

жидкости = 500 м.) скважины. Это еще раз подтверждает вывод автора, ранее сделанный в [6], что опасение применения пульсирующего способа промывки при бурении скважин большой глубины с помощью погружных пневматических вытеснителей не обоснованно.

### **Библиографический список**

1. **Филимоненко Н.Т., Ивачев Л.М., Чистяков В.К.** Расчет необходимой скорости восходящего потока промывочной жидкости при промывке скважин пульсационным пневмонасосом. Депонировано УкрНИИТИ, № 1737Ук-85. 1985.
2. **Филимоненко Н.Т.** О режимном параметре пульсирующей промывки скважин. Межвузовский научно-тематический сборник. Вып. 21. — Уральская гос. горно-геол. академия, Екатеринбург, 1998. — С. 125–132.
3. **Филимоненко Н.Т.** К вопросу расширения возможностей призабойной пульсирующей промывки скважин. Сборник научных трудов национальной горной академии Украины №2, том 2. — Днепропетровск, 1998. — С. 260–263.
4. **Филимоненко Н.Т.** К расчету минимально необходимой скорости пульсирующего восходящего потока жидкости Сборник научных трудов национальной горной академии Украины № 6, том 4. — Днепропетровск, НГАУ, 1999. С. 89–92.
5. **Филимоненко Н.Т., Поцепаев В.В.** К расчету минимально необходимой скорости пульсирующего восходящего потока жидкости Межвузовский научно-тематический сборник. Уральская гос. Горно-геол. Академия. Вып. 23. — Екатеринбург, 2000. С. 92–96.
6. **Филимоненко Н.Т.** О возможности применения пульсирующей промывки при бурении глубоких скважин. Сб. науч. трудов ДонГТУ. Серия горно-геологическая. Вып. 11. — Донецк, ДонГТУ, 2000. — С. 54–58.
7. **Сулакшин С.С.** Основы теории разрушения горных пород и удаления продуктов разрушения при бурении скважин. Томск, изд. ТГУ, 1964. — 264 с.
8. **Филимоненко Н.Т.** Результаты исследования движения неньютоновской жидкости по инерции при работе пульсационного пневматического вытеснителя Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. Вип.24. — Донецк, ДонГТУ, 2001. — С. 79–85.
9. **Филимоненко Н.Т., Комарь П.Л.** К вопросу прогнозирования интенсивности призабойной пульсирующей промывки применительно к неньютоновской жидкости // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые, 1993. — Вып 16. — С. 40–49.

© Филимоненко Н.Т., 2003

УДК 622.235.527.533

Докт.техн.наук ШЕВЦОВ Н.Р., инженеры КУПЕНКО И.В., ПУДАК В.И. (ДонНТУ)

### **К ВОПРОСУ ВОРОНКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛАХ**

Взрывные работы в вертикальных шахтных стволах ведутся длинношпуровым методом. Диаметр шпуров равен 52...53 мм. Применяется одно- или двухступенчатый воронкообразный вруб при глубине основных шпуров 4,5 м и вспомогательных — 3 м. Глубина отбойных и оконтуривающих шпуров составляет 4,0...4,2 м. Шпуры располагаются по концентрическим окружностям.

В настоящее время при проходке вертикальных шахтных стволов с круглой формой поперечного сечения, постоянная крепь ствола не позволяет пробурить буровой установкой оконтуривающие шпуры проектной глубины непосредственной

вдоль контура выработки — устья шпуров располагаются на расстоянии не менее 0,6 м от проектного контура ствола (в горизонтальных выработках это расстояние равно 0,1...0,3 м). Поэтому шпуры, расположенные по периферии ствола (оконтуривающие) располагают в два ряда: шпуры первого ряда (ближнего к врубу) имеют нормальную глубину и расчетный заряд, а шпуры второго ряда (ближнего к контуру выработки) имеют уменьшенную глубину, равную 1,5 м (для того, чтобы не допустить перебора породы и уменьшить трещинообразование в законтурном массиве). Именно короткие шпуры определяют точность проектного контура ствола и недопущение недобора породы. Шпуры обоих рядов оконтуривающих шпуров имеют одинаковый наклон к горизонтали (примерно 850) и их заряды взрываются за один прием.

В качестве взрывчатого вещества применяется аммонал скальный № 1 прессованный в патронах массой 0,4 кг, диаметром 45 мм и длиной 180 мм. Масса шпурового заряда в отбойных и длинных оконтуривающих шпурах составляет 4 кг (ЛНС равна 3,30...3,32 м), а в коротких оконтуривающих — 1,6 кг (ЛНС равна 1,15 м).

Взрывание шпуровых зарядов производится в подтопленном по всему сечению забое. В качестве запирающей забойки применяется гранулированный шлак (насыпная плотность равна 1300 кг/м<sup>3</sup>) [1].

Многолетний опыт проходки вертикальных шахтных стволов в Донбассе свидетельствует, что и при соблюдении изложенных технологических параметров имеют место отказы и неполные детонации, особенно при инициировании всего забойного комплекта шпуровых зарядов ВВ электродетонаторами замедленного действия. [1].

Учитывая, что патроны ВВ прессованные, шпуры перед заряданием тщательным образом очищаются от породной мелочи, а также то, что шпуры заполнены водой, наличие которой исключает возникновение откольных явлений, основной причиной отказов и неполных детонаций в данных условиях может быть только смещение относительно друг друга патронов ВВ в процессе взрывания забойного комплекта зарядов. [2]

Как показали шахтные замеры [3], подвижка патронов в шпуре от действия ранее взрывающихся зарядов может иметь место еще до начала разрушения горного массива. Данное явление обусловлено в основном действием волн разряджения со стороны забоя ствола.

При замедленном взрывании шпуровых зарядов раздвижка патронов может иметь место, если шпуры оказываются в пределах воронки взрыва зарядов предыдущей серии замедления. В этом случае вместе с породой переместится и забойка в этих шпурах, которая потянет за собой проводники электродетонаторов и патроны. В результате электродетонатор может выдернуться из гнезда патрона ВВ, или же сместиться вдоль шпура патрон-боевик. Обе ситуации приведут к отказу.

Согласно теории Ливингстона [4], объем воронки взрыва зависит прежде всего от общей потенциальной энергии заряда, глубины заложения и физико-механических свойств среды, в которой производится взрыв, причем для каждой среды существует оптимальная масса заряда и соответствующая ему глубина заложения, при которой объем воронки будет максимальным, — при увеличении заложения объем воронки уменьшается и при критической глубине заложения воронка не образуется вообще.

В то же время процесс воронкообразования от взрыва зарядов ВВ в вертикальных шпурах, заполненных водой, оставался практически не изученным.

В частности, в работе [5], взрываниями зарядов гранулированного тротила длиной 250 мм в грунте было показано, что в условиях эксперимента объем воронки взрыва в шпурах, заполненных водой, больше объема, получаемого при взрыве сухих зарядов при прочих равных условиях.

Цель работы заключается в повышении степени достоверности определения радиуса воронки взрыва заряда ВВ в вертикальных шпурах при различных условиях взрывания.

Конечно, если учесть все перечисленные факторы, то получим адекватную модель с множеством параметров, подлежащих идентификации, которую в шахто-строительной практике осуществить в каждом конкретном случае практически невозможно. Поэтому, принимая во внимание прикладной характер проводимых исследований, предполагается рассмотреть процесс воронкообразования в условиях максимально приближенных к буровзрывной технологии проходки вертикальных стволов. Для этого в качестве критерия принята теплота продуктов взрыва в шпуре, а именно:

$$Q' = Q_V \cdot m_{\text{зар}} \cdot (d_{\text{зар}}/d_{\text{ш}})^2, \quad (1)$$

где  $Q_V$  — потенциальная энергия взрыва, кДж/кг;  $m_{\text{зар}}$  — масса взрываемого заряда ВВ, кг;  $d_{\text{зар}}$  — диаметр заряда, мм;  $d_{\text{ш}}$  — диаметр шпура, мм.

Следовало установить, каким образом зависит радиус воронки взрыва от этого критерия, а также от крепости разрушаемых пород. Для этого были установлены и математически обработаны зависимости радиуса воронки взрыва ( $r$ ) от линии наименьшего сопротивления ( $w$ ) для различных зарядов ВВ в песке [6,7], в грунте и глине [5,8], в угольном пласте [9] и скальных горных породах различной крепости [10, 11, 12]. Причем заряды взрывались в горизонтальных и вертикальных «сухих» шпурах. Оказалось, что эти зависимости изменяются по параболическому закону, вид которого определяется не только физическими характеристиками и крепостью разрушаемой среды, но и теплотой взрыва  $Q'$ . Для каждой зависимости были определены максимальные значения радиуса воронки взрыва ( $r_{\text{max}}$ ) и соответствующие им величины  $Q'$ . По этим значениям была установлена зависимость  $r_{\text{max}} = f(Q')$ .

Однако, для установления общей закономерности недоставало экспериментальных данных по воронке взрыва при весьма малых значениях ЛНС. Поэтому в лабораторных условиях ДонНТУ были проведены взрывания зарядов ВВ в вертикальных шпурах, размещенных в блоках из эквивалентных материалов.

В качестве модельного материала применялась смесь из компонентов гипс: песок: мел в соотношении 5:4:1. По своим свойствам при масштабе моделирования 1:10 материал моделей соответствовал породам с коэффициентом крепости  $f = 8$  по шкале проф. Протодяконова. Шпуры не бурились, а при изготовлении моделей по центру каждой грани закладывались стержни диаметром 4,0, 4,4, 5,0 и 5,6 мм. В качестве ВВ применялся мелкодисперсный тэн с добавлением 25% хлорида натрия. Смесь помещалась в патрончики диаметром 3,6, 4,0, 4,5 и 5,0 мм из свернутой в три слоя кальки. Этим обеспечивалось постоянное отношение диаметра заряда к диаметру шпура равное 0,9. Средняя плотность патронирования была равна 1,0 г/см<sup>3</sup>. Иницирование зарядов производилось промежуточным зарядом тэна массой 0,08 г, инициируемого мостиком накаливания. В качестве забойки применялся сухой речной песок. Первоначальное напряжение в блоке в вертикальном направлении составляло 1,5 МПа, что примерно соответствует глубине ведения горных работ равной 900 м. Результаты этих лабораторных экспериментов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты экспериментальных взрываний одиночных зарядов ВВ в вертикальных шпурах, заполненных водой

Длина заряда ВВ, см	Длина забойки, см	ЛНС ( $w$ ), см	Радиус воронки взрыва ( $r$ ), см
4,0	4,0	6,0	5,3
3,8	4,2	6,1	6,1
3,0	5,0	6,5	6,7
2,4	5,6	6,8	7,2
6,0	2,0	5,0	5,5
5,7	2,3	5,2	7,3
4,5	3,5	5,8	7,2
3,6	4,4	6,2	7,3
7,8	0,1	4,0	5,5
7,6	0,4	4,2	7,2
6,0	2,0	5,0	7,3
4,8	3,2	5,6	7,4

Установленная зависимость приведена на рис. 1.

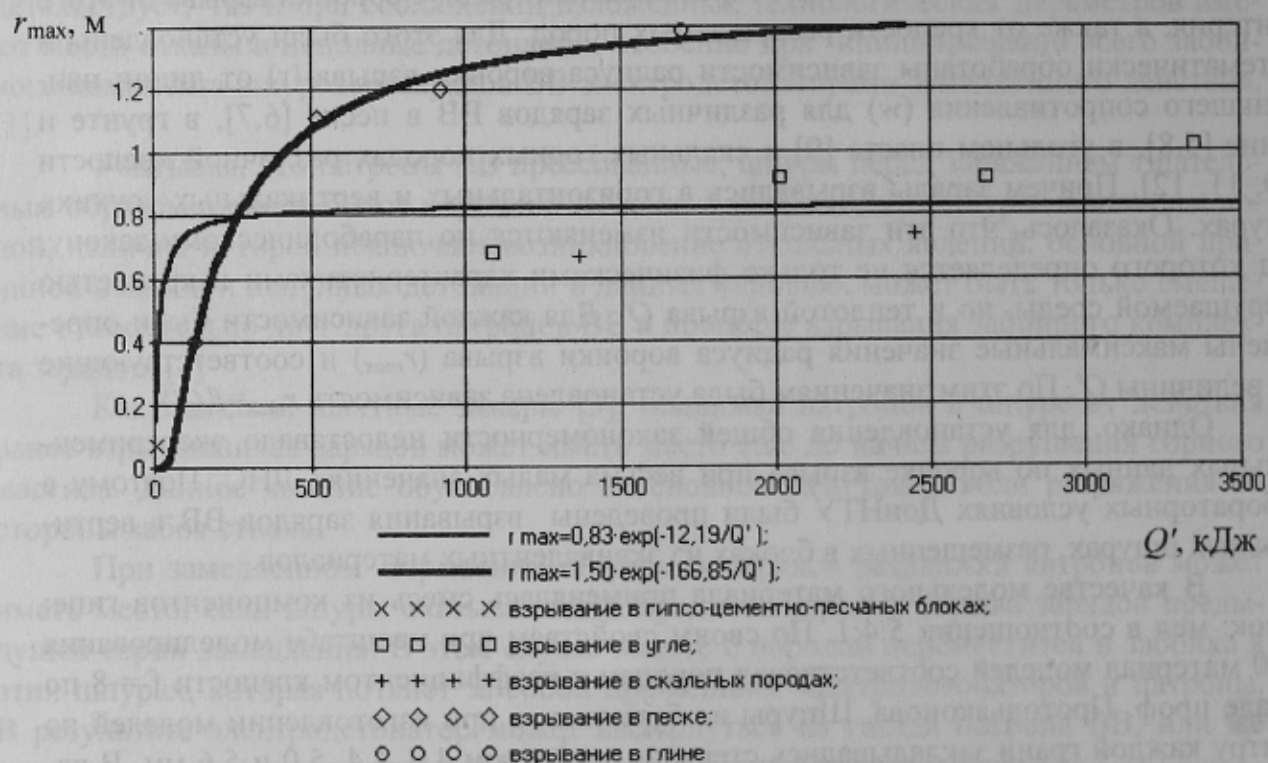


Рис. 1. Зависимость максимально возможного радиуса воронки взрыва от теплоты продуктов взрыва в зарядной камере

Из полученной зависимости вытекает два принципиальных вывода. Во-первых, при  $Q' < 350$  кДж  $r_{max}$  практически не зависит от свойств и крепости разрушаемой среды. Во-вторых, максимально возможный радиус воронки взрыва начиная с определенной величины теплоты взрыва практически не возрастает. Так, например, при взрывании в скальных породах предельное значение радиуса равно 0,83. Причем активный его рост прекращается начиная с  $Q' \approx 350$  кДж.

Эти положения были учтены при изучении радиуса воронки взрыва в вертикальных шпурах, заполненных водой.

Шахтные эксперименты проведены в условиях ствола на шахте «Заря» ПО «Снежноантрацит».

Методика исследований была следующей. В стволе производилось взрывание зарядов аммонала скального № 1 прессованного. Шпуры бурились перпендикулярно забою ствола. Причем схема их размещения была выбрана такой, чтобы взрыв одного шпурового заряда не воздействовал на соседний (расстояние между шпурами составляло не менее 1,7 м). Кроме того, проведен эксперимент, когда взрывался только один заряд в центральном шпуре (первая строка табл. 1). Диаметр шпуров принимался равным 52...53 мм, диаметр патронов — 45 мм. Породы — глинистые сланцы с  $f=7$ . При зарядании контролировались длина шпура и длина колонки заряда. Шпуры были полностью заполнены водой при высоте подтопления ствола не более 20 см от забоя. Взрывание осуществлялось электродетонаторами мгновенного действия ЭДКЗ-0П.

После взрывания производился замер образовавшихся в породном массиве воронок.

Воронку взрыва измеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По полученным данным строили профиль воронки. За диаметр основания воронки брали среднеарифметическое значение двух взаимно перпендикулярных диаметров.

Условия проведения шахтных экспериментов и полученные результаты сведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты экспериментальных взрываний одиночных зарядов ВВ в вертикальных шпурах, заполненных водой

Длина шпура, м	Длина заряда ВВ, м	ЛНС ( $w$ ), м	Радиус воронки взрыва ( $r$ ), м	Теплота взрыва ( $Q'$ ), кДж
3,0	1,62	2,18	0,60	14572
1,5	0,90	1,05	0,55	8096
3,0	1,08	2,46	0,25	9715
3,0	1,08	2,46	0,20	9715
4,5	1,80	3,62	0,15	16191

На рис. 2 нанесены значения радиуса воронки взрыва, приведенные в табл. 1 и заимствованные из упомянутой работы [5] с  $Q'=42...348$  кДж. Для сравнения здесь же нанесены известные значения радиуса воронки взрыва заряда ВВ в «сухих» шпурах, пробуренных в грунте [5] и в скальных породах, заимствованные из работ [8, 11, 12].

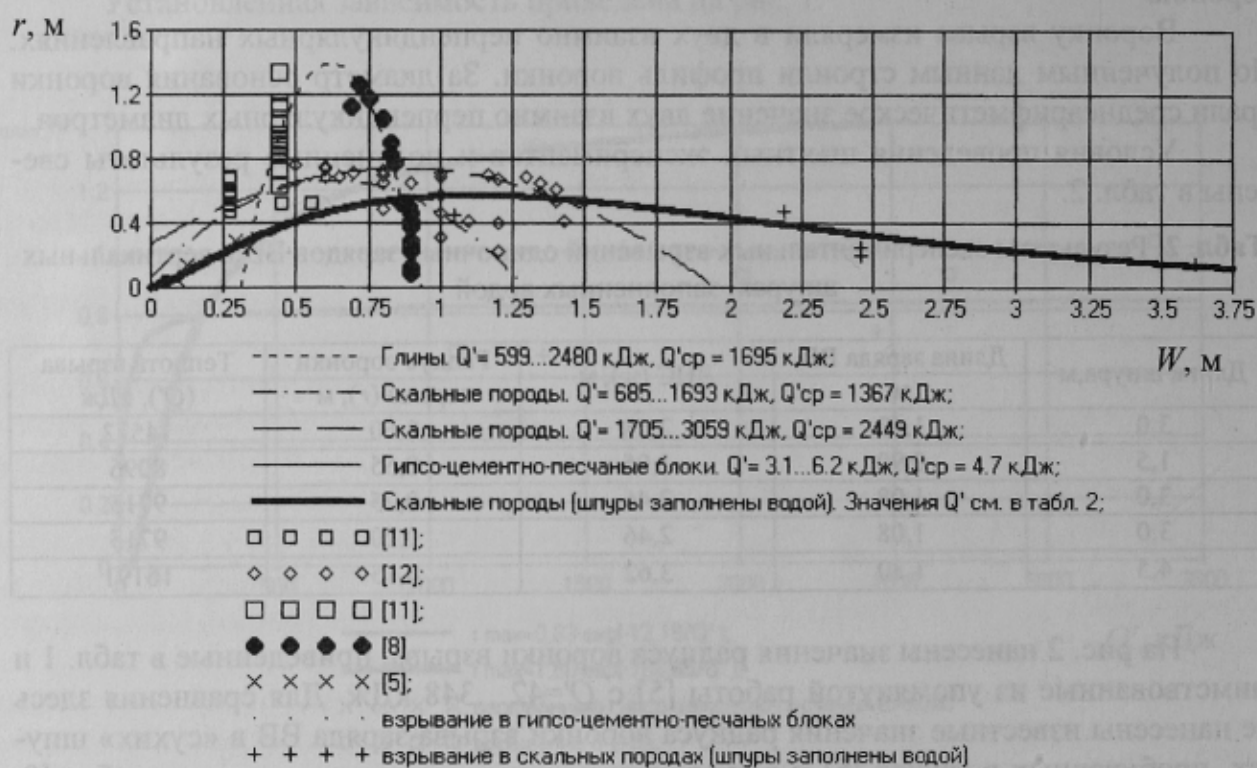
Закономерность изменения радиуса воронки взрыва заряда ВВ в вертикальных шпурах, заполненных водой, может быть представлена моделью в виде экспоненты (коэффициент корреляции равен 0,84), имеющей ненулевую горизонтальную асимптоту, а именно:

$$r=1,88 \cdot w^{1,33} \cdot e^{-1,19w} \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что взрыв заряда в водонаполненном шпуре образует воронку максимально возможного радиуса, равного 0,58 м, при величине ЛНС, равной 1,12 м.

Таким образом, в результате обобщения результатов известных исследований, лабораторных и шахтных экспериментов, проведенных авторами, уточнены характе-

ристики физических процессов, происходящих при взрыве, и на основе полученных результатов установлены причины нарушения сплошности шпуровых зарядов ВВ и недостаточной эффективности взрывных работ. Экспериментальными взрываниями установлено, что радиус воронки взрыва заряда в заполненных водой вертикальных шпурах глубиной 4,2 м не превышает 0,2 м, что примерно в 4 раза меньше принятого при проведении вертикальных шахтных стволов расстояния между шпурами, т.е. воронки от взрыва зарядов в отбойных шпурах не смыкаются между собой. Это означает, что весь комплект шпуровых зарядов взрывается в режиме, при котором обеспечивается рыхление, дробление и вспучивание породы без ее значительного выброса подъема вдоль ствола). Разрушение всей толщи пород, расположенной в месте размещения забойки происходит под действием разрушенных в районе размещения зарядов пород, а также откольных явлений. При этом высота разрушенной зоны вдоль каждого заряда составляет для действующей технологии примерно 2 м при радиусе разрушения вокруг каждого шпура равном 0,3...0,5 м. Действительно, расчеты, что при принятой конструкции заряда и забойки режим взрывания приближается к камуфлетному без выброса забойки (полный камуфлет) [13].



**Рис.2.** Зависимость радиуса воронки взрыва от линии наименьшего сопротивления при взрыве шпуровых зарядов ВВ в различных условиях

В то же время при взрыве зарядов в коротких оконтуривающих шпурах радиус воронки взрыва может достигать 0,4 м, т.е. превышать возможное на практике расстояние между устьями этих шпуров и длинных оконтуривающих шпуров. Поэтому при применении замедленного взрывания, заряды в коротких шпурах должны инициироваться электродетонаторами разных серий замедления, причем при таком интервале замедления взрыва, который превышал бы фактическое время срабатывания (с учетом стандартного времени разброса) электродетонаторов в зарядах длинных оконтуривающих шпуров. Например, заряды 5-й окружности будут инициироваться электродетонаторами ЭДЗД-10 (фактическое время срабатывания равно

1350...1850 мс), а 6-й — ЭДЗД-11 (фактическое время срабатывания равно 1900...2600 мс).

Работа будет продолжена в направлении более глубокого изучения степени влияния на процесс воронкообразования объемной концентрации энергии заряда и крепости разрушаемых пород.

При этом необходимо будет решить следующие конкретные задачи: уточнить модель изменения радиуса воронки взрыва на основе более детального исследования закономерности ее развития; разработать принципы определения оптимальных расстояний между шпурами с учетом всех факторов; уточнить и проверить в практических условиях основные положения методики расчета паспорта БВР с учетом недопущения воронкообразования опасных размеров.

Полученные результаты послужат основой новой технологии взрывных работ в вертикальных шахтных стволах.

### **Библиографический список**

1. **Бородуля Н.Ф.** Опыт скоростной проходки воздухоподающего ствола // *Технология и проектирование подземного строительства: Вестник*. — Донецк: Норд-пресс, 2002. — Вып. 2. — С. 137–142.
2. **Взрывные работы в опасных условиях угольных шахт** / Кутузов Б.Н., Бутуков А.Ю., Вайнштейн Б.И. и др. / Под общ. ред. Б.Н. Кутузова. — М.: Недра, 1979. — 373 с.
3. **Исследование** процесса раздвижки патронов в шпурах при взрывных работах в вертикальных шахтных стволах / Шевцов Н.Р., Купенко И.В., Лабинский К.Н. и др.: Сб. научн.пр. ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Вип. 45. — Донецьк: ДонНТУ, 2002. — С. 118–123.
4. **Liwingston C. W.** Fundamental Concepts of Rock Failure. "Quarterly of the Colorado School of Mines", Vol. 51, # 3, 1956.
5. **Светлов Б.Я. Яременко Н.Е.** Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. — М.: Недра, 1966. — 232 с.
6. **Поляк Г.А., Левчик С.П., Кукиб Б.Н.** Оценка эффективности предохранительных ВВ по результатам взрыва в песке // *Борьба с ядовитыми газами при взрывных работах и новые методы испытаний промышленных ВВ*: Сб. "Взрывное дело" № 68/25. — М.: Недра, 1970. — С. 111–116.
7. **Кукиб Б.Н., Иоффе В.Б., Александров В.Е.** Оценка работоспособности ВВ по результатам взрывов в песке // *Повышение эффективности и безопасности взрывных работ*: Сб. "Взрывное дело", № 84/41. — М.: Недра, 1973. — С. 210–213.
8. **Росинский Н.Л., Шевцов Н.Р.** К вопросу влияния длины заряда ВВ на эффективность взрывания // *Способы и средства снижения травматизма при взрывных работах в шахтах*: Сб. научн.тр. МакНИИ. — Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1984. — С. 35–37.
9. **Поляк Г.А., Вайнштейн Б.И.** О выборе метода оценки работоспособности предохранительных ВВ // *Безопасность взрывных работ в шахтах*: Сб. "Взрывное дело", № 72/29. — М.: Недра, 1973. — С. 210–215.
10. **Вайнштейн Б.И., Чернов М.С., Песоцкий М.П.** Анализ методов определения работоспособности ВВ // *Повышение эффективности и безопасности взрывных работ*: Сб. "Взрывное дело", № 84/41. — М.: Недра, 1982. — С. 75–83.
11. **Калякин С.А., Шевцов Н.Р.** Влияние условий гидровзрывания на энергетические показатели и работоспособность взрывчатых веществ // *Проблеми гірського тиску*. Випуск 8 / Під заг. ред. О.А. Мінаєва. — Донецьк, ДонНТУ, 2002. — С. 116–144.
12. **Адрианов Н.Ф., Головки Т.С., Козловский Б.В., Мамашев Ю.П.** Полевой метод сравнительной оценки работоспособности водосодержащих ВВ. Сб: взрывное дело № 74/31 // *Гранулированные и водосодержащие взрывчатые вещества*. — М.: Недра, 1974. — С. 96–100.
13. **Шевцов Н.Р., Фам Ван Лан, Михайлов А.Б.** Экспериментальные и теоретические исследования камуфлетного взрывания шпуровых зарядов ВВ // *Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах*: Сб. научн.тр. МакНИИ. — Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1998. — С. 226–233.

© Шевцов Н.Р., Купенко И.В., Пудак В.И., 2003