

УДК 622.83:622.271

И.П. Бибик

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Разработан алгоритм управления эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества горной массы на открытых разработках.

Ключевые слова: буровзрывные работы, зарядание скважин, карьеры.

Семинар № 4

Одним из основных производственных процессов при разработке месторождений открытым способом является буровзрывная подготовка горного массива к экскавации, удельный вес которой в общем технологическом комплексе горного производства составляет до 40-45%. К ней предъявляются достаточно жесткие требования, т.к. по степени и равномерности дробления пород взрывом, проработке подошвы уступа, форме развала раздробленной взорванной горной массы в значительной степени зависит производительность горного, транспортного и дробильного оборудования, а, следовательно, и общие технико-экономические показатели предприятия и его рентабельность. При этом сложноструктурные месторождения с разнопрочными породами и со сложной конфигурацией залежей, каковыми являются золотое месторождение Мурунтау и месторождение зернистых фосфоритов Джерой-Сардара Кызылкумского региона Узбекистана требуют дополнительные требования к производству буровзрывных работ.

Повышение эффективности буровзрывной подготовки горного массива к экскавации и, соответственно, снижение затрат можно добиться в

частности за счет применения энергосберегающих технологий буровзрывных работ в части управления их эффективными параметрами при транспортной системе разработки и при взрывном перемещении вскрышных пород при бестранспортной системе разработки на карьерах Мурунтау и Ташкура, расположенных, соответственно, на одноименном и Джерой-Сардара месторождениях.

Управление эффективными параметрами буровзрывных работ базируется, прежде всего, на выборе типа взрывчатых материалов и параметров БВР и локализации производства ВВ.

Экспериментальными работами и технико-экономическим анализом установлена целесообразность применения на карьерах Мурунтау и Ташкура эмульсионных взрывчатых составов, пригодных для зарядания как сухих, так и обводненных скважин и обладающих возможностью регулирования объемной концентрации энергии за счет изменения рецептурного соотношения компонентов и плотности зарядания. Для организации собственного производства ЭВВ была выбрана технология и соответствующее ей оборудование фирмы «ORICA» (Германия).

Завод, построенный в 2-х км от карьера Мурунтау, выпускает эмуль-

Таблица 1

Характеристика ЭВВ

Наименование ЭВВ	Нобелит 2000-2050	Нобелан 2060-2090
Теплота взрыва, кДж/кг,	2600 – 2900	2914-3500
Плотность заряжания, г/см ³	1,05-1,27	0,93-0,98
Скорость детонации, км/с	4,3–5,5	3,5-4,1
Кислородный баланс, %	-2,1-2,5	-1,02-1,07
Объем газов взрыва, л/кг	900-930	820-930

сионные ВВ типа Нобелан, представляющие собой механическую смесь гранулированной аммиачной селитры, дизельного топлива (АС+ДТ) и эмульсионной матрицы и предназначенные для ведения взрывных работ на открытых горных работах при отбойке по сухим горным породам с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова до 12 и типа Нобелит, представляющие собой смесь игданита (АС+ДТ), эмульсионной матрицы, сенсibiliзированной газогенерирующими добавками: растворы нитрита натрия и уксусной кислоты и предназначенные для ведения взрывных работ на открытых горных работах при отбойке пород любой крепости, как по сухим, так и по обводненным скважинам с постоянным притоком воды (табл. 1).

В результате исследований технология, применяемая на заводе по производству ЭВВ, адаптирована под аммиачную селитру общетехнического назначения производимую ОАО «Навоiazот», г. Навои. Близость завода по производству ЭВВ от поставщика АС позволяет реализовать простую и эффективную бестарную систему доставки и переработки АС, исключаящую ручной труд на всех стадиях приготовления ЭВВ.

Основываясь на результатах по определению удерживающей способности аммиачной селитры, стоимости представленного сырья и полигонных испытаний на восприимчивость к детонационному импульсу специалистами

национному импульсу специалистами завода предложено использовать для изготовления ЭВВ типа Нобелан-2080 расфасованных в мешкотару аммиачную селитру производства ОАО «Акрон» г. Новгород и «Ангарский азотно-туковый завод» ОАОа для выпуска ЭВВ типа Нобелан и Нобелит, изготавливаемых в процессе заряжания в СЗМ - гранулированную АС производства ОАО «Навоiazот» г. Навои.

В рамках программы импортозамещения проведены испытания по определению пригодности образцов алюминиевой проволоки марки АТ Ш 3 мм и Ш 2,5 мм производства СП ОАО «Андижанкабель» вместо поставляемой из Германии и применяемой при производстве (клипсовании) патронированных ЭВВ Nobelit 216Z. С этой целью было выполнено тестирование механизма клипсования машины патронирования и изготовление готового продукта. Результаты испытания показали, что алюминиевая проволока марки АТ производства СП ОАО «Андижанкабель» может применяться при изготовлении (клипсовании) патронированных ЭВВ Nobelit 216Z.

Анализ составов ЭВВ, применяемых в настоящий момент на открытых горных работах НГМК, показывает, что 92-96% их ассортимента составляют компоненты производимые в Республике Узбекистан и, если учесть, что на начальном этапе работы завода компоненты ЭВВ, производимые в Республике Узбекистан, составляли всего 6%, то видна значительная работа по переходу на местное сырье и, соответственно, снижению валютных затрат на его получение из-за рубежа.

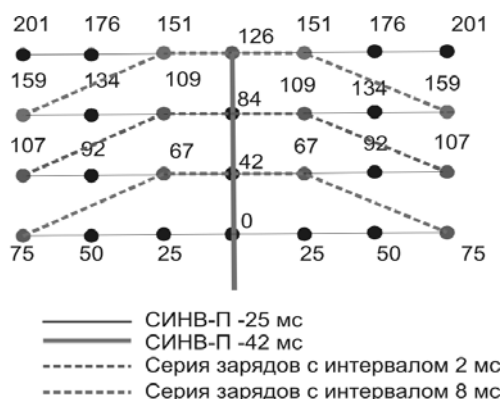


Рис. 1. Пример типовой схемы монтажа взрывной сети

Параллельно с началом применения ЭВВ для короткозамедленного взрывания скважинных зарядов ВВ стали использоваться неэлектрические системы инициирования (НСИ). НСИ характеризуются высокой надежностью, безопасностью и перспективами по совершенствованию управления энергией взрыва за счет продолжительности общего времени действия энергии взрыва на массив, направленности прохождения взрыва по скважинам взрываемого массива, снижения сейсмического действия взрыва. Из применяемых в настоящее время российских НСИ «СИИВ» и «Эдилин», системы «NONEL» фирмы «DINO NOBEL» и «PRIMADET» фирмы «ENSIGN-BICKFORD» наибольшее применение имеет НСИ «СИИВ». Тем не менее, применение НСИ с задекларированным поскважинным замедлением на самом деле не исключает образование серий взрывов, в которых заряды срабатывают с разницей во времени от 2 до 8 мс (т.е. практически одновременно). Так, рассмотрев типичную схему монтажа замедлителями 25 и 42 мс (рис. 1), видно, что в блоке из 7 рядов скважин и расположением магистрали в центре блока практически одновременно могут взрываться до 4 скважин.

В ходе опытно-промышленных работ на карьере Мурунтау по оптимизации параметров БВР в условиях поставки и применения в основном тротилосодержащих ВВ было установлено, что наилучшие результаты взрывных работ дает использование сетки скважин 5,6x5,6 м при диаметре бурения 215 мм, перебуре скважин ниже проектной отметки 1,5 м и удельном расходе ВВ - 1,0÷1,1 кг/м³ [1]. Для увеличения высоты колонки заряда использовались комбинированные заряды из граммонита 79/21 - в нижней и игданита - в верхней частях скважины, таким образом, чтобы забоечное пространство составляло не более 5÷6 м.

После перехода на эмульсионные ВВ с повышенной объемной концентрацией энергии было установлено, что применение нобелана 2080 (тем более нобелита 2030 в обводненной части массива) на таких сетках, даже при увеличении удельного расхода до 1,30 кг/м³, не обеспечивает необходимой высоты заряда в скважине и ведет к увеличенному выходу негабаритной и крупнокусковой фракции из верхней части взрываемого уступа.

В ходе опытно-промышленных работ по адаптации параметров БВР к особенностям применения ЭВВ были изучены области применения различных сеток взрывных скважин. При этом за основной критерий оптимизации взрывного дробления было принято расположение заряда в скважине, с оставлением забоечного пространства не более 5-6 м, что позволяет максимально исключить выход негабаритной и крупнокусковой фракции из верхней части уступа, не имеющей контакта непосредственно с ВВ. Анализ расчетных параметров БВР для различных значений удельного расхода ЭВВ позволил определить базовые значения размеров сеток

Таблица 2

Размеры сеток взрывных скважин, обеспечивающие оптимальное расположение заряда ВВ в массиве

Удельный расход ВВ, кг/м ³	Оптимальные параметры сеток скважин, мхм			
	Ш215 мм		Ш250 мм	
	нобелан	нобелит	нобелан	нобелит
0,85	6,5х6,5	7,0х7,0	7,0х7,0	7,5х7,5
0,90	6,5х6,5	6,5х6,5	7,0х7,0	7,0х7,0
0,95	6,5х6,5	6,5х6,5	7,0х7,0	6,5х6,5
1,00	6,5х6,5	6,0х6,0	6,5х6,5	6,5х6,5
1,05	6,0х6,0	6,0х6,0	6,5х6,5	6,5х6,5
1,10	6,0х6,0	5,6х5,6	6,5х6,5	6,5х6,5
1,15	5,6х5,6	5,6х5,6	6,0х6,0	6,5х6,5
1,20		5,6х5,6	6,0х6,0	6,5х6,5
1,25			6,0х6,0	6,0х6,0
1,30			5,6х5,6	6,0х6,0

взрывных скважин в зависимости от применяемого бурового инструмента и вероятность их применения (табл. 2). При этом с учетом фактического распределения объемов горной массы, относимых к легко- средне- и трудновзрываемым, сетка 6,5х6,5 м может быть признана универсальной в 65% случаев. А учитывая, что для легко- и средневзрываемых пород карьера (особенно на участках обрабатываемых без циклично-поточной технологии) необходимое качество дробления достигается при больших значениях длины забоечного пространства (6-7 м) сетка 6,5х6,5 м может успешно применяться на 80% пород карьера. При этом как на диаметре взрывных скважин 250 мм, так и на диаметре 215 мм достаточно варьирования удельным расходом и типом ЭВВ, чтобы выдерживать оптимальную длину заряда.

В связи с этим принято решение о применении для взрывного рыхления пород карьера Мурунтау сетки скважин 6,5х6,5 м и шарошечных долот 250 мм как основной схемы БВР за исключением трудновзрываемых руд-

ных участков первой рудной залежи. Диаметр скважин 215 мм принят в качестве вспомогательного для бурения наклонных скважин отрезной щели и подготовки приконтурных участков карьера, сложенных крупноблочными средневзрываемыми породами.

Для зоны первой рудной залежи проведены дополнительные опытно-промышленные работы, необходимость которых вызвана особенностями ведения работ на этом участке, т.к. эта зона в геологическом плане представлена сильноокварцованными

алевролитами, песчаниками, роговиками, кварцитами, кварцевыми жилами, которые имеют максимальные по карьеру среднюю плотность (2,70 т/м³), абразивность (48-59 мг), коэффициент крепости по буримости (12-15). По степени трещиноватости и блочности породы относятся к среднетрещиноватым, крупноблочным (III категория трещиноватости по МВК). По взрываемости - трудновзрываемые. В структурном плане зона характеризуется наличием в ней системы разломов различного порядка, мощности и направлений, которые определяют ряд характерных участков отличающихся по взрываемости пород.

Проведенные наблюдения за качеством рыхления горной массы показали, что даже в условиях соблюдения установленных оптимальных параметров размещения заряда в массиве и повышенном удельном расходе ВВ: в среднем для нобелана 1,11 кг/м³ (максимальное значение 1,27 кг/м³); нобелита - 1,26 кг/м³ (максимальное значение 1,59 кг/м³) исключить выход негабаритной и крупнокусковой

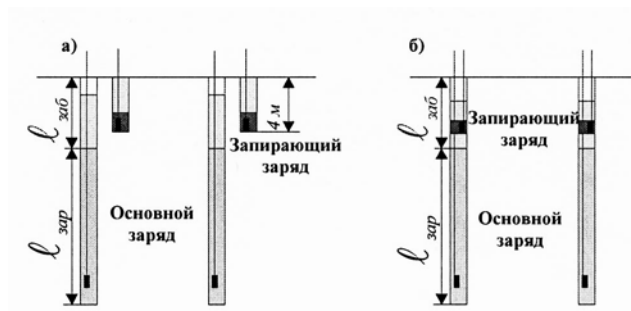


Рис. 2. Конструкции скважинных зарядов ВВ при использовании запирающего ВВ в дополнительной скважине (а), в забойке (б): $l_{зар}$ и $l_{заб}$ – соответственно длина заряда и забоечного пространства, м

фракции невозможно. Кроме того, при удельном расходе ВВ более $1,15-1,20 \text{ кг/м}^3$ в результате преобладания метательного эффекта взрыва над дробящим значительная часть горной массы со стороны выработанного пространства (от 10 до 20%) выбрасывается на нижележащие горизонты или происходит формирование развалов шириной до 40 м. В первом случае это ведет к уменьшению количества руды, которое может быть отгружено с горизонта (показатели потерь и разубоживания в связи с внедрением валово-селективной выемки не рассматриваются), во втором - к снижению интенсивности горных работ в зоне за счет увеличения времени восстановления транспортных коммуникаций на горизонте и снижения производительности выемочного оборудования при работе на низких забоях.

В этой связи усилия были направлены на увеличение взрывного воздействия на верхнюю часть уступа и повышение эффективности забойки, направленной на увеличение длительности взрывного воздействия на горный массив. При этом для улучшения запирающего эффекта применена динамическая забойка, заключающая-

ся в одном случае во взрыве заряда ВВ в дополнительной короткой скважине, пробуренной на расстоянии 2 м от основной, в другом – во взрыве запирающего заряда в забоечном пространстве основной скважины (рис. 2). Для инициирования зарядов ВВ применялась неэлектрическая система инициирования: в скважинах СИНВ-С с интервалом замедления 500 мс; поверхностная сеть монтировалась СИНВ-П с интервалами 25, 42 и

67 мс. На экспериментальных блоках интервалы замедлений подбирались таким образом, чтобы первоначально взрывался запирающий заряд, а затем основной заряд. Замедление основного заряда относительно запирающего при расположении последнего в основной скважине обеспечивалось различной длиной ударно-волновых трубок (УВТ) для нижнего и верхнего боевиков при их одновременном инициировании от детонатора поверхностной сети и при скорости детонации в УВТ 2000 м/с составляло порядка 7 мс. Для замедления основного заряда относительно запирающего заряда в дополнительной скважине применялась комбинация замедлителей номиналом 25, 42 и 67 мс в поверхностной сети. В результате разница между взрывом основного и запирающего зарядов составила от 17 до 25 мс. Установлено, что применение запирающего заряда в дополнительной короткой скважине способно повысить степень дробления горного массива, но повышает трудоемкость работ при бурении и зарядании скважин, а также требует повышенного внимания и высокой квалификации персонала при монтаже взрывной сети.

На основании результатов отработки опытно-промышленных взрывов определены оптимальные параметры БВР для рудной части зоны первой рудной залежи: сетка взрывных скважин диаметром 250 мм 6,0х6,0 м, удельный расход ВВ в сухих скважинах - 1,10÷1,25 кг/м³ (нобелан 2080), обводненных 1,15÷1,30 кг/м³ (нобилит 2030), длина забоечного пространства - 5÷6 м. В породной части зоны может применяться сетка взрывных скважин диаметром 250 мм 6,5х6,5 м при удельном расходе ВВ 0,98-1,05 кг/м³, длина забоечного пространства 5,5-6,5 м.

Результатом проведенных опытно-промышленных работ стало уточнение параметров БВР для различных зон карьера, которое в совокупности с выполненной геологической службой рудника корректировкой карты категорийности пород карьера Мурунтау по буримости, позволило районировать породы карьера по рекомендуемым параметрам БВР

Разнопрочные свойства вскрышных пород карьера Ташкура, перекрывающие два пологих фосфопласта малой мощности, предъявляют особые требования к буровзрывным работам. Практикой ведения буровзрывных работ по разнопрочным породам было установлено, что при обруивании вскрышного уступа на всю высоту с расположенными в верхней части более крепких и плотных пород, а в нижней части мягких и пластичных глин взрывное рыхление происходит неэффективно. После взрыва на поверхности взрываемых блоков, образовывались участки вспучивания с трещинами и заколами без «шапки» из взорванной горной массы, а последующая отработка данных блоков показала низкое качество рыхления, с проявлением в нижней части уступа камуфлетных полостей,

т. к. основная часть энергии взрыва затрачивается на уплотнение мягких глин в нижней части уступа, и лишь незначительная часть энергии расходуется непосредственно на рыхление крепкой верхней части уступа.

Для имеющихся в настоящее время горно-геологических условий выделено четыре типовых забоя требующих рыхления: 1 - сплошной глинистый; 2 - сплошной гравелит; 3 - разнопрочный массив из гравелита и глин внешней вскрыши; 4 - разнопрочный массив из полускального мергеля и глин внутренней вскрыши.

Трудностей с качеством рыхления забоев 1 типа не возникало. В процессе оптимизации параметров взрывного рыхления установлено, что при применении взрывных скважин диаметром 170 и 215 мм качество рыхления глинистого массива может быть повышено. Это обусловлено большей площадью контакта пород с зарядом ВВ при увеличении колонки ВВ и уменьшении длины забоечного пространства. При этом большая часть массива попадает в зону регулируемого дробления и меньше вероятность экранирования распространения энергии взрыва. Кроме того, при меньших диаметрах уменьшается воздействие взрыва за линию зарядов вглубь массива, а распространение энергии по массиву происходит с меньшим затуханием. Могут применяться любые типы ВВ.

Сложности при взрывном рыхлении массива забоев 2 типа возникают в краевых частях месторождения при мощности вскрыши до 7 м. При большей мощности, в связи с относительной однородностью массива, сложностей не возникает, и необходимая степень дробления достигается большим количеством комбинаций диаметра, сетки взрывных скважин и типа применяемого ВВ.

Таблица 3
**Конструкции скважинных зарядов для типовых забоев
 месторождения Джерой-Сардара**

Забой I-типа	Забой II-типа	Забой III-типа			Забой IV-типа
$q = 0,6 \text{ кг/м}^3$ (Игданит) $L_{\text{заб}} = 0,3L_{\text{скв}}$	$q = 0,65 \text{ кг/м}^3$ (Нобелан 2080) $L_{\text{заб}} = 2,5 - 3,5 \text{ м}$	$q = 0,7-0,8 \text{ кг/м}^3$ (Игданит) $L_{\text{заб}} = 0,2L_{\text{скв}}$	$q = 0,65 \text{ кг/м}^3$ (Игданит/Нобелан) $L_{\text{заб}} = 0,2L_{\text{скв}}$	$q = 0,65 \text{ кг/м}^3$ (Игданит/Нобелан) $L_{\text{заб}} = 0,2L_{\text{скв}}$	$q = 0,65 \text{ кг/м}^3$ (Игданит) $L_{\text{заб}} = 0,2L_{\text{скв}}$
Сплошной заряд	Сплошной заряд	Сплошной заряд	Комбинированный заряд	Рассредоточенный заряд	Сплошной заряд

Установлено, что при взрывном рыхлении пород в забоях 2 типа целесообразны следующие параметры БВР: основная часть месторождения – сетка скважин 6,0x6,0 м при диаметре 215 мм, 6,5x6,5 м при диаметре 250 мм, удельный расход ВВ: 0,65-0,75 кг/м³ при применении игданита, 0,6-0,65 кг/м³ при применении нобелана; краевые части – сетка скважин 4,6x4,6 м при диаметре 150 мм, 5,0x5,0 м при диаметре 170 мм, удельный расход нобелана 0,6-0,65 кг/м³, применение игданита нецелесообразно.

Опытно-промышленные работы в забоях 3 типа включали оценку области применения различных схем БВР: рассредоточение скважинного заряда и размещение его нижней части в твердых глинах, верхней части – в гравелитах; применение дополнительных зарядов в коротких скважинах, пробуренных до контакта гравелита и твердых глин; разрежение сетки для увеличения длины колонки заряда. Выявлено, что требуемое качество дробления массива обеспечива-

ется расположением заряда в наиболее крепкой части пород требующих взрывного дробления, что может быть достигнуто: увеличением длины заряда путем варьирования параметрами БВР (диаметр и сетка скважин, удельный расход и тип применяемого ВВ); рассредоточением заряда по высоте породными промежутками; применением комбинированных зарядов с расположением в верхней части более мощного ВВ; применением дополнительных зарядов в коротких скважинах.

Забой 4 типа, находясь между первым и вторым рудными пластами (междупластье), имеет выдержанную мощность и требует взрывного рыхления на высоту 7-8 м. В ходе опытно-промышленных работ установлено, что наибольшая эффективность рыхления массива достигается при длине колонки заряда, обеспечивающей максимальное приближение ВВ к верхнему крепкому слою гравелита. При этом мощность использованного ВВ (нобелан или игданит) не имеет принципиального значения. Например,

одинаковая степень дробления может быть получена при использовании игданита в скважинах 215 мм по сетке 7x7 м, игданита в скважинах 250 мм по сетке 8x8 м, нобелана в скважинах 215 мм по сетке 8x8 м и нобелана в скважинах 250 мм по сетке 9x9 м.

Результатом опытно-промышленных работ стала разработка типовых конструкций скважинных зарядов и параметров БВР для выделенных типов забоев карьера Ташкура, которые являются оперативным инструментом при проектировании параметров и оценке качества взрывного рыхления (табл. 3).

Одним из методов повышения эффективности горных работ при разработке месторождений открытым способом является метод взрывного перемещения вскрышных пород (на сброс) в выработанное пространство карьера, при этом энергия взрыва используется наиболее полно в том случае, когда при одном и том же удельном расходе ВВ достигается максимальная дальность выброса породы. В качестве критерия оценки результатов экспериментальных взрывов можно принять показатель взрывного перемещения

$i_b = \frac{U_b}{U}$, где U_b - объём породы перемещаемый взрывом в отвал, м³; U - общий взорванный объём породы, м³.

Чем больше значение показателя взрывного перемещения при одном и том же удельном расходе ВВ, тем большая доля вскрышных работ будет переложена на взрыв.

В ходе проведения экспериментальных взрывов на карьере Ташкура проведена сравнительная оценка по энергозатратам существующей технологии ведения горных работ (с применением взрывов на рыхление) и предлагаемой (с применением взрывного перемещения вскрышных пород

в отвал). Оценка вариантов по энергозатратам при отработке экспериментальных блоков была произведена путём приведения приходящейся электроэнергии на работу экскаватора ЭКГ-8И, потребляемого дизельного топлива автосамосвалами САТ-777D и энергии ВВ к условному топливу. Расчётами установлено, что по предлагаемой технологии экономия дизельного топлива составляет 15-25%, электроэнергии 14-25%, при этом расход ВВ увеличивается на 18-30%, а по общим энергозатратам технология с взрывным перемещением экономичнее на 12-18%. Перемещение вскрышных горных пород позволяет без привлечения дополнительного оборудования существенно повысить объём вскрышных работ, увеличить подготавливаемые массы твердых полезных ископаемых к выемке и, в конечном счете, поднять производственную мощность карьера по фактору вскрышные работы.

В настоящее время разработан ряд способов перемещения вскрышных разнопрочных горных пород во внутренний отвал взрывами вертикальных и наклонных скважинных зарядов.

Для управления качеством дробления взорванной горной массы необходим постоянный мониторинг оптимизации параметров БВР, определяющих технико-экономические показатели основных технологических процессов. Известные математические модели расчета среднего диаметра куски горной массы и методы проектирования параметров БВР с учетом их физико-механических свойств не позволяют получать оптимальное качество дробления горной массы в связи с отсутствием методов управления параметрами БВР на основе средств оперативной оценки состояния среды до взрыва и гранулометрического состава. Кроме того, средний диаметр куски не является однозначной характери-

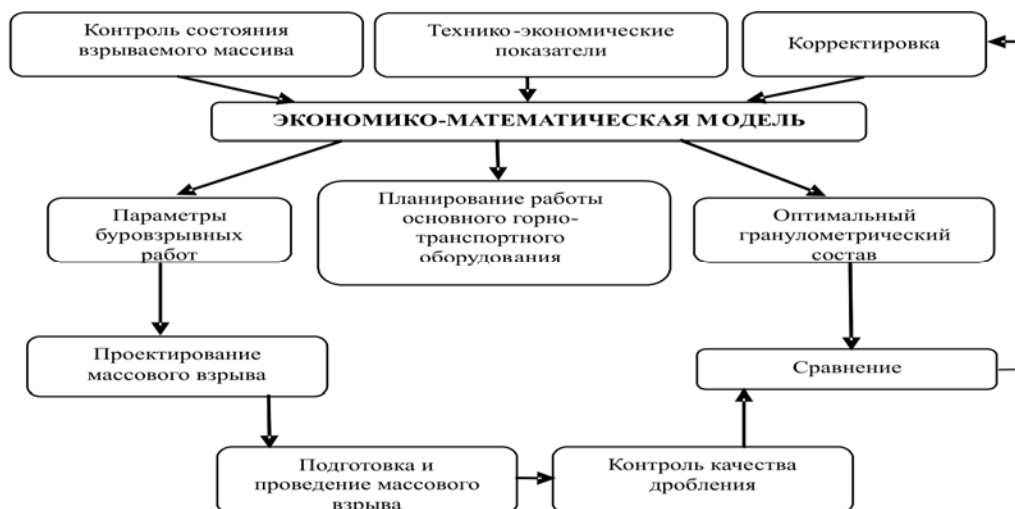


Рис.3. Алгоритм управления эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы

стикой гранулометрического состава горной массы, что обуславливает дополнительные ошибки при составлении алгоритма управления технологическими процессами.

С целью анализа влияния изменений параметров БВР на производительность горно-транспортного оборудования и себестоимость добычи полезного ископаемого нами разработана компьютерная программа алгоритма управления эффективными параметрами БВР, предусматривающая оперативный контроль прочностных свойств взрываеваемых пород и их качество дробления, выбор эффективных параметров БВР на основе математического описания кусковатости, сравнение полученного качества дробления горной массы с прогнози-

руемым и корректировку параметров БВР для последующих взрывов в идентичных условиях по установленным отклонениям с выведением результатов выбора оптимальных решений вариантов по минимуму суммарных затрат на добычу и переработку полезного ископаемого (рис. 3).

Таким образом, применение энергосберегающих технологий в управлении взрывной подготовкой пород и разработанный алгоритм управления эффективными параметрами БВР по критерию качества горной массы на открытых разработках способствуют повышению производительности горно-транспортного оборудования и снижению себестоимости добычи полезного ископаемого. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Бибик И.П. – кандидат технических наук, доцент, заместитель главного инженера по инновационным технологиям, Центральное рудоуправление Государственного предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат».
E-mail: Bibik_GVU@rambler.ru