Нитронит Э-70» в технологических скважинах**

Дата массового взрыва и инструментальных замеров		11.11.2015 г.									
Карьер, № гор., № блока		«Северный», гор. +190 м, блок № 2444									
Тип ВВ		Нитронит Э-70									
Промежуточный детонатор		ПТ-П750/2									
Система инициирования		Электронная система взрывания DaveyTronic									
Диаметр скважины, мм		250									
Масса ВВ в скважине, кг		820			885		820				
Плотность ВВ, г/см ³		1,112			1,116		1,124		1,112		
Группы скважин		II					IV				
№ скважин		17	13	7	4	2	27	25	19	11	9
Расстояние между скважинами, м		2,8		5,47			1,9		5,86		
		4,98			5,67			5		5,84	
Сопротивление измерительного кабеля в скважине, Ом		66,5	125,7	131,8	133,4	134,1	61,5	122,7	132,5	134,7	134,7
Глубина скважины, м		17,5	17,2	17			18	17,2	17,1	17	
Длина заряда ВВ в скважине, м		12	12,7	12,5	11,7	12,5	13,5	12,7	12,6	12,2	12,7
Длина забойки в скважине, м		5,5	4,5		5,3	4,5				4,8	4,3
Скорость детонации ВВ, м/с		-	-	5538	5594	5419	-	5208	-	-	4218
Время детонации основного заряда ВВ в скважине, мс		-	-	2,35	2,2	2,25	-	0,35	-	-	0,75
Интервал замедления между скважинами, мс	программируемый	3120	3187	3254	3321	3388	3338	3405	3472	3539	3606
		67		67			67		67		
		67			67			67		67	
	фактический	3120	3228	3250	3314	3378	3338	3525	3560	3654	3721
		108,389		63,8			187,018		93,975		
		21,765			64,437			35,299		67,042	

Данное научное оборудование используется для выполнения фундаментальных научных исследований по основной тематике ИГД УрО РАН, программам Президиума РАН, ОНЗ РАН, а также в научно-исследовательских работах в рамках реализации Стратегии УрО РАН до 2025 года, связанной с ускоренным изучением и освоением Северных территорий России и программы «Урал Полярный – Урал Промышленный».

Литература

1. Лоскутова Л.А. Определение скорости быстропротекающих процессов / Л.А. Лоскутова, А.П. Егоров, А.С. Козлов; СПбГТИ. – СПб., 2002. – 17 с.
2. Руководство по использованию измерителя скорости детонации. DataTrap II DATA/VOD Recorder. Редакция 3.0. – MREL Group of Companies Limited, Kingston, Canada, 2013. – 102 с.
3. Методика измерений скорости детонации взрывчатых веществ реостатным методом с использованием измерителя скорости детонации VODMate («Instantel», Канада). Стандарт организации СТО 01.01.004 – 2011 / ИГД УрО РАН. - Екатеринбург, 2011. – 17 с.