

## ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ КАРЬЕРА

И.А. Аленичев<sup>1</sup>, Р.А. Рахманов<sup>2</sup>, И.Л. Шубин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Полюс Проект», Красноярск, Россия,  
e-mail: AlenichevIA@polyusgold.com

<sup>2</sup> ООО «УК Полюс», Москва, Россия

<sup>3</sup> АО «Davey Bickford Enaex», Россия

**Аннотация:** Представлены результаты научно-исследовательских работ по оценке действия взрыва скважинного заряда в ближней зоне. Выполнен подробный анализ аспектов повреждения борта карьера от производства массовых взрывов в зависимости от механизма разрушения горных пород. Установлено, что основными факторами, которые способствуют образованию новых трещин и расширению существующих в ближней зоне, являются высокая амплитуда скоростей смещения частиц породы и запредельное давление газообразных продуктов детонации взрывчатого вещества. Подробно описаны и реализованы экспериментальные взрывы, цель которых заключалась в непосредственном измерении скоростей смещения частиц породы внутри массива в результате взрыва скважинного заряда в ближней зоне, а также определении коэффициента фильтрации отрезной щели. Обработка и анализ полученных результатов измерений выполнялись по шведской модели Holmberg and Persson, позволяющей не только интерпретировать, но и в дальнейшем оценивать скорость смещения частиц породы в любой исследуемой точке массива. Параллельно с оценкой скоростей смещения определен коэффициент фильтрации отрезной щели, который в зависимости от расстояния до щели и конструкции заряда составляет от 52—61%, что является хорошим результатом реализации процесса заоткоски. В ходе построения моделей разрушения установлено, что в виду ряда недостатков модель H&P является консервативной и несколько переоценивает реальный уровень вибраций. Несмотря на недостатки, модель применима и может использоваться в проектировании параметров буровзрывных работ, но требует некоторой калибровки, заключающейся в установлении реальных критериев разрушения горных пород при динамическом воздействии скважинного заряда.

**Ключевые слова:** конечный контур карьера, буровзрывные работы, скважинный заряд, предварительное щелеобразование, скорость смещения частиц, ближняя зона взрыва, модель Холмберга и Пирсона, моделирование.

**Для цитирования:** Аленичев И. А., Рахманов Р. А., Шубин И. Л. Оценка действия взрыва скважинного заряда в ближнем поле с целью оптимизации параметров буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4. – С. 85–95. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-85-95.

---

## Assessment of near-field blast effect toward optimized drilling-and-blasting in pit wall rock mass

I.A. Alenichev<sup>1</sup>, R.A. Rakhmanov<sup>2</sup>, I.L. Shubin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LLC «Polyus Project», Krasnoyarsk, Russia, e-mail: AlenichevIA@polyusgold.com

<sup>2</sup> UK Polyus LLC, 123056, Moscow, Russia

<sup>3</sup> JSC «Davey Bickford Enaex», Russia

---

**Abstract:** The article presents the scientific research findings on the effect of a borehole charge blast in the near field. The detailed analysis of pit wall damages under massive blasting is performed depending on the rock fracture mechanism. It is found that basic factors to contribute to initiation and opening of fractures in the near field are the high peak particle velocities and post-limiting pressure of gaseous products of explosive detonation. The experimental blasts are described in detail and implemented. The aim of the experimental blasting was to measure PPV directly in rock mass, in the near field of a blasthole charge, and to determine the permeability factor of a separatory slot. The measurement results were processed and analyzed using the Sweden model Holmberg & Persson which allows interpreting and estimating PPV at any point of rock masses. Alongside with PPV, the permeability factor of a separatory slot was determined, which ranged as 52 to 61 % depending on the distance to the slot and on the explosive charge design. The obtained value is reflective of the good quality of cut-back in the pit. The fracture modeling has shown that H & P model is conservative and overestimates the actual level of vibrations. Despite the shortcomings, the model is applicable in drilling-and-blasting pattern design though it needs some calibration using the real-life criteria of rock fracture under the dynamic impact of borehole charge blasting.

**Key words:** ultimate pit limit, drilling-and-blasting, blasthole charge, preliminary slotting, peak particle velocity, blast near field, Holmberg & Persson model, modeling.

**For citation:** Alenichev I. A., Rakhmanov R. A., Shubin I. L. Assessment of near-field blast effect toward optimized drilling-and-blasting in pit wall rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(4):85-95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-85-95.

---

### Введение

Процесс дробления горных пород буровзрывным способом на сегодня является наиболее экономически эффективным методом подготовки пород к выемке и погрузке в большие объемы. Технологией БВР не только производится дробление горных пород под требуемый кондиционный кусок, регламентированный дальнейшим процессом переработки, но и оформляется конечный контур карьера, в ходе реализации которого подход к буровзрывному дроблению пород меняется исходя из приоритета обеспечения безопасности горных работ. Однако, несмотря на этот факт, на многих горнодобывающих предприятиях взрывы, производимые вблизи пре-

дельного контура карьера, продолжают проектироваться по общепринятым параметрам размещения и зарядания скважин характерных для всех участков карьера без разделения на рабочий и приконтурный блоки. При этом без внимания остается негативная сторона взрыва, выраженная в чрезмерном и неконтролируемом воздействии энергии, которая способствует образованию новых трещин и раскрытию существующих, на законтурный массив карьера. В будущем оформленный таким образом конечный уступ или борт в целом под воздействием очередных порций толчков еженедельных массовых взрывов начинает осыпаться, изменять свои проектные очертания, понижая тем са-

мым уровень безопасности горных работ в пределах рассматриваемого участка карьера. В статье рассмотрен вариант контроля уровня вибрации при производстве взрывных работ в ближней к заряду зоне.

### Теория вопроса

Обрушение или потеря устойчивости борта карьера влечет за собой экономические последствия и зачастую угрожает жизни людей. В некоторых случаях оно может привести к полному закрытию карьера и невозможности дальнейшей разработки месторождения. Обрушение обычно возникает из-за определенной формы структурной слабости массива горных пород, например такой, как крупный, неблагоприятно ориентированный разлом, слоистость или плоскость отдельности. Во всех случаях взрывные работы влияют на возможность и сроки

обрушения, хотя основной причиной обрушения, безусловно, является наличие подобных структур в массиве [1–6]. В случаях, когда структура пород ориентирована более благоприятно, обрушение борта может и не произойти, однако сами по себе взрывные работы, производимые в непосредственной близости или на контакте с предельным контуром карьера, способствуют образованию плоскостей ослабления.

На рис. 1 приведены основные аспекты повреждения борта карьера от производства массовых взрывов, которые в зависимости от механизма разрушения можно разделить на две группы:

- образование новых и расширение существующих трещин в ненарушенном массиве;
- смещение по поверхностям неблагоприятно ориентированных трещин и разломов.

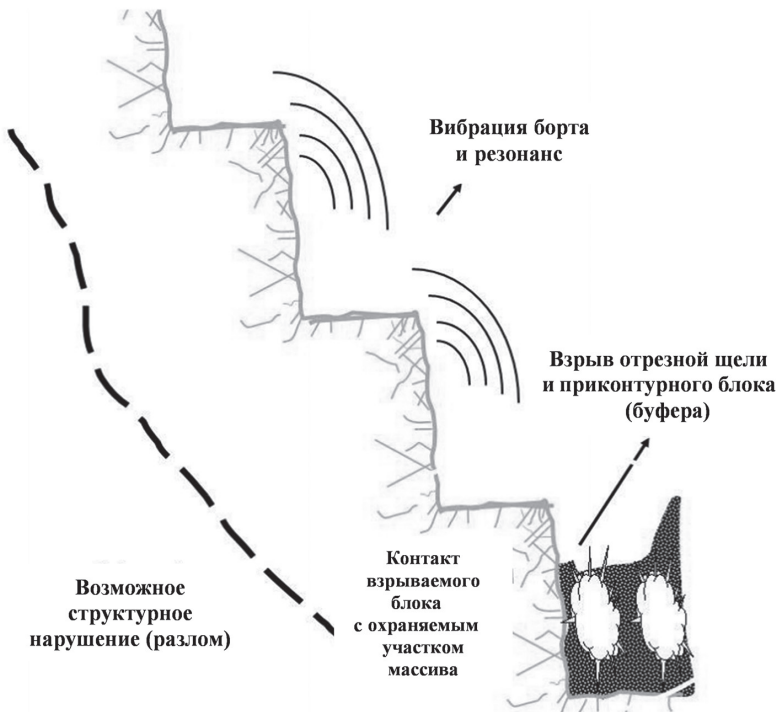


Рис. 1. Основные аспекты повреждения борта карьера от массовых взрывов [6]

Fig. 1. The main aspects of damage to the open pit wall from large-scale blast [6]

Первый механизм является эффектом так называемой ближней зоны взрыва (непосредственный контакт взрываемого блока с охраняемым участком массива). И здесь необходимо рассматривать комплексное воздействие на массив как взрыва отрезной щели, так и приконтурного блока, способных «навести» дополнительную трещиноватость [7–9]. Основными факторами, которые способствуют образованию новых трещин и расширению существующих в ближней зоне, являются высокая амплитуда скоростей смещения частиц породы и запредельное давление газообразных продуктов детонации взрывчатого вещества. Второй механизм характерен для дальней зоны взрыва (сотни и более метров от взрыва). Дальняя зона характеризуется относительно небольшими скоростями смещения, неспособными привести к образованию или расширению трещин, но в совокупности с низкими частотами, характерными для этих зон, возможно возникновение опасных смещений по поверхности неблагоприятно ориентированных трещин и разломов, способных вызвать обрушение отдельного уступа или борта в целом.

### **Проведение экспериментальных взрывов**

Для оценки зоны разрушения вокруг скважинного заряда необходимо понимать, какие значения реальных скоростей смещения частиц породы порождает взрыв заряда. Дробление массива происходит очень близко к взрывной скважине, поэтому скорость смещения частиц породы зачастую невозможно измерить на таком близком расстоянии, не повредив при этом измерительное оборудование.

В 2019 г. на карьере «Восточный» Олимпиадинского ГОК были проведены экспериментальные взрывы. Цель работы заключалась в измерении ско-

ростей смещения частиц породы в результате взрыва скважинного заряда в ближней зоне, а также определении коэффициента фильтрации отрезной щели. На рис. 2 показана схема проведения эксперимента.

Идея эксперимента заключалась в фиксации единичной формы волны от взрыва скважины без наложения сигналов друг на друга. Для этих целей была пробурена отрезная щель по параметрам, принятым на предприятии. По обеим сторонам от щели бурились две скважины, в которые помещался геофон (максимальная фиксируемая вибрация используемого геофона составляла 2000 мм/с) и надежно бетонировался. Далее в два ряда располагались экспериментальные скважины (рис. 2), которые заряжались взрывчатым веществом марки ВЭТ-700. Все скважины имели диаметр 215,9 мм. Количество ВВ в скважине подбиралось с учетом непревышения максимальных скоростей смещения на геофонах и составляло 1–2 м. Измерения выполнялись при помощи сейсмоизмерителя «MinimatePlus» (серия III).

Инициирование производилось в следующем порядке: за двое суток выполнялся взрыв отрезной щели, чтобы создать условия предварительного щелеобразования; инициирование основных скважин выполнялось в наступающем порядке, начиная с самой дальней. Интервал замедления между скважинами составлял 400 мс.

### **Обработка и обсуждение результатов**

Интерпретация вибрации в ближней зоне отличается от классических оценок, характерных для дальней зоны взрыва, где основным критерием является приведенное расстояние, учитывающее расстояние измерительной станции от источника взрыва ( $R$ , м) и заряд ВВ в сту-

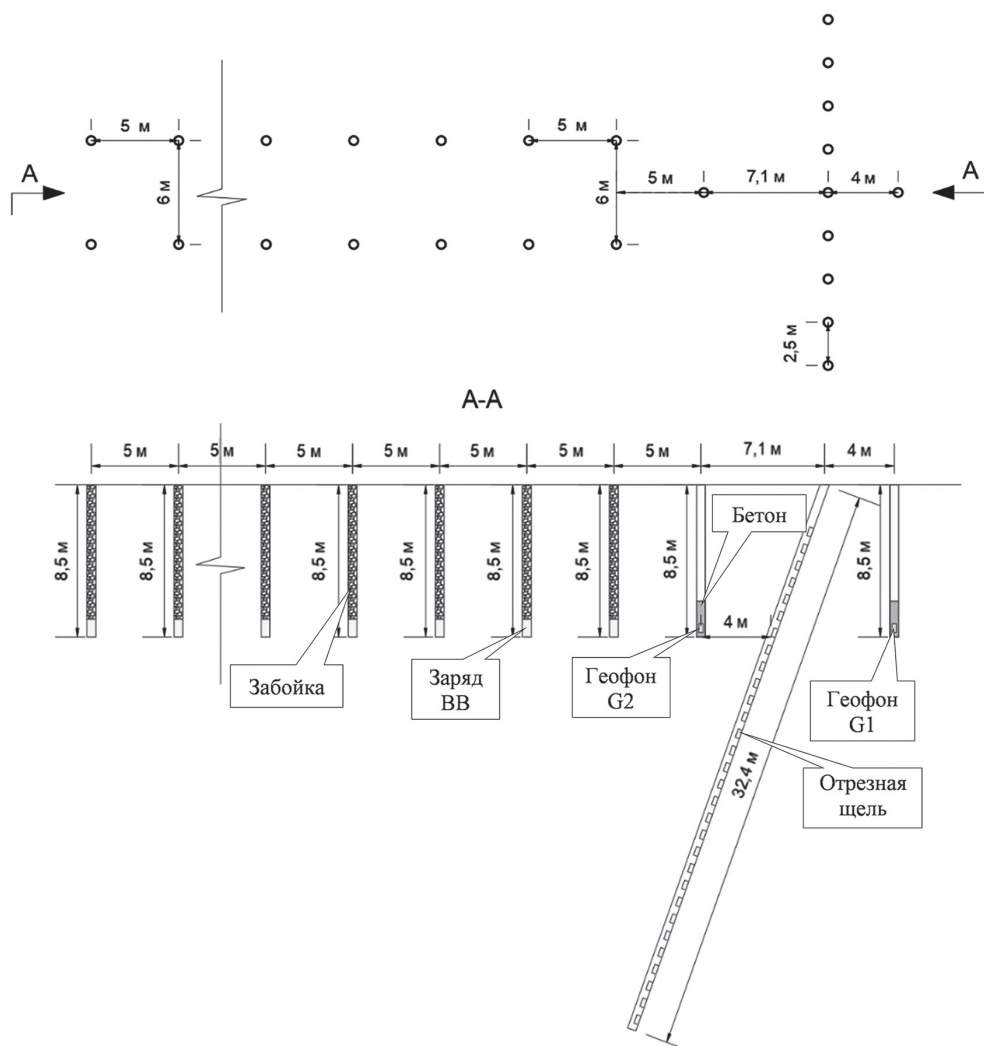


Рис. 2. Схема проведения экспериментального взрыва  
 Fig. 2. The scheme of the experimental blast

пени замедления ( $W$ , кг). Объясняется это тем, что в дальней зоне наблюдения заряд рассматривается как точечный источник, поскольку расстояние измерения значительно больше длины колонки заряда. В ближней же зоне нельзя игнорировать длину заряда, а следует учитывать суммарный вклад всех единичных зарядов в общий вибрационный эффект.

Наилучшим образом для интерпретации вибрации в ближней зоне подходит модель Holmberg and Persson (швед-

ский метод). Модель Н&Р впервые была опубликована в 1978 г. [10] и по сей день является одним из основных инструментов инженеров взрывников и геотехников по оценке зон разрушения вокруг единичного скважинного заряда [11 – 13]. В ней учитывается геометрия расположения источника вибрации (конструкция скважинного заряда) относительно точки наблюдения (рис. 3).

Общую зависимость определения скорости смещения, исходя из модели

H&P, можно представить следующим образом:

$$PPV = K \left[ \left( \frac{P}{R_0} \right) \left( \arctan \left( \frac{H + X_s - X_0}{R_0} \right) + \arctan \left( \frac{X_0 - X_s}{R_0} \right) \right) \right]^\alpha$$

где  $K$  – коэффициент грунтовых условий, зависящий от свойств пород в точке исследования и от типа ВВ;  $\alpha$  – показатель степени затухания колебаний;  $P$  – вместимость ВВ в одном метре скважины, кг;  $R_0$  – расстояние от источника колебаний до исследуемой точки в плане, м;  $H$  – длина заряда ВВ, м;  $X_s$  – длина забойки, м;  $X_0$  – глубина на расположения исследуемой точки, м

На рис. 4 представлена комплексная оценка скорости смещения частиц горной породы с определением коэффициента фильтрации отрезной щели для одного из экспериментальных взрывов. Построение зависимости скорости смещения от фактора H&P позволяет определить эмпирическую зависимость за-

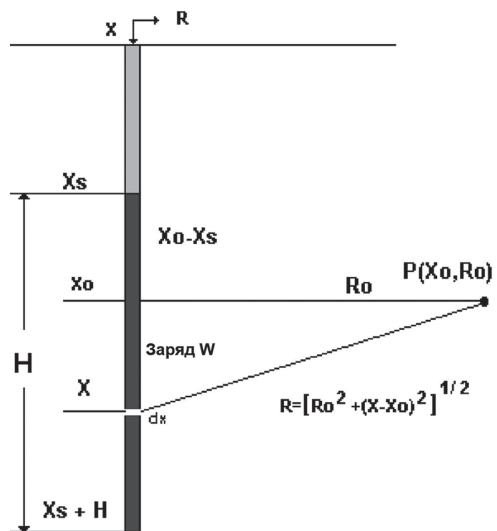


Рис. 3. Определение вибрации в исследуемой точке массива относительно конструкции заряда (Holmberg and Persson, 1978 [2])

Fig. 3. Determination of vibration at the research point of the rock mass relative to the charge design (Holmberg and Persson, 1978 [2])

тухания колебаний с расстоянием для конкретного участка карьера с получением коэффициентов  $K$  и  $\alpha$ , которые в дальнейшем будут участвовать в мо-

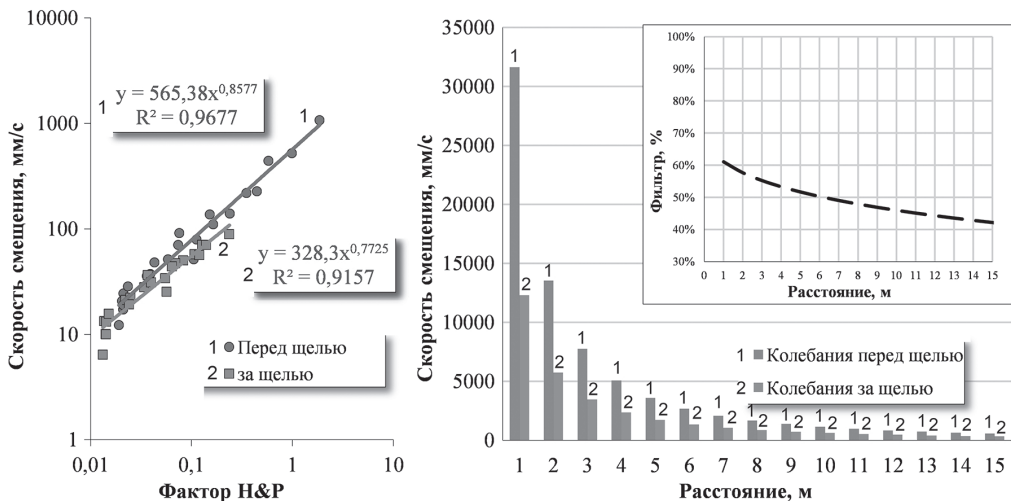


Рис. 4. Комплексная оценка скорости смещения частиц породы с определением коэффициента фильтрации отрезной щели

Fig. 4. Comprehensive evaluation of the peak particle velocity with the determination of the split filtration coefficient

делировании зон дробления, а также оценить, насколько предварительное щелеобразование снижает вибрацию за предельным контуром карьера. В зависимости от расстояния до отрезной щели и от конструкции скважинного заряда фильтрация может изменяться. Так, например, для условно взятой скважины с длиной заряда — 5 м и забойкой — 5 м фильтр вибрации составит 52 — 61%, что безусловно является очень хорошим результатом, означающим, что параметры расположения и заряжения скважин контурного ряда выбраны правильно.

Несмотря на свою простоту применения, модель Н&Р обладает рядом недостатков, которые вносят сильный консерватизм в параметры БВР. Основным недостатком является то, что модель не учитывает динамику взрывного процесса. В динамических моделях передача энергии горной породе должна учитывать скорость детонации ВВ ( $D$ ), а также скорость распространения продольной волны в породе ( $V_p$ ). Модель Н&Р предполагает бесконечное значение  $D$ . В действительности, соотношение  $D$  и  $V_p$  имеет большое значение. Вторым недостатком является то, что модель не учитывает расположение ини-

циатора (промежуточного детонатора) в скважине и предполагает взрыв всей скважины одновременно. Именно по этой причине разрушение вокруг скважины представляется в форме эллипса со значительным расширением в верхней и нижней частях заряда (рис. 5). Реальная форма разрушения с учетом расположения промежуточного детонатора и свободной поверхности должна напоминать воронку с постепенным расширением от торца скважины к устью [14]. В идеале, модель Н&Р несколько переоценивает вибрацию в ближней зоне взрыва, тем самым подтверждая выводы о консервативности данной модели.

Для пояснения на рис. 5 показано моделирование зон дробления по методике Н&Р для применяемых параметров БВР (рис. 5, а) и скорректированных параметров с учетом условия совмещения зон дробления (рис. 5, б).

Оценивая текущие параметры размещения и заряжения скважин диаметром 215,9 мм в приконтурной зоне (рис. 5, а), можно отметить, что эллипсоиды дробления значительно выходят за охраняемые участки массива как со стороны вскрываемого борта,

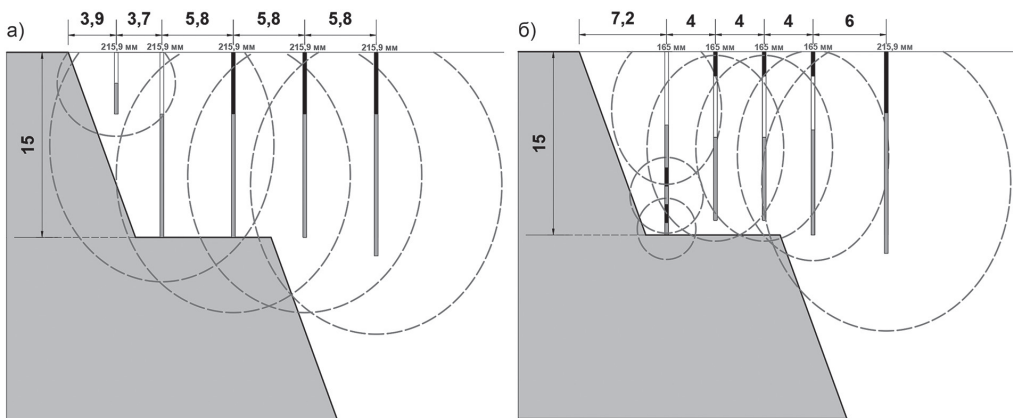


Рис. 5. Моделирование зон дробления используя модель Н&Р: применяемые параметры (а); скорректированные параметры (б)

Fig. 5. Modeling crushing zones using the H&P model: a — applicable parameters; b — adjusted parameters

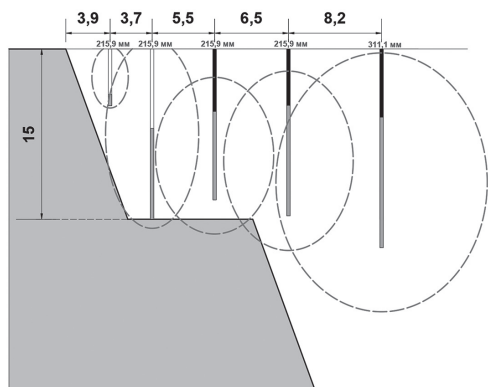


Рис. 6. Моделирование зон дробления используя модель Н&Р с учетом коэффициента динамичности

Fig. 6. Modeling of crushing zones using the H&P model taking into account the dynamic coefficient

так и по подошве нижележащего уступа. Рис. 5, б демонстрирует скорректированные параметры расположения скважин. Корректировка заключалась в уменьшении размеров эллипсоидов дробления таким образом, чтобы они не пересекали охранные участки борта на значительную глубину. Основными методами, позволяющими уменьшить размер зон дробления на приконтурном участке, являются [3, 15, 16]: применение меньшего диаметра скважин; создание воздушного промежутка между зарядом и забойкой; изменение конструкции заряда путем разделения его на отдельные элементы; использование менее бризантного ВВ; недобур скважин до нижней вскрываемой бермы.

Скорректированные параметры (см. рис. 5, б) отражают консерватизм применяемой модели, поскольку для соблюдения условий совмещения зон дробления требуется уменьшить диаметр взрывааемых скважин с 215,9 до 165 мм, рассредоточить первый ряд скважин от борта на три отдельных заряда, разделенных инертным промежутком, а также значительно уменьшить количество ВВ во 2, 3 и 4 рядах от борта, отделив заряд ВВ от забойки воздушным проме-

жутком. Все эти условия в дальнейшем могут привести к значительному выходу негабаритных фракций с приконтурного участка.

Перечисленные выше недостатки не умоляют ценности модели Н&Р. Правильно откалиброванная модель позволит прогнозировать и оптимизировать параметры БВР не только на приконтурных, но и на рядовых рабочих блоках. Калибровка модели связана с установлением реальных критериев разрушения пород. В мировой практике принято вводить так называемый коэффициент динамичности, повышающий сопротивляемость горных пород взрывным нагрузкам. В работах [17–20] предел изменения коэффициента динамичности составляет в среднем от 2 до 3. Применим среднее значение коэффициента 2,5 для оценки параметров БВР (рис. 6).

Как можно заметить (рис. 6), в значительной степени не меняя технологию возможно оптимизировать параметры БВР в приконтурной зоне карьера и даже обосновать расстояния, на которых возможен переход на скважины большего диаметра (5 ряд представлен диаметром 311,1 мм), но для этого необходимо определиться с реальными критериями разрушения пород при динамическом воздействии взрыва заряда ВВ и произвести корректировку модели Н&Р.

### Заключение

В работе проведен анализ основных аспектов повреждения борта карьера от производства массовых взрывов в зависимости от механизма разрушения. Установлено, что основными факторами, которые способствуют образованию новых трещин и расширению существующих в ближней зоне, являются: высокая амплитуда скоростей смещения и запредельное давление газообразных продуктов детонации взрывчатого вещества. Подробно описан и реализован



комплекс опытно-промышленных взрывов по непосредственному измерению скоростей смещения горной породы в ближней зоне взрыва с установкой внутрискважинных геофонов. Обработка результатов выполнена по методике Holmberg and Persson с построением графиков зависимостей скоростей смещения от фактора Н&Р. Выявлены недостатки модели требующие ее калибровки, которая заключается в установлении реальных критериев разрушения пород при динамическом воздействии взрыва заряда ВВ.

### **Направление дальнейших исследований**

Описанный в статье подход является первой ступенью к совершенствованию технологии производства буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера. Целостный же подход к управлению взрывными работами на предельном контуре карьера должен учитывать как воздействие вибрации в ближней зоне, так и воздействие вибрации в средней и дальней зонах карьера, что является дальнейшим приоритетом исследований.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Фокин В. А. Проектирование и производстве буровзрывных работ при постановке уступов в конечное положение на предельном контуре глубоких карьеров. — Апатиты: КНЦ РАН, 2004. — 133 с.
2. Аленичев И. А. Реакция массива горных пород в карьерном пространстве на динамические воздействия при производстве взрывных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 7. — С. 189–195. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-189-195.
3. Rorke A. J. Limiting blast-induced damage on final pit walls, available at: <https://www.agg-net.com/resources/articles/drilling-blasting/limiting-blast-induced-damage-on-final-pit-walls>, 2011.
4. Фокин В. А. Методические аспекты анализа технологической информации при производстве буровзрывных работ в условиях карьеров. — Апатиты: КНЦ РАН, 2015. — 133 с.
5. Белин В. А., Холодилов А. Н., Господариков А. П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов // Горный журнал. — 2017. — № 2. — С. 66–68.
6. Goswami T., Jeric S., Brent G. Holistic scientific approach to address wall damage and berm loss from blasting in large open cut metal mines. International Society of Explosives Engineers, 2011.
7. Козырев С. А., Аленичев И. А., Камянский В. Н., Соколов А. В. Особенности сейсмического воздействия взрыва отрезной щели на законтурный массив и методы его снижения в условиях карьера рудника «Железный» Ковдорского ГОКа // Взрывное дело. — 2017. — № 118/75. — С. 212–226.
8. Берснев Г. П., Крапивина И. С., Стровский В. Е. Эффективные меры снижения влияния сейсмике взрыва при проведении строительных горных выработок в стесненных условиях // Известия вузов. Горный журнал. — 2014. — № 1. — С. 114–117.
9. Dindarloo S. R. Design of controlled blasting (pre-splitting) in Golegozar iron ore mine, Iran // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology, 2015, Vol. 124, No 1, Pp. 64–68. DOI: 10.1179/1743286314Y.0000000077.
10. Holmberg R., Persson P-A. The Swedish approach to contour blasting / Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, Society of Explosives Engineers, New Orleans, Louisiana, 10–15 February, 1978, pp. 113–127.
11. Tannant D. D., Peterson J. Evolution of blasting practices at the Ekati™ diamond mine / 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET2001), 2001, pp. 297–304.
12. Hustrulid W. A. Blasting principles for open pit mining. Vol. 1, 1999, 382 p.

13. Shrey A., Kaushik D. Estimation of near-field peak particle velocity. A mathematical model // *Journal of Geology and Mining Research*, 2010, Vol. 2, No 4, Pp. 68–73.

14. Шуйфер М.И., Азаркович А.Е. Расчет размеров зоны трещинообразования при взрыве скважинных зарядов в скальном массиве // *Взрывное дело*. – 1980. – № 82/39. – С. 191 – 209.

15. McKenzie C. K. Blasting near open pit walls. APSSIM, 2016, pp. 83 – 94.

16. Battison R., Esen S., Duggan R. et al. Reducing crest loss at Barrick Cowal gold mine / Proceedings of the 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Sydney, NSW, 24–26 August 2015, pp. 1 – 14.

17. Боровиков В.А., Ванягин И.Ф. Техника и технология взрывных работ. Учебное пособие. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1985. – 89 с.

18. Blair D. P., Minchinton A. Near-field blast vibration models // *Fragblast*, 2006, No 8, pp. 152 – 159.

19. Müller B., Hausmann J., Niedzwiedz H. Prediction and minimisation of vibrations during production blasts // *Fragblast*, 2009, No 9, pp. 47 – 55.

20. Silva J., Worsley T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting // *International Journal of Mining Science and Technology*, 2018. Vol. 29, No 3. Pp. 379 – 385.

DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Fokin V.A. *Proektirovanie i proizvodstve burovzryvnykh rabot pri postanovke ustupov v konechnoe polozhenie na predel'nom konture glubokikh kar'erov* [Designing and implementation of drilling and blasting operations during final sloping of benches in deep pits], Apatity, KNTS RAN, 2004, 133 p.

2. Alenichev I.A. Rock mass response to dynamic effect of blasting in the area of open pit mine. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 7, pp. 189–195. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-189-195.

3. Rorke A.J. *Limiting blast-induced damage on final pit walls*, available at: <https://www.agg-net.com/resources/articles/drilling-blasting/limiting-blast-induced-damage-on-final-pit-walls>, 2011.

4. Fokin V.A. *Metodicheskie aspekty analiza tekhnologicheskoy informatsii pri proizvodstve burovzryvnykh rabot v usloviyakh kar'erov* [Methodic aspects of analyzing technological information during drilling-and-blasting operations in open-pits], Apatity, KNTS RAN, 2015, 133 p.

5. Belin V.A., Kholodilov A.N., Gospodarikov A. P. Procedural framework for prediction of seismic effect of massive blasting. *Gornyy zhurnal*. 2017, no 2, pp. 66 – 68. [In Russ].

6. Goswami T., Jeric S., Brent G. Holistic scientific approach to address wall damage and berm loss from blasting in large open cut metal mines. *International Society of Explosives Engineers*, 2011.

7. Kozyrev S.A., Alenichev I.A., Kamyanskiy V.N., Sokolov A. V. Features of seismic pre-splitting blasting action on the out-contour rock and methods of its reduction under the conditions of «Iron» open pit mining on the Kovdorsky Processing Plant. *Vzryvnoe delo*. 2017, no 118/75, pp. 212 – 226. [In Russ].

8. Bersenev G.P., Krapivina I.S., Strovskiy V.E. Effective measures reduce the influence of seismology of explosion during constructive excavation in constrained environment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2014, no 1, pp. 114 – 117. [In Russ].

9. Dindarloo S.R. Design of controlled blasting (pre-splitting) in Golegozar iron ore mine, Iran. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*, 2015, Vol. 124, No 1, Pp. 64 – 68. DOI: 10.1179/1743286314Y.0000000077.

10. Holmberg R., Persson P-A. The Swedish approach to contour blasting. *Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, Society of Explosives Engineers*, New Orleans, Louisiana, 10 – 15 February, 1978, pp. 113 – 127.

11. Tannant D. D., Peterson J. Evolution of blasting practices at the Ekati™ diamond mine. *17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET2001)*, 2001, pp. 297 – 304.
12. Hustrulid W. A. *Blasting principles for open pit mining*. Vol. 1, 1999, 382 p.
13. Shrey A., Kaushik D. Estimation of near-field peak particle velocity. A mathematical model. *Journal of Geology and Mining Research*, 2010, Vol. 2, No 4, Pp. 68–73.
14. Shuyfer M. I., Azarkovich A. E. Calculation of fracturing zone size under blasting of borehole charges in strong rock masses. *Vzryvnoe delo*. 1980, no 82/39, pp. 191 – 209. [In Russ].
15. McKenzie C. K. *Blasting near open pit walls*. APSSIM, 2016, pp. 83 – 94.
16. Battison R., Esen S., Duggan R. et al. Reducing crest loss at Barrick Cowal gold mine. *Proceedings of the 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Sydney, NSW, 24–26 August 2015, pp. 1 – 14.
17. Borovikov V. A., Vanyagin I. F. *Tekhnika i tekhnologiya vzryvnykh rabot*. Uchebnoe posobie [Blasting technology and equipment. Educational aid], Leningrad, Izd-vo LGI, 1985, 89 p.
18. Blair D. P., Minchinton A. Near-field blast vibration models. *Fragblast*, 2006, No 8, pp. 152 – 159.
19. Müller B., Hausmann J., Niedzwiedz H. Prediction and minimisation of vibrations during production blasts. *Fragblast*, 2009, No 9, pp. 47 – 55.
20. Silva J., Worsley T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2018. Vol. 29, No 3. Pp. 379 – 385. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Аленичев Игорь Алексеевич* — канд. техн. наук,  
ведущий инженер по БВР,  
ООО «Полюс Проект», e-mail: AlenichevIA@polyusgold.com,  
*Рахманов Руслан Азаматович* — канд. техн. наук,  
старший менеджер по БВР,  
ООО «УК Полюс», e-mail: RakhmanovRA@polyusgold.com,  
*Шубин Игорь Львович* — технический менеджер  
(Европа/СНГ/С-3 Африка), АО «Davey Bickford Enaex»,  
e-mail: igor.shubin@daveybickfordenaex.com.  
**Для контактов:** Аленичев И.А.,  
e-mail: AlenichevIA@polyusgold.com.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.A. Alenichev*, Cand. Sci. (Eng.),  
Leading Engineer for Drilling and Blasting,  
LLC «Polyus Project», 660028, Krasnoyarsk, Russia,  
e-mail: AlenichevIA@polyusgold.com,  
*R.A. Rakhmanov*, Cand. Sci. (Eng.), Senior Drill and Blast Manager,  
UK Polyus LLC, 123056, Moscow, Russia,  
e-mail: RakhmanovRA@polyusgold.com,  
*I.L. Shubin*, Technical Manager (Europe/CIS/N-W Africa),  
JSC «Davey Bickford Enaex», Russia,  
e-mail: igor.shubin@daveybickfordenaex.com.  
**Corresponding author:** I.A. Alenichev,  
e-mail: AlenichevIA@polyusgold.com.

Получена редакцией 03.02.2020; получена после рецензии 17.02.2020; принята к печати 20.03.2020.  
Received by the editors 03.02.2020; received after the review 17.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.