

УДК: 622.235.213

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.042

**Котяшев Альберт Александрович**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
лаборатория разрушения горных пород,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58.

**Kotyashev Albert A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Research Worker,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА  
СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК  
ЭМУЛЬСИОННЫХ ВВ,  
ИЗГОТОВЛЕННЫХ ВБЛИЗИ МЕСТ  
ИХ ПРИМЕНЕНИЯ\*****EXPERIMENTAL ESTIMATION  
OF PRO-PERTIES AND  
CHARACTERISTICS OF EMULSION  
EXPLOSIVES MANUFACTURED  
NEAR THE PLACE OF APPLICATION***Аннотация:*

Определены экспресс-методом реальные величины свойств и характеристик ЭВВ – порэмита 1А, а именно: плотности и скорости детонации в процессе заряжания и последующего взрывания скважинных зарядов в условиях карьеров ПАО «Ураласбест», что позволило дать рекомендации по корректировке исходных показателей при проектировании технологических взрывов. Выявлены основные особенности и закономерности варьирования названных параметров во взаимосвязи. Даны рекомендации по повышению эффективности подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом в условиях разработки сложноструктурных асбестовых месторождений сырья.

*Abstract:*

The paper determines the real values and characteristics emulsion explosives - Poremit 1A by express method, namely, the density and detonation rate during loading and subsequent blasting of borehole charges in the conditions of PAO Uralasbest open-pits, which made it possible to give recommendations for adjusting the initial indicators when designing technological explosions. The main features and regularities of variation those parameters in their interaction are revealed. The paper includes recommendations to improve the efficiency of preparing rock mass for drilling and blasting in the development conditions of complex structural deposits of asbestos raw materials.

*Ключевые слова:* эмульсионные взрывчатые вещества, порэмит 1А, плотность заряжания, скорость детонации.

*Keywords:* emulsion explosives, Poremit 1A, powder-loading density, velocity of detonation.

*Введение*

Буровзрывной способ дезинтеграции локальных массивов на открытых горных разработках остается на ближайшую перспективу доминирующим и наиболее экономичным. Действие взрыва в среде и интенсивность дробления горных пород зависят от значительного количества факторов.

*Анализ и обсуждение*

Факторами, в значительной мере определяющими необходимую степень дробления горных пород на предприятиях по добыче минерального сырья, являются свойства и характеристики взрывчатых веществ, которые должны максимально соответствовать параметрам и свойствам разрушаемой среды, с целью достижения минимальных затрат на подготовку горной массы к выемке и дальнейшей доставке в пункты приема и переработки скальных пород и руд, расположенных на земной поверхности.

При разрушении локальных массивов, кроме мощности взрывчатых веществ, значительную роль играет давление, развиваемое при взрыве скважинных зарядов, поскольку оно является функцией от плотности заряжания и скорости детонации. Эти три фактора в условиях практического применения эмульсионных взрывчатых смесей требуют особого внимания.

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-00293-19-00, тема № 0405-2016-0001.

При проектировании и подготовке технологических взрывов на карьерах чаще всего используют показатель – плотность заряжения (кг/м длины заряда), поскольку он позволяет рассчитать вес взрывчатых веществ (ВВ) при любой длине и конструкции заряда. Для разрушения единицы объема или веса определенного типа породы необходим соответствующий заряд взрывчатого вещества, поэтому плотность заряжения также значительно влияет и на выбор диаметра скважин.

В ряде конкретных случаев, при значительной линии сопротивления по подошве (ЛСПП), для размещения расчетного заряда возникает необходимость увеличить диаметр скважин, а иногда приходится снижать плотность заряжения путем рассредоточения заряда по высоте скважины. Плотность взрывчатых веществ и взрывчатых смесей промышленного назначения обычно варьирует в пределах от 0,8 до 1,6 г/см<sup>3</sup>, что, в конечном итоге, предопределяет высоту колонки скважинного заряда и, соответственно, качество подготовки горной массы к выемке.

Перед проведением исследований по оценке эффективности применения ЭВВ в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» возникла задача получения достоверной информации о фактических параметрах, плотности заряжения скважин порэммитом 1А, изготовленным в смесительно-зарядной машине (СЗМ), и скорости детонации скважинных зарядов, поскольку было выявлено их варьирование.

#### *Цель исследований*

Экспериментальное определение физических свойств и характеристик эмульсионных взрывчатых веществ местного изготовления.

#### *Методология исследований*

При проведении исследований использованы методы производственного эксперимента, системного и корреляционно-регрессионного анализа, натуральных наблюдений, теории вероятностей и математической статистики.

Действие взрыва при разработке сложноструктурных месторождений открытым способом характеризуется рядом специфических особенностей, затрудняющих создание единой физической модели процесса разрушения локальных массивов горных пород.

К ним следует отнести структурную неоднородность среды, нестационарный характер распространения в ней поля напряжений, высокую скорость процесса деформации, отклонения параметров (сетки и глубины скважин) от проектных показателей (рис. 1 – 3) и ряд других.

Анализ ранее выполненных исследований свидетельствует, что разрушаемые породные и рудные массивы характеризуются сложной геологической текстурой, представленной различными направлениями плоскостей наслоения, складчатостью и пространственной системой трещин разных размеров и густоты. При больших объемах разрушения структурные особенности строения скальных массивов, а также свойства и характеристики применяемых ВВ существенно влияют на эффективность буровзрывного комплекса [1 – 5].

В этих условиях было принято решение определять исходную плотность заряжения скважин порэммитом 1А экспресс-методом непосредственно в карьерных условиях в процессе изготовления эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) в СЗМ.

Замеры проводились на Центральном и Южном участках карьера:

а) Центральный участок, гор.-28 м, Восточный борт, блок № 130, экскаватор № 88; гор. -122 м, Западный борт, блок № 113, экскаватор № 329; гор. -28 м, Восточный борт, блок № 108 П, экскаватор № 294, СЗМ МЗВ-8-1, МЗВ-8-2, МЗВ-15-1.

б) Южный участок карьера, гор. - 47 м, Восточный борт, блок № 90-2, экскаватор № 334; гор. -107 м, Западный борт, блок № 124-2, экскаватор № 262, СЗМ МЗВ-8-3, МЗВ-10-1, МЗВ-15-1.



Рис. 1. Тренд варьирования глубины пробуренных скважин, карьер Южный, борт Восточный, гор. 62/47, блок № 197

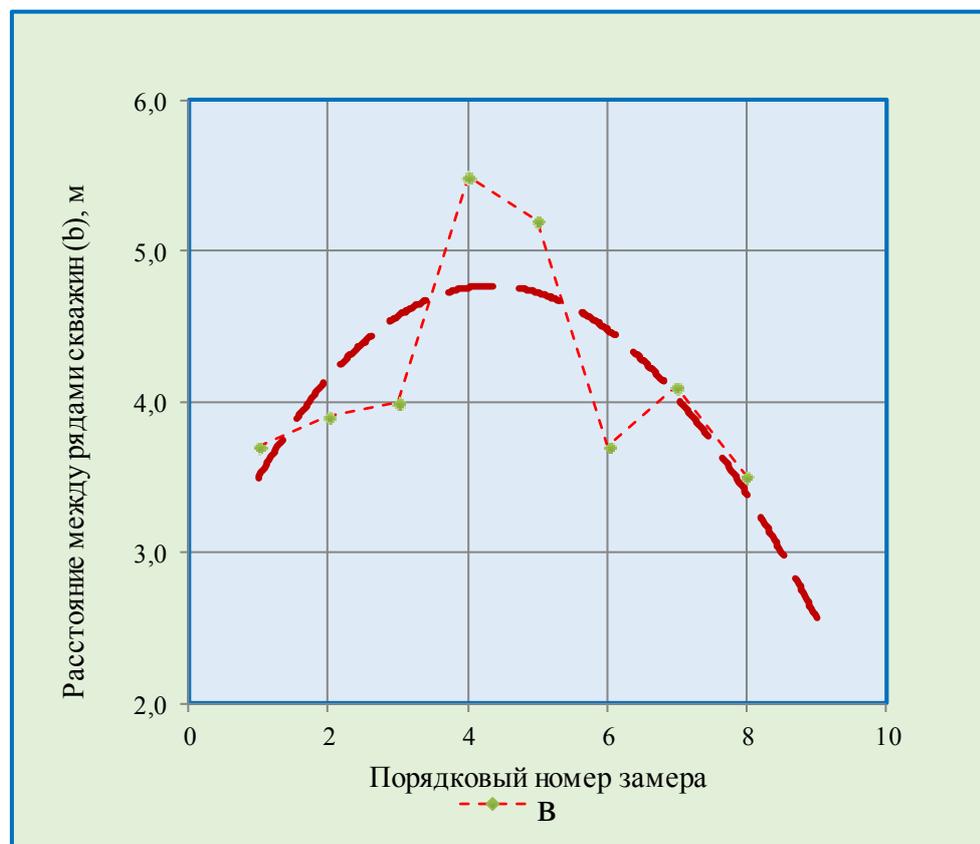


Рис. 2. Тренд варьирования расстояний между рядами скважин, карьер Южный, борт Восточный, гор.62/47, блок №197

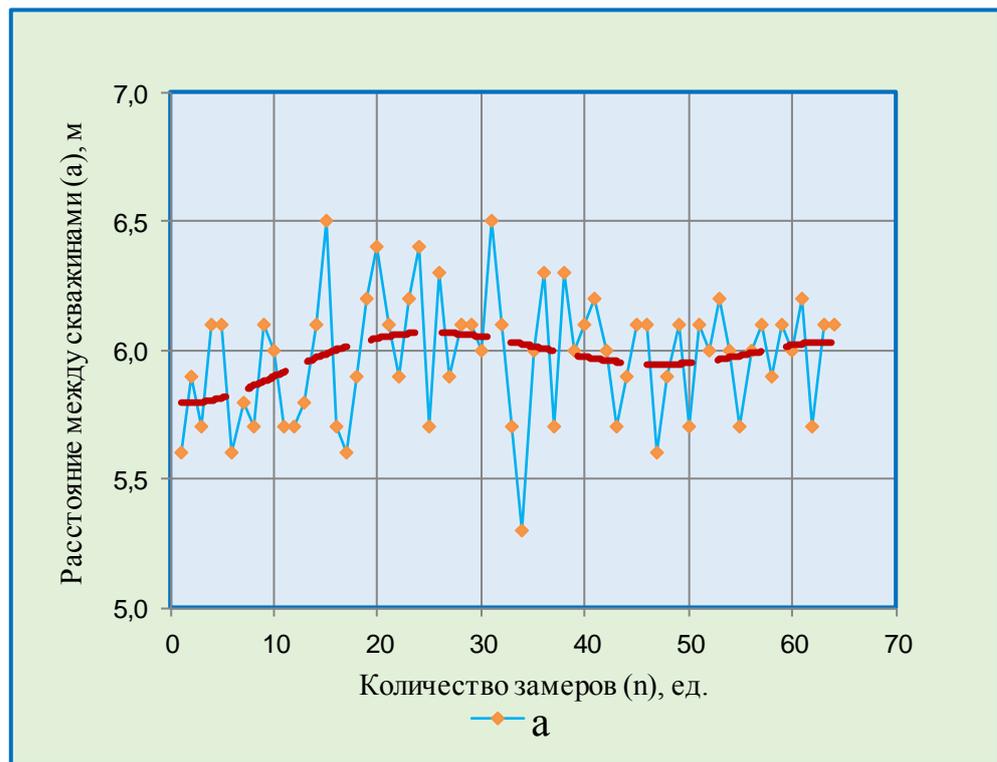


Рис. 3. Тренд варьирования расстояний между скважинами, карьер Южный, борт Восточный, гор. 62/47, блок № 197

На фото 1 показан процесс зарядки скважин на опытном блоке смесительно-зарядной машиной МЗВ-15.



Фото 1. Зарядка скважин на локальном блоке СЗМ МЗВ –15

Во взрывчатых веществах местного изготовления значения теплоты взрыва, скорости детонации, критического диаметра изменяются в зависимости от рецептуры, условий изготовления, заряжания и взрывания скважинных зарядов. На их величину существенное влияние оказывают негативные факторы, обусловленные горно- и гидрогеологическими условиями разработки месторождений.

Так, для ВВ одним из основных негативных факторов является обводненность скважин. В обводненной скважине компоненты заряда могут расслаиваться, то есть часть нефтепродукта, обедняя заряд, всплывает на поверхность, а часть аммиачной селитры растворяется в воде. Осушение скважин или изоляция скважинных зарядов от внешней среды нетехнологичны и, естественно, не нашли широкого применения на практике. Отрицательное влияние обводненности при производстве взрывных работ частично компенсируется использованием эмульсионных взрывчатых смесей, обладающих высокой водоустойчивостью.

В процессе исследований определены реальные значения и закономерности изменения исходной плотности порэмита 1А при заряжании скважин под столб воды, которые приведены на рис. 4, 5 и в табл. 1 – 3.

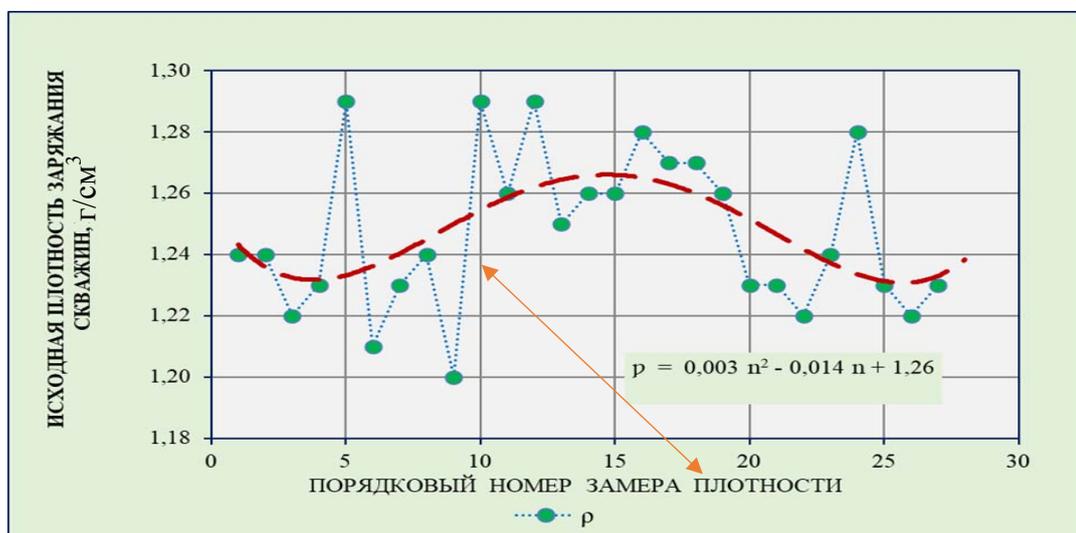


Рис. 4. Тренд изменения исходной плотности заряжания скважин МЗВ-15 порэмитом 1А на экспериментальном блоке

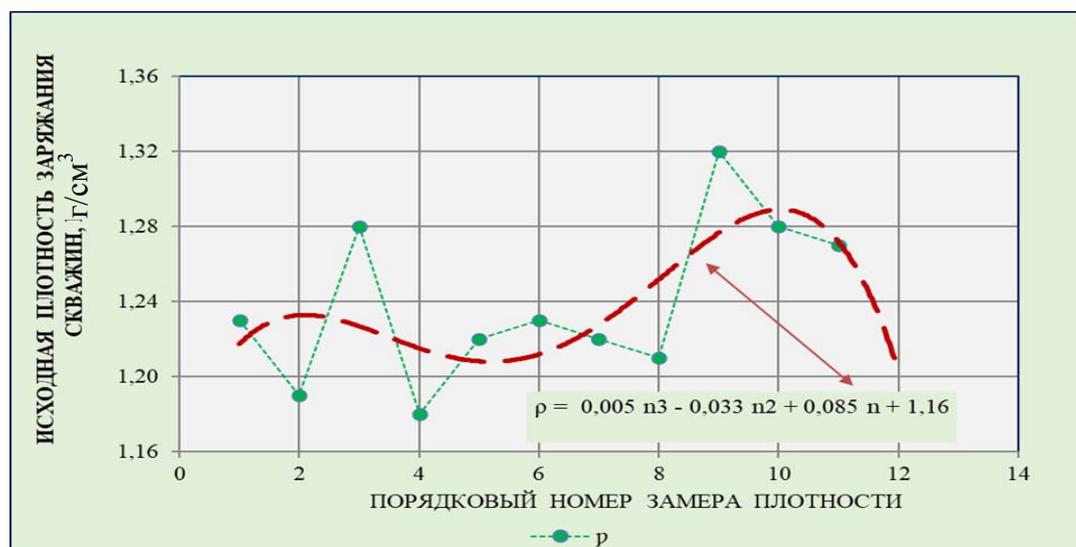


Рис. 5. Тренд изменения исходной плотности заряжания скважин МЗВ – 8 порэмитом 1А на экспериментальном блоке

Таблица 1

**Показатели исходной плотности заряжения скважин порэмитом 1А**

Наименование показателей	Марка и грузоподъемность смесительно-зарядной машины				
	МЗВ-8-1	МЗВ-8-2	МЗВ-8-3	МЗВ-10-1	МЗВ-15-1
Количество замеров, ед.	14	12	16	15	17
Плотность заряжения, г/см <sup>3</sup>	1,11 – 1,30	1,11 – 1,24	1,06 – 1,26	1,02 – 1,32	1,08 – 1,29

Оптимальная величина интервала ( $h$ ) определялась по формуле [7]

$$h = 1,32 - 1,02 / 1 + 3,2 \lg 71 \quad (1)$$

и составила – 0,10 г/см<sup>3</sup>.

Следовательно, принимаем следующие интервалы:

1,00 – 1,10; 1,10 – 1,20; 1,20 – 1,30; 1,30 – 1,40.

Данные из табл.1 разнесены в рабочую табл. 2.

Таблица 2

**Систематизация замеров исходной плотности заряжения**

Интервалы измерений	Количество измерений плотности в каждом интервале
1,00 – 1,10	***
1,10 – 1,20	*****
1,20 – 1,30	*****
1,30 – 1,40	***

На основании рабочей табл. 2 получен следующий вариационный ряд (табл.3):

Таблица 3

**Группировка показателей плотности порэмита 1А**

Плотность ЭВВ, г/см <sup>3</sup>	Количество измерений плотности (частоты)	Центр интервала
1,00 – 1,10	3	1,05
1,11 – 1,20	38	1,15
1,21 – 1,30	30	1,25
1,31 – 1,40	3	1,35
Итого	74	-

Вариационный ряд графически изображен на рис. 6.

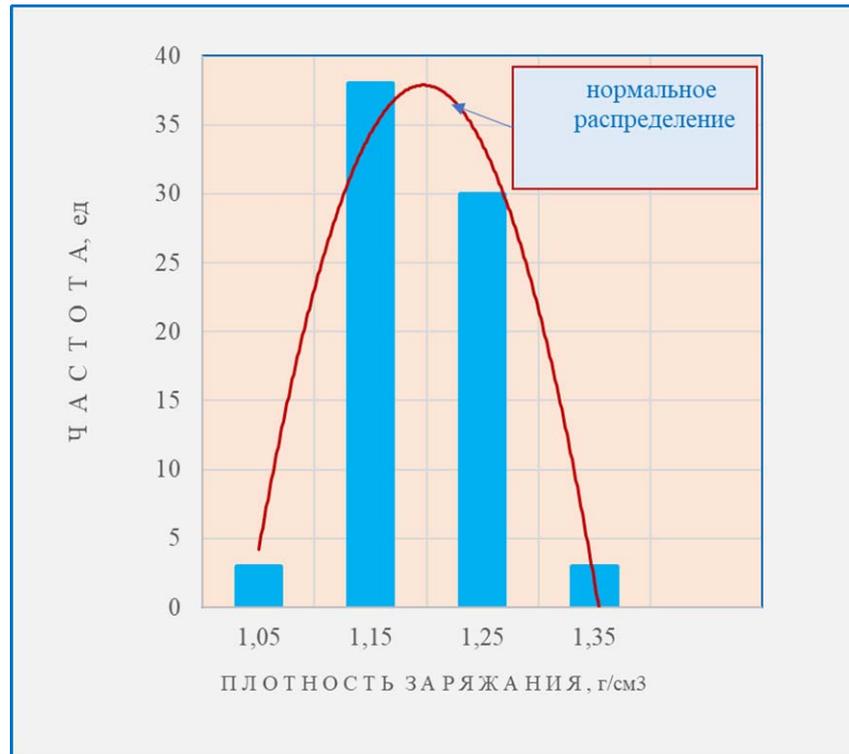


Рис. 6. Закономерность изменения исходной плотности заряжения скважин порэмитом 1А под столб воды

Ниже приведены численные характеристики распределения:

а) математическое ожидание измеряемого параметра по формуле:

$$M(X) = \sum X_i \cdot P_i = 1,2 \text{ г/см}^3; \quad (2)$$

б) размах варьирования плотности заряжения скважин порэмитом 1А:

$$R = X_{\max} - X_{\min};$$
$$R = 1,32 - 1,02 = 0,30 \text{ г/см}^3; \quad (3)$$

в) дисперсия

$$D(\sigma^2) = \sum (X_i - X_{\text{cp}})^2 / n;$$
$$D = 0,38/71 = 0,005; \quad (4)$$

г) среднее квадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{D}; \quad \sigma = \sqrt{0,005} = 0,07 \quad (5)$$

д) коэффициент вариации по среднеквадратическому отклонению

$$V_{\sigma} = \sigma / X_{\text{cp}} \cdot 100 \%; \quad (6)$$
$$V_{\sigma} = 0,07/1,2 \cdot 100 \% = 5,9 \%.$$

Скорость детонации скважинных зарядов определялась «непрерывным способом» с применением комплекта измерительной аппаратуры «VOD Mate» («InstanTel» Канада) (Фото 2).

Результат замера  $V_d = 2658$  м/с. Исходная плотность ( $\rho$ ) =  $1,274$  г/см<sup>3</sup>

В процессе исследований определены реальные величины и установлена закономерность изменения средней скорости детонации зарядов порэмита 1А от исходной плотности, которая приведена на рис. 7.

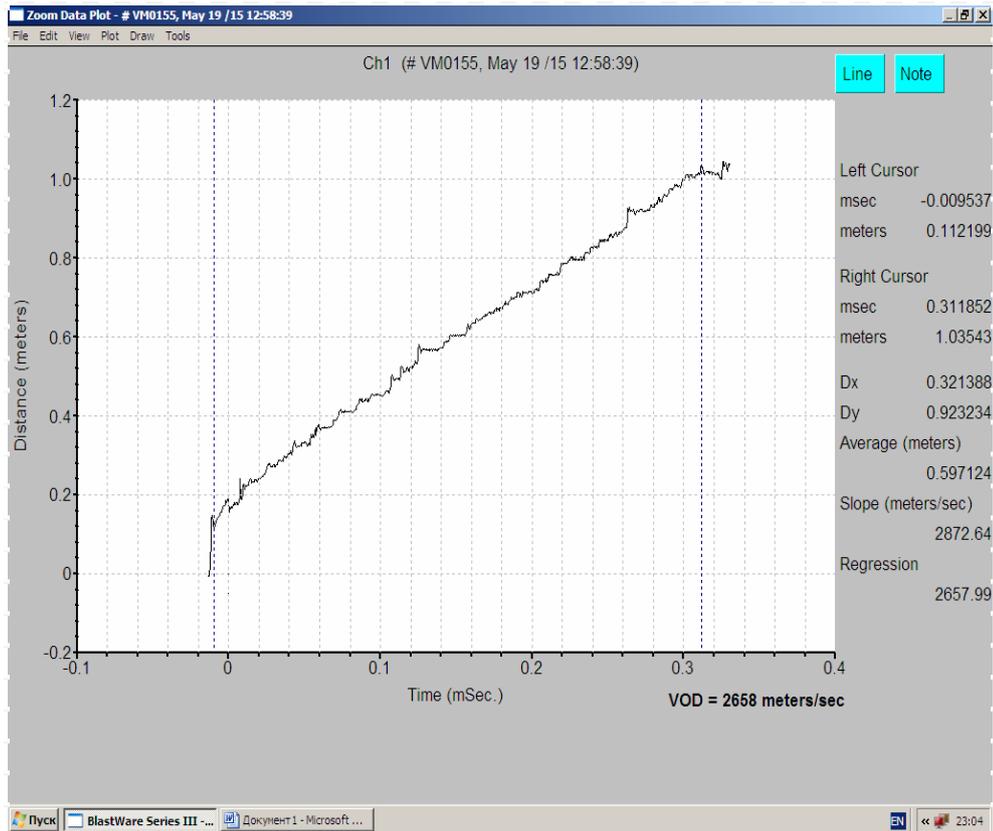


Фото 2. Замер № 1. Скорость детонации заряда порэмита-1А

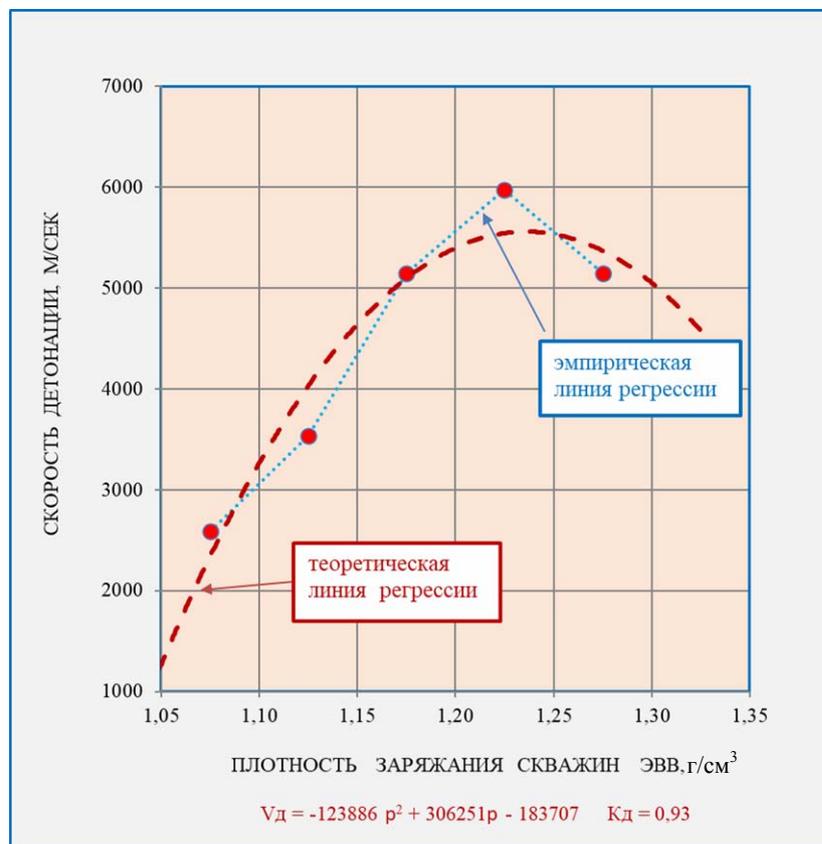


Рис. 7. Закономерность изменения скорости детонации скважинных зарядов от плотности порэмита 1А

### *Результаты выполненных исследований:*

- экспресс-методом, в карьерных условиях в процессе заряжания скважин определена реальная величина и пределы варьирования исходной плотности Порэмита 1А в скважинных зарядах;
- выявлены причины варьирования высоты колонки скважинных зарядов при подготовке технологических взрывов, а именно:
  - а) отклонения параметров скважин от проектных показателей при обустройстве локальных массивов до 50 % от общего количества;
  - б) варьирование исходной плотности порэмита 1А в процессе заряжания скважин СЗМ в диапазоне от 1,02 до 1,32 г/см<sup>3</sup>;
- проведены опытно-промышленные взрывы по дезинтеграции локальных массивов, сложенных особо трудно взрываемым перидотитом V категории взрываемости, при диаметре скважин 215,9, 230 и 244,5 мм;
- установлены взаимосвязи изменения высоты колонки скважинных зарядов от плотности заряжания и диаметра скважин;
- установлена закономерность изменения скорости детонации скважинных зарядов от исходной плотности ЭВВ (Порэмита 1А);
- даны рекомендации по уточнению исходных показателей при проектировании технологических взрывов на карьере ПАО «Ураласбест».

### *Область применения результатов*

Результаты исследований целесообразно использовать при проектировании и подготовке технологических взрывов и управлении энергией взрывного разрушения локальных массивов на открытых горных разработках для получения требуемого фракционного состава во взорванной горной массе.

### *Выводы*

Сокращение затрат на дезинтеграцию локальных массивов на карьере ПАО «Ураласбест» возможно за счет устранения варьирования плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси СЗМ в процессе заряжания скважин, уточнения исходных показателей при проектировании технологических взрывов с учетом структуры локальных массивов и отклонений от проектных параметров при бурении и заряжании скважин, корректировки «Типового проекта взрывных работ», определяющих в совокупности величину затрат на буровзрывную подготовку горной массы к выемке и дальнейшей переработке.

### **Список литературы**

1. Кутузов Б.Н., 1992. *Разрушение горных пород взрывом*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство МГИ, 516 с.
2. Мосинец В.Н., 1976. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. Москва: Недра, 271 с.
3. Дубнов Л.В., Бахаревиц Н.С., Романов А.И., 1982. Промышленные взрывчатые вещества. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Недра, 327 с.
4. Котяшев А.А., Шеменев В.Г., Русских А.А., Пахряев Б.В., 2015. Оперативное определение свойств и характеристик ЭВВ вблизи мест их применения. *Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-техн. конф., 2014 г.* Екатеринбург: АМБ, С. 31 – 37.
5. Котяшев А.А., Пахряев Б.В., Русских А.П., 2016. Опыт эксплуатации смесительно-зарядных машин в условиях карьеров ОАО «Ураласбест». *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIV международной научно-*

технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека. Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, С. 72 – 77.

6. Дружинин Н.К., 1977. *Выборочное наблюдение и эксперимент*. Москва: Статистика, 176 с.

### References

1. Kutuzov B.N., 1992. *Razrushenie gornykh porod vzryvom* [Explosive rock destruction]. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Izdatel'stvo MGI, 516 p.

2. Mosinets V.N., 1976. *Drobyashchee i seismicheskoe deistvie vzryva v gornykh porodakh* [Crushing and seismic action of explosion in rock masses]. Moscow: Publ. Nedra, 271 p.

3. Dubnov L.V., Bakharevich N.S., Romanov A.I., 1982. *Promyshlennyye vzryvchatyye veshchestva* [Industrial explosives]. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Nedra, 327 p.

4. Kotyashev A.A., Shemenov V.G., Russkikh A.A., Pakhryaev B.V., 2015. *Operativnoe opredelenie svoystv i kharakteristik EVV vblizi mest ikh primeneniya* [Operational determination of properties and characteristics of EEM near the places of their exercising]. *Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh работ: materialy nauchno-tekhn. konf.*, 2014 g. Ekaterinburg: Publ. AMB, P. 31 – 37.

5. Kotyashev A.A., Pakhryaev B.V., Russkikh A.P., 2016. *Opyt ekspluatatsii smesitel'no-zaryadnykh mashin v usloviyakh kar'erov OAO "Uralasbest"* [Operation experience of mixing-and-charging machines in the conditions of open-pit mines of OOO "Uralasbest"]. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoi i neftegazovoi promyshlennosti: sbornik trudov KhIV mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Chteniya pamyati V.R. Kubacheka*. Ekaterinburg; Ural'skii gosudarstvennyi gornyi universitet, P. 72 – 77.

6. Druzhinin N.K., 1977. *Vyborochnoe nablyudenie i eksperiment* [Selective observation and experiment]. Moscow: Publ.Statistika, 176 p.