

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-3-22-29

УДК 622.232

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПЕНОГЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАБОЙКИ СКВАЖИН**SUBSTANTIATION OF RATIONAL COMPOSITION OF FOAMING GEL FOR TAMPING OF WELLS****Катанов Игорь Борисович,**

доктор техн. наук, профессор, e-mail: kib.rmpio@kuzstu.ru

Igor B. Katanov, Dr. Sc. in Engineering

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, street Vesennyaya, Kemerovo, 650000,
Russian Federation

Аннотация:

Заключается в повышении производительности выемочно-погрузочного оборудования на угольных разрезах. Решение этой проблемы возможно за счет качественной подготовки горной массы взрывом. Изменение параметров взрывного дробления массива горных пород методом скважинных зарядов, использование различных конструкций скважинных зарядов, способов их размещения в массиве и взрывание позволяют добиться необходимых параметров степени дробления, разрыхления и развала. Управлять качеством подготовки пород к выемке возможно за счет вида ВВ, конструкции скважинного заряда, его пространственного размещения в массиве, последовательностью взрывания и замедления, числом рядов скважин, величиной и материалом забойки. Наиболее перспективным способом повышения эффективности взрывных работ является использование забойки на основе пеногелей. Если после заряжания скважины взрывчатым веществом и монтажа взрывной сети пространство над столбом заряда заполнять низкоплотным составом – пеногелем. Такая конструкция забойки позволяет качественно улучшить эффективность запираания продуктов взрыва в зарядной камере скважины и тем самым увеличить КПД взрыва. Необходимо обеспечить экономическую эффективность процесса. Поэтому рассматриваются составы пеногелей с рациональным соотношением компонентов, обеспечивающих стабильную забойку не менее времени смены.

Цель работы: состоит в том, чтобы подобрать наиболее рациональный состав пеногелей, обеспечивающих не только условия для качественной подготовки горной массы взрывом, но и снижения себестоимости буровзрывных работ.

Методы исследований: включают анализ методов увеличения стойкости пены во времени, физическое моделирование процесса приготовления пеногелей; технико-экономический анализ с использованием стоимостных параметров.

Результаты: заключаются в рекомендации по выбору состава пеногелеобразующих веществ с рациональным соотношением компонентов.

Ключевые слова: экскаватор, производительность, буровзрывные работы, пена, гель, затраты, экономическая эффективность

Abstract:

The purpose of the discussed issue is Is to improve the performance of the mining and loading equipment for coal mines. The solution to this problem is possible due to the high-quality preparation of rock mass explosion. Changing the parameters of the explosive crushing of rock mass by the method of well charges, the use of various designs of well charges, methods of their placement in the array and blasting allow to achieve the necessary parameters of the degree of crushing, loosening and collapse. It is possible to control the quality of rock preparation for dredging due to the type of explosive, the design of the well charge, its spatial placement in the array, the sequence of explosion and deceleration, the number of rows of wells, the size and material of the bottom hole. The most promising way to improve the efficiency of blasting operations is the use of face-down on the basis of foams. If, after charging the well with explosives and installation of the explosive network, the space

above the charge column is filled with a low – density composition-foam gel. This design allows to improve the quality of the tamping of the explosion products locking in the charging chamber of the well and thereby increase the efficiency of the explosion. It is necessary to ensure the economic efficiency of the process. Therefore, we consider the composition of foams with a rational ratio of components that provide a stable slaughtering at least the time of change.

The main aim of the study consists in finding the most rational composition of foams, providing not only the conditions for high-quality preparation of rock mass by explosion, but also cost reduction in drilling and blasting operations.

The methods used in the study include the analysis of methods to increase foam stability in time, physical modeling of the process of making foaming gels; technical and economic analysis using the cost parameters.

The results consist in recommendations on the choice of the composition of foaming and gelling substances with the rational ratio of components.

Key words: excavator, productivity, drilling and blasting, foam, gel, costs, economic efficiency

Совершенствование технологии ведения взрывных работ, обеспечивающей безопасные и производительные условия эксплуатации экскаваторов с увеличенной емкостью ковша, является задачей, требующей внимания. С позиций оценки производительности экскаваторов качество взрывной подготовки пород к выемке характеризуется кусковатостью и разрыхленностью взорванной горной массы. Численно эти факторы принято измерять средним диаметром куска в развале и средним значением коэффициента разрыхления горной массы.

В конструкции скважинного заряда при прочих равных условиях значительную роль имеет материал и качество забойки. Забойка скважин предназначена для увеличения импульса продуктов детонации за счет продолжительности их воздействия на массив. На разрезах Кузбасса, т. ч. и на разрезе «Заречный» АО «СУЭК-Кузбасс» в качестве забойки, как правило, используется буровая мелочь. Величину забойки из буровой мелочи рекомендуется принимать пропорционально диаметру скважин [1-3].

Буровая мелочь и другие высокоплотные материалы, используемые в качестве забойки, обладают или высокими инерционными характеристиками, или высоким сцеплением со стенками скважины [4-11].

Наибольшим эффектом обладают забойки, которые обеспечивают запирание продуктов детонации за счет пережатия канала скважин. Такими обладает забойка переменной плотности, состоящая из комбинации твердого запирающего элемента, низкоплотного пористого материала и слоя бурового штыба на границе между низкоплотным составом (пеногелем) и ВВ. Твердый элемент длиной до 0,5 м, например, из дерева. Пеногели получают путем вспенивания водных растворов гелеобразующих веществ.

Свойство низкоплотной пористой забойки усиливать фугасное действие взрыва на массив в совокупности с возможностью пылеподавления обуславливает необходимость определения целесообразного соотношения в ее составе газообразного и жидкого компонентов.

Механизм действия этой конструкции забойки состоит в следующем. После заряжания скважины взрывчатым веществом пространство над зарядом заполняют буровым штыбом на высоту 0,5 м, а затем до уровня интенсивной трещиноватости массива породы от предыдущего взрыва заливают пеногелем. На пеногель устанавливают твердый элемент.

Эффект пережатия канала скважины в верхней части объясняется тем, что скорость распространения волны напряжения имеет конечное значение, и, в зависимости от блочности массива составляет в породе 800–3000 м/с, в воздухе 330 м/с, в воде 1500 м/с, а в низкоплотном составе (в зависимости от содержания в нем воздуха) всего 30–50 м/с [12].

С целью разработки технологии приготовления пеногелей для формирования конструкции скважинного заряда с низкоплотной забойкой и выбора наиболее рационального состава в лабораторных условиях проведен:

- выбор наиболее рационального состава компонентов пеногеля;
- физическое моделирование процесса приготовления пеногелей;
- исследование влияния внешней среды на изменение устойчивости пеногелей.

При выборе наиболее рационального состава компонентов пеногеля проведен анализ методов увеличения стойкости пен во времени.

Стабилизация пен специальными добавками. Этот метод предусматривает добавление в раствор ПАВ стабилизаторов. Их действие основано на увеличении вязкости растворов и замедлении за счет этого истечения жидкости. Другими словами, к действию кинетического фактора устойчивости, характерного для пенообразователей (ПАВ), добавляется структурно-механический фактор.

Все стабилизаторы можно подразделить на пять групп.

1. Вещества, повышающие вязкость самого пенообразующего раствора, их называют загустителями. Их добавляют в больших концентрациях. Это глицерин, этиленгликоль, метилцеллюлоза. Производные целлюлозы уже в коли-

честве 1–2% увеличивают вязкость раствора и устойчивость пены в десятки раз, а глицерин эффективен только при концентрации 15–20%.

2. Вещества, вызывающие образование в пленках жидкости коллоидных частиц. В результате очень сильно замедляется обезвоживание пленок. Коллоидные стабилизаторы являются более эффективными, чем вещества первой группы. К ним относятся: желатин, клей, крахмал, агар-агар. Эти вещества, взятые в количестве 0,2–0,3% от массы ПАВ, увеличивают вязкость жидкости в пленках более, чем в 100 раз, а устойчивость пен возрастает в 2–8 раз.

3. Вещества, полимеризующиеся в объеме пены. Полимеризация сильно увеличивает прочность пленок. Возможен даже их переход в твердое состояние. Это наиболее эффективные стабилизаторы, в качестве которых могут быть полимерные композиции, например, карбамидные смолы или латексы.

4. Вещества, образующие с пенообразователем нерастворимые в воде высокодисперсные осадки. Такие вещества бронируют пленки и препятствуют их разрушению. Это наиболее дешевые и широко распространенные стабилизаторы. К ним относятся соли тяжелых металлов: железа, меди, бария, реже алюминия. В пены вводят очень небольшие добавки этих веществ.

5. Вещества, участвующие в построении адсорбционных слоев на границе раздела «жидкость-газ». Введение всего 0,05% спирта в растворы пенообразователей сильно снижает поверхностное натяжение, что приводит к повышению устойчивости пен. Ту или иную группу стабилизаторов выбирают в зависимости от требований к стойкости пены и технологических условий производства.

Попытки использовать водорастворимые полимеры для повышения устойчивости противопожарных пен показали, что для бинарных композиций введение в пенообразующий состав сополимера в концентрации 0,01–0,5% приводит к повышению устойчивости пены до 14 раз, а время ее полного разрушения возрастает до 1,5 раз. Добав-

ление в пенообразователь полиакриламида высокой молярной массы в концентрации 0,01–0,5% повышает устойчивость пены в 18 раз, а время ее полного разрушения увеличивается в 2 раза. Поэтому добавление в пенообразователь полиакриламида наиболее эффективно для повышения устойчивости противопожарной пены и увеличения скорости тушения пожара нефтепродуктов [13].

Трехфазные пены. Тонкоизмельченные твердые вещества, такие как тальк, асбест, кварц, сажа при равномерном распределении на поверхности пузырьков упрочняют пленки и продлевают жизнь пены. Образование такой пены происходит за счет прилипания твердых минеральных частиц к пузырькам пены, обусловленного взаимодействием между поверхностью твердой частицы и полярными группами ПАВ.

Гидрогели образуются при смешивании гелеобразующего вещества, в качестве которого чаще всего используется водный раствор жидкого стекла (Na_2SiO_3) по ГОСТ 13078-81, с электролитом-коагулятором, например водным раствором аммиачной селитры ($NaNO_3$), соляной кислоты (HCl) или однозамещенным фосфатом натрия ($Na_2H_2PO_4$), хлоридом кальция двухводным ($CaCl_2$) по ГОСТ 4161-77 с концентрацией растворов от 1 до 10%.

При смешивании Na_2SiO_3 с $CaCl_2$ происходит реакция, при которой образуется малорастворимое вещество: $CaSiO_3 + 2NaCl$. Так как $CaSiO_3$ имеет $PR = 4,4 \cdot 10^{-9}$, то такой гель «схватывается» практически сразу после смешивания компонентов. При малой концентрации электролита-коагулятора до 1% время гелеобразования относительно велико, а при его избытке ($\geq 5\%$) начинается процесс расслоения системы с видимым ее разрушением. При интенсивном смешивании указанного выше геля с пенообразователем, образуется пеногель [12]. Оптимальное содержание хлористого кальция определяется способностью геля удерживать влагу и от соотношения величин стойкости и кратности.

Таблица 1. Характеристика устойчивости пеногелей к разрушению

Состав пеногеля	Кратность, K	Стойкость в течение 12 ч, %
3 % Na_2SiO_3 + 2 % $CaCl_2$ + 1% ПО-3А	5,0-10,0	70
3 % Na_2SiO_3 + 2 % $CaCl_2$ + 1,5 % ПО-3А	3,0-5,0	75
3 % Na_2SiO_3 + 2 % $CaCl_2$ + 2 % ПО-3А	3,0-5,0	80
3 % Na_2SiO_3 + 1,5 % $CaCl_2$ + 1,5 % $NaCl$ + 1 % ПО-3А	2,0-5,0	90
3 % Na_2SiO_3 + 2 % $CaCl_2$ + 1 % $NaCl$ + 1 % ПО-3А	5,0-10,0	90
3 % Na_2SiO_3 + 1,5 % $CaCl_2$ + 1,5 % $NaCl$ + 2 % ПО-3А	5,0-10,0	98
5 % Na_2SiO_3 + 6 % $(NH_4)_2SO_4$ + 50% ПО-1НCB	6,0-10,0	95

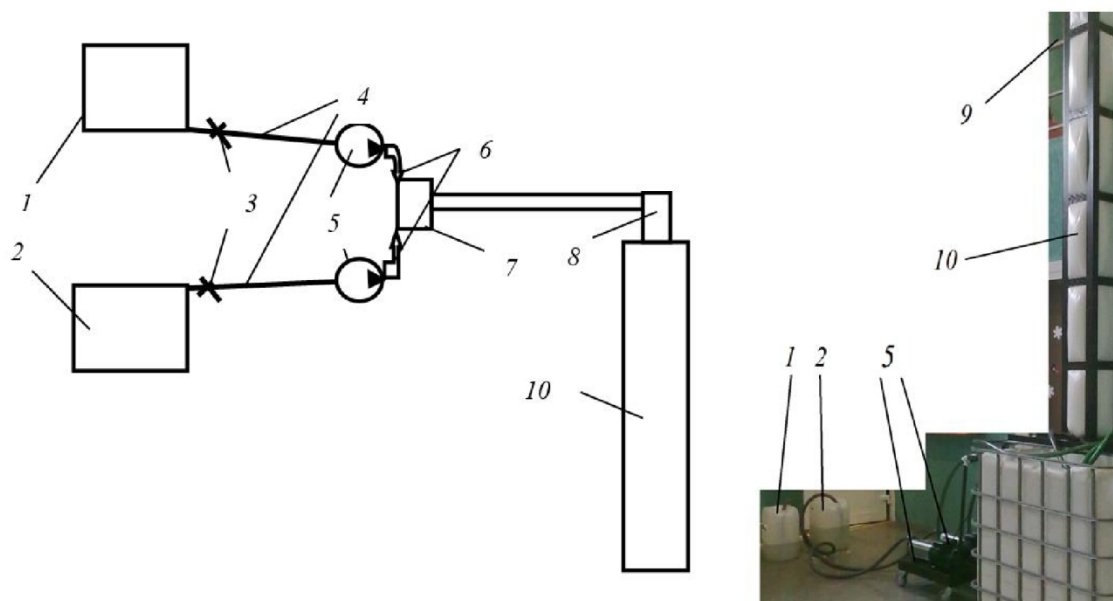


Рис. 1. Схема лабораторной установки-стенда: 1, 2 – емкости; 3 – запорные краны; 4 – трубопроводы; 5 – насосы; 6 – шланги; 7 – смеситель-рукав; 8 – пеногенератор; 9 – ферма; 10 – полиэтиленовая оболочка

Fig. 1. Scheme of laboratory installation-stand: 1, 2 – containers; 3 – shut-off valves; 4 – pipelines; 5 – pumps; 6 – hoses; 7 – mixer-hose; 8 – foam generator; 9 – frame; 10 – polyethylene shell

Анализ лабораторных испытаний показал, что пеногели, в состав которых входит хлорид кальция 3% концентрации, характеризуются незначительным влагопоглощением. Однако при изменении кратности в интервале от 2 до 10, устойчивость к разрушению силикатных пеногелей с добавкой пенообразователя до 2% масс изменяется в зависимости от времени. Поэтому для повышения устойчивости было предложено в этот состав добавит натрия хлористый ГОСТ Р 51574-2000.

Экспериментальный подбор режима электролитической коагуляции позволил установить рациональную концентрацию электролита коагулятора.

На устойчивость к разрушению был испытан состав пеногеля с повышенным до 50% водным раствором пенообразователя ПО-1НСВ, 5% водным раствором жидкого стекла, 6% водным раствором сульфата аммония. Несмотря на повышенную концентрацию пенообразователя, устойчивость этого пеногеля практически не отличалась от составов, указанных в табл. 1.

В результате лабораторных экспериментов установлено, что кратность вспенивания зависит, в основном, от объема сжатого воздуха, и, в меньшей степени, от концентрации пенообразователя.

Для приготовления пеногеля была использована лабораторная пеногенирующая установка (рис. 1). В емкости 1 готовится водный раствор первого компонента с добавкой пенообразователя, т. к. растворы этих веществ в реакцию не вступают. Во вторую емкость 2 заливают водный рас-

твор электролита-коагулятора. Емкости 1 и 2 соединены трубопроводам 4 с насосами 5 через запорные краны 3. Затем по шлангам 6 растворы поступают в смеситель-рукав 7 и пеногенератор 8, из которого сливается пеногель в полиэтиленовую оболочку 10, закрепленную в вертикальной ферме 9, сваренной из уголков. Ферма 9 с полиэтиленовой оболочкой 10 имитируют незаряженную ВВ часть скважины. Диаметр оболочки 10 составляет 0,2 м, что соответствует реальному диаметру скважины. Время заполнения полиэтиленовой оболочки 10 составляет около 12 с. Эксперименты по приготовлению пеногеля и заливке его в полиэтиленовую оболочку 10 позволяют приблизить условия лабораторных исследований к производственным.

Для приготовления пеногеля была использована лабораторная пеногенирующая установка (рис. 1). В емкости 1 готовится водный раствор первого компонента с добавкой пенообразователя, т. к. растворы этих веществ в реакцию не вступают. Во вторую емкость 2 заливают водный раствор электролита-коагулятора. Емкости 1 и 2 соединены трубопроводам 4 с насосами 5 через запорные краны 3. Затем по шлангам 6 растворы поступают в смеситель-рукав 7 и пеногенератор 8, из которого сливается пеногель в полиэтиленовую оболочку 10, закрепленную в вертикальной ферме 9, сваренной из уголков. Ферма 9 с полиэтиленовой оболочкой 10 имитируют незаряженную ВВ часть скважины. Диаметр оболочки 10 составляет 0,2 м, что соответствует реальному диаметру скважины. Время заполнения полиэтиленовой

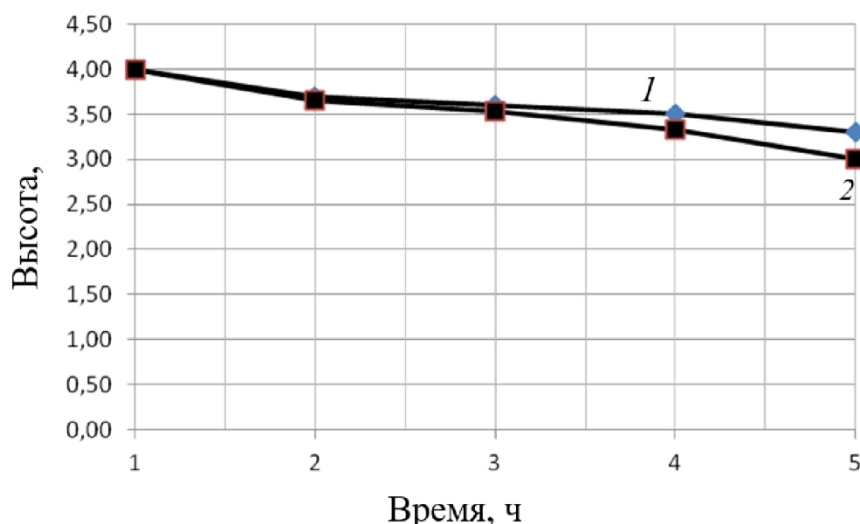


Рис. 2. Изменение высоты колонки пеногелевой забойки после заливки в скважину: 1, 2 – соответственно с 2% и 50% концентрацией пенообразователя

Fig. 2. Change of height of the column of a foam-gel stemming after filling in a well: 1, 2 – respectively with 2% and 50% concentration of a foaming agent

оболочки 10 составляет около 12 с. Эксперименты по приготовлению пеногеля и заливке его в полиэтиленовую оболочку 10 позволяют приблизить условия лабораторных исследований к производственным.

Время, необходимое для забойки скважины пеногелем, определяется производительностью зарядной машины. Производительность насосов обеспечивают приготовление пеногеля кратностью 8-10 за время, отпущенное на забойку скважины. Поэтому с учетом времени на перенос шланга с пеногенератором от скважины к скважине производительность установки вполне обеспечивает процесс забойки скважин без задержки.

Для того, чтобы предотвратить на практике непосредственный контакт пеногеля с ВВ и обес-

печить требование п. 186 ФНиП [14] при забойке скважин пеногелем были использованы гидроизолирующие рукава. В этом случае более рационально используется пеногель, с одной стороны, и, с другой стороны, можно управлять величиной необходимого количества пеногеля, создающего запирающий эффект. Влияние внешней среды в производственных условиях изменение устойчивости пеногелей иллюстрируется зависимостями (рис. 2).

К моменту взрыва во всех скважинах столб пеногелевой забойки должен быть примерно одинаковым и составлять около 4 м. Для реализации этого условия на практике необходимо в первые 3–5 скважин заливать пеногель до устья, а затем через каждые 7-10 скважин уменьшать высоту

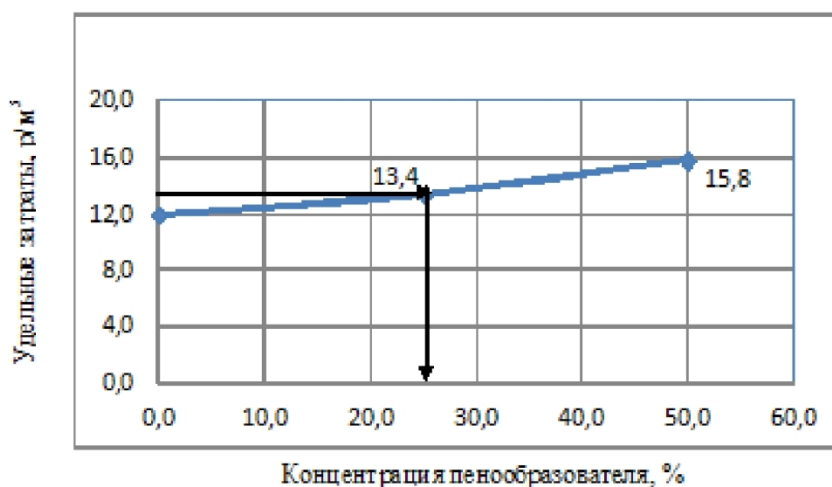


Рис. 3. Изменение удельных затрат на взрывные работы в зависимости от концентрации пенообразователя в пеногеле

Fig. 3. The change in the cost of blasting, depending on the concentration of foaming agent in the foaming gel

Таблица 2. Исходные данные для расчета удельных затрат

Наименование показателей	Единица измерения	Кол-во
1. Годовой объем взорванной горной массы, $V_{гм}$	тыс. м ³	22000
3. Расчетный удельный расход ВВ, $q_{вв}$	кг/м ³	0,52
3. Средняя стоимость ВВ, $Ц_{вв}$	р./т	21500
4. Средняя производительность бурового станка DML, $Q_{смб}$	т/смену	525
5. Диаметр скважин, $d_{скв}$	м	0,2
6. Длина забойки, h_3	м	4
7. Глубина скважин, $h_{скв}$	м	15
8. Объем забойки, V_3		
- всего на разрешенный объем взрыва	м ³	85
- на одну скважину	м ³ /скв.	0,125
9. Разрешенный объем взрыва, $V_{гм1}$	тыс. м ³	365
10. Средняя зарплата рабочего, $З_p$	тыс. р./мес.	50

Таблица 3. Стоимость компонентов пеногелеобразующих составов

Наименование	Цена, р./кг	Наименование	Цена, р./кг
Жидкое стекло	28,35	Пенообразователь ПО-3А	85,00
Кальций хлористый	44,88	Пенообразователь ПО-1НСВ	114,00
Натрий хлористый	10,00	Вода	0,035
Сульфат аммония	40,00		

пеногеля на 0,25 м. Тогда к моменту взрыва во всех скважинах столб пеногеля будет примерно 3 м, что вполне обеспечит запирающий эффект продуктов взрыва [15, 16].

Для проведения эксперимента по подготовке горной массы к выемке был выбран блок Зв-322в с породным массивом из песчаника крепостью $f = 5,5$ по шкале М. М. Протодяконова. Бурение скважин диаметром 0,2 м, проводилось буровым станком DML № 1200. Глубина скважин составляла 15 м. На контрольном участке блока Зв-322в забойка скважин проводилась по применяемой на разрезе технологии, т. е. буровой мелочью.

При экскавации горной массы производительность экскаватора РН-2300 № 2387 вместимостью ковша 25 м³ на экспериментальном участке увеличилась с 13 до 15 тыс. м³ в смену.

Оценка экономической целесообразности применения пеногелевой забойки основана на сравнении с технологией ведения взрывных работ, характерной для угольного разреза «Заречный».

Техническим результатом новой технологии ведения взрывных работ является возможность расширения сетки скважин. Это значит, что выход горной массы с 1 погонного метра скважин пропорционально увеличивается, а удельный расход ВВ уменьшается.

Укрупнено удельные затраты на буровзрывные работы можно выразить:

$$C_{бвр} = C_{бур} + C_{вм} + C_{заб},$$

где $C_{бур}$, $C_{вм}$, $C_{заб}$ – удельные затраты, отнесенные на 1 м³ взорванных пород по элементам затрат соответственно бурения скважин, ВВ и забойки скважин, р./м³.

Себестоимость бурения скважины (р./м³)

$$C_{бур} = \frac{C_{смб}}{Q_{смб}ab},$$

где $C_{смб}$ – стоимость машино-смены бурового станка с дизельным приводом ориентировочно равно $C_{смб} = 5800e^{8,2d_{скв}}$, р./смену; $Q_{смб}$ – сменная производительность бурового станка, м/смену; a, b – параметры сетки скважин, м; $d_{скв}$ – диаметр скважины, м.

В работе [7] показана возможность определять удельные затраты на взрывчатые материалы (р./м³) через удельный расход ВВ

$$C_{вм} = 1,1Ц_{вв}q_{вв},$$

где $Ц_{вв}$ – средняя цена ВВ, р./кг; $q_{вв}$ – удельный расход ВВ, кг/м³.

Удельные затраты по элементу забойка скважин определится из условия сравнения затрат на оплату труда помощника взрывника, при норме твердой забойки на человека в смену $n_3 = 4,5$ т и затрат на забойку пеногелем, учитывающим стоимость пеногеля и затраты на оплату труда рабо-

чих. Расчетное количество рабочих, осуществляющих забойку скважин буровой мелочью определяется

$$N_p = \pi d_{\text{скв}}^2 h_3 / 4ab h_{\text{скв}} n_3,$$

где h_3 , $h_{\text{скв}}$ – соответственно высота забойки и скважины, м) и составит 9 человек.

В то же время пеногелевую забойку на такой же объем взрывающей горной массы осуществляют 3 человека.

В скважину диаметром 0,2 м заливается 0,125 м³ пеногеля, тогда стоимость такой забойки можно определить

$$C_{\text{пгзаб}} = 0,125 \frac{3_{\text{пг}}}{Kab h_{\text{скв}}},$$

где $3_{\text{пг}}$ – затраты на приготовление 1 т растворов, руб.; K – кратность пеногеля, ед.

Изменение содержания пенообразователя в составе пеногеля влияет на стоимость одной тонны растворов. В то же время затраты на забойку из буровой мелочи прием равными нулю.

Расчет удельных затрат на буровзрывные работы по приведенной выше методике с использованием данных табл. 2 и 3 позволил получить зависимость изменения удельных затрат на взрыв-

ные работы при использовании пенообразователя с различной концентрацией (рис. 3).

Удельные затраты на буровзрывные работы с использованием забойки из буровой мелочи составили 13,4 р./м³.

Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения новой технологии ведения взрывных работ определяется

$$\Xi = (C_b - C_n)A,$$

где C_b, C_n – удельные затраты на взрывную подготовку вскрышных пород по базовому и предлагаемому варианту, р./м³; A – объем взорванной породы, м³.

Таким образом, при использовании забойки из пеногеля с концентрацией пенообразователя 2%, экономический эффект составит около 40 млн. р./год. При увеличении концентрации пенообразователя в составе пеногеля до 25% экономический эффект снизится до нуля. При концентрации пенообразователя в составе пеногеля более 25% его применение становится экономически невыгодным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Репин, Н. Я. Буровзрывные работы на угольных разрезах / Н. Я. Репин, В. П. Богатырёв, В. Д. Буткин, А. С. Ташкинов. – М.: Недра, 1987. – 254 с.
2. Кутузов Б. Н. Проектирование и организация взрывных работ: Учебник / Под общ. ред. Проф. Б. Н. Кутузова. – М.: изд. «Горная книга», 2012. – 416 с.
3. Кук, М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. Пер. с англ. под ред. Г. П. Демидюка, Н. С. Бахарева. – М.: Недра, 1980. – 453 с. – Пер. изд.: США, 1974.
4. K. Hino. Effect of Discontinuity of Rock on Fragmentation. Journal of the Industrial Explosives Society, Japan., Vol. 18, № 4, (1957).
5. T. Sakurai. On measurement of blasting energies by ballistic mortar. Journal of the industry. Explosives. Society. Japan. V. 20, № 1, March, (1959).
6. J. M. Walsh and R. H. Christian, Phys. Rev. 97, 154.
7. R. Raspet, P. Butler, F. Yahani. The effect of material properties on reducing intermediate blast noise // Appl. Acoust. V. 22, № 3. P. 243-259. (1987).
8. R. Raspet, S. Griffiths. The reduction of blast noise with aqueous foam // J. Acoust. Soc. Amer. V. 74, № 6. P. 1757-1763. (1983).
9. J. Rowers, H. Krier. Blast waves attenuation by cylindrical reflecting barriers // UILD ENG-84-4014. (1984).
10. T. D. Panczak, P. B. Butler, H. Krier. Shock propagation and blast attenuation through aqueous foams // J. Haz. Mater. V. 14, № 4. P. 321-336. (1987).
11. J. Rowers, H. Krier. Attenuation of blast waves when detonating explosives inside barriers // J. Haz. Mater. V. 13, № 1. P. 121-133. (1987).
12. Катанов, И. Б. Низкоплотные материалы в конструкции скважинных зарядов на карьерах / И. Б. Катанов, В. С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 124 с.
13. Любимов, В. Н. Использование водорастворимых полимеров для повышения устойчивости противопожарных пен / В. Н. Любимов, А. И. Скушника // Безопасность в техносфере, № 4 (июль–август), 2014. С. 55-58.
14. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Утверждены Приказом Ростехнадзора от 16.12.2013 № 605. – Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2014 – 280 с.

15. Катанов, И. Б. Совершенствование конструкции скважинного заряда с пеногелевой забойкой / И. Б. Катанов, П. Г. Скачилов // Вестник КузГТУ, № 5 (111), 2015. С. 43-45.
16. Катанов, И. Б. Обоснование рациональной производительности устройства для пеногелевой забойки / И. Б. Катанов, П. Г. Скачилов // Вестник КузГТУ, № 4 (116), 2016. С. 65-71.
17. Сысоев, А. А. Инженерно – экономические расчеты для открытых горных работ: уч. пос. – Кемерово :ГУ КузГТУ, 2005. – 179 с.

REFERENCES

1. Repin, N. J. Blasting works in coal mines / N. Y. Repin, V. P. Bogatyryov, V. D. Botkin, A. S. Tashkinov. – M.: Nedra, 1987. – 254 с.
2. Kutuzov B. N. Design and organization of blasting operations: the Textbook /Under the General editorship of Prof. B. N. Kutuzov. - M.: ed. "Mountain book", 2012. - 416 p.
3. Cook, M. A. the Science of industrial explosives. Per. from English. ed. by G. P. Demeduk, N. S. Bakharev. – M.: Nedra, 1980. – 453 S. – TRANS. ed.: USA, 1974.
4. K. Hino. Effect of Discontinuity of Rock on Fragmentation. Journal of the Industrial Explosives Society, Japan., Vol. 18, № 4, (1957).
5. T. Sakurai. On measurement of blasting energies by ballistic mortar. Journal of the industry. Explosives. Society. Japan. V. 20, № 1, March, (1959).
6. J. M. Walsh and R. H. Christian, Phys. Rev. 97, 154.
7. R. Raspet, P. Butler, F. Yahani. The effect of material properties on reducing intermediate blast noise // Appl. Acoust. V. 22, № 3. P. 243-259. (1987).
8. R. Raspet, S. Griffiths. The reduction of blast noise with aqueous foam // J. Acoust. Soc. Amer. V. 74, № 6, P. 1757-1763. (1983).
9. J. Rowers, H. Krier. Blast waves attenuation by cylindrical reflecting barriers // UILD ENG-84-4014. (1984).
10. T. D. Panczak, P. B. Butler, H. Krier. Shock propagation and blast attenuation through aqueous foams // J. Haz. Mater. V. 14, № 4. P. 321-336. (1987).
11. J. Rowers, H. Krier. Attenuation of blast waves when detonating explosives inside barriers // J. Haz. Mater. V. 13, № 1. P. 121-133. (1987).
12. Katanov, I. B. low-Density materials in the design of borehole charges in the quarries / I. B. Katanov, V. S. Fedotenko. - Кемерово: Kuzbassvuzizdat, 2012. - 124 p.
13. Lyubimov, V. N. The use of water-soluble polymers for increasing the sustainability of fire foams / V. N. Lyubimov, A. I. Soshnikova // Safety in technosphere, No. 4 (July–August), 2014. P. 55-58.
14. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Rules of safety during blasting operations". Approved by the order of Rostekhnadzor from.
15. Katanov, I. B. Improvement design borehole charge with foam gel tamping / I. B. Katanov, P. G. Skochilov // Vestnik KuzGTU, No. 5 (111), 2015. P.43-45.
16. Katanov, I. B. Rationale the performance of the device for peopleway tamping / I. B. Katanov, P. G. Skochilov // Vestnik KuzGTU, No. 4 (116), 2016. P. 65-71.
17. Sysoev, A. A. Engineering – economic calculations for open pit RA-bot: Uch. POS. – Кемерово :Kuzbass STU, 2005. - 179 p.

Поступило в редакцию 14.06.2018
Received 14.06.2018