

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ
УСЛОВИЯХ ПРОЦЕССА ЗАРЯЖАНИЯ ОБВОДНЕННЫХ
ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН НЕВОДОУСТОЙЧИВЫМИ ВВ**

Наведені результати експериментальних досліджень процесу заряджання вибухових свердловин у різних гірничотехнічних умовах неводостійкими ВВ. Запропоновано аналітичні залежності визначення терміну заряджання обводнених свердловин з урахуванням їхнього гідродинамічного режиму, а також маси заряду та продуктивності зарядної машини МЗ-8.

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE CHARGING PROCESS OF
FLOODING BLAST HOLES BY INSTABILITY IN WATER BLASTING
AGENTS IN INDUSTRIAL CONDITIONS**

The results of experimental researches of the charging process of blast holes in different mine-specification conditions by instability in water blasting agents are reduction. Analytical dependences of time of charging of flooding blast holes determination with account it hydrodynamics regime, and also of a charge mass and a capacity of the charge machine МЗ-8 are offered.

Сложные горно- и гидрогеологические условия обработки открытым способом железорудных и гранитных карьеров Украины оказывают отрицательное влияние на технологические процессы добычи руды и строительных материалов, снижая технико-экономические показатели горно-добывающих предприятий. С увеличением глубины разработки количество обводненных пород возрастает. Около 70 % полезных ископаемых в Украине добываются с применением взрывчатых веществ (ВВ). Это обстоятельство приводит к увеличению затрат на ведение взрывных работ в обводненных породах в 1,3-1,5 раза. Растут объемы применения водоустойчивых дорогостоящих ВВ, снижается производительность труда на зарядных работах в 1,5-2,0 раза. В обводненных скважинах зашламовываются взрывные скважины и увеличивается число отказов за счет намочения средств взрывания.

Необходимость сокращения доли тротилосодержащих ВВ в балансе их потребления и замены на неводоустойчивые ВВ диктуются еще рядом соображений: уменьшаются транспортные расходы на поставку аммиачной селитры, ввиду наличия близкорасположенных предприятий по их производству; улучшается безопасность обслуживания; снижается трудоемкость заряджания обводненных скважин и выброс вредных веществ в атмосферу.

Первоначально экспериментальные исследования процесса заряджания обводненных скважин неводоустойчивыми ВВ проводились в лабораторных условиях. На стенде определялся режим формирования зарядов неводоустойчивых ВВ в скважинах с различной степенью обводненности. По степени обводненности скважины можно разделить на: относительно сухие – уровень воды не более 0,5 м; частично обводненные – уровень воды ≤ 3 м и обводненные – уровень воды, в которых более 3 м. По интенсивности водообмена при скорости

фильтрации V_{Π} (м/сутки) обводненные скважины были разделены на четыре группы:

1) непроточной водой и установившимся уровнем ($0 \leq V_{\Pi} < 0,1$); 2) слабо проточной водой ($0,1 \leq V_{\Pi} \leq 0,5$); 3) проточной водой ($0,5 < V_{\Pi} \leq 2$); 4) сильно проточной водой ($V_{\Pi} > 2$) [1].

В качестве основных способов заряжания неводоустойчивого ВВ – граммолита 79/21 ПР в обводненных скважинах были выбраны следующие.

1. В слабо обводненных скважинах с высотой столба воды до 3 м (вода находится в перебуре), предлагается способ заряжания на столб воды с установкой в нижней части скважины механического затвора, выполненного в виде зонта.

2. В скважинах со слабо проточной и проточной водой и высотой столба воды более 3 м предложено применять способ заряжания неводоустойчивого ВВ в полиэтиленовые оболочки в предварительно осушенные скважины. Для осушения скважин используется машина типа МОС, разработанная в ИГТМ НАН Украины.

3. В скважинах с высокой степенью обводненности (высота столба воды более 3 м и водоприток более 0,5 м/сутки) предлагается использовать способ заряжания ВВ в полиэтиленовые рукава через столб воды в скважине. Обязательным условием для осуществления этого способа является то, что диаметр оболочки должен быть меньше диаметра скважины. Теоретические и экспериментальные исследования этого способа на стенде показали, что на процесс заряжания значительное влияние оказывает соотношение массы воды и заряда в скважине. При этом заряд не всегда может достигнуть дна скважины, какая-то его часть будет находиться над уровнем не вытесненной воды. Массу воды в скважине, при которой расчетный заряд ВВ опустится до дна, определяли по формуле [1]:

$$P_e = P_z \left[\left(\frac{d_c}{d_z} \right)^2 - 1 \right] + Q_{\text{выт}}, \text{ кг.}, \quad (1)$$

где P_e – масса воды в скважине, кг; P_z – масса заряда, кг; d_c, d_z – диаметр скважины и заряда, соответственно, м; $Q_{\text{выт}}$ – масса воды, вытесненная в пространство между стенками скважины и зарядом ВВ в полиэтиленовом рукаве, кг.

Время восстановления гидростатического уровня определили по формуле [1]:

$$t_B = \frac{1,88d}{V_{\Pi}} K_{\Phi} \left(1 + \frac{\rho_{\text{ВВ}}}{\gamma_{\text{ВВ}}} \right), \quad (2)$$

где d – диаметр скважины, м; V_{Π} – скорость фильтрации воды, м/сутки; $\rho_{\text{ВВ}}$ – плотность заряжания ВВ, кг/м³; $\gamma_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, кг/м³; K_{Φ} – коэффициент зоны фильтрации ($K_{\Phi} = 1,0 \dots 4,0$),

$$K_{\phi} = \frac{h_B}{h_{II}} \geq 1, \quad (3)$$

где h_B – высота столба воды, м; h_{II} – величина интервала проточности по высоте столба воды, м.

Основной задачей при проведении лабораторных исследований было определение времени формирования зарядов из неводоустойчивых ВВ по указанным выше способам заряжания обводненных скважин. В качестве сравниваемого варианта выбран способ заряжания относительно водоустойчивого граммонита 30/70 через столб воды в скважине. Под формированием заряда в скважине понимается процесс, начинающийся с момента подачи ВВ с зарядной машины до момента, когда колонка заряда достигнет проектной отметки в скважине. Его количественной характеристикой является время формирования заряда. При заряжании сухих скважин время формирования колонки заряда равно времени, в течение которого ВВ подается в скважину до проектной отметки – времени механизированного заряжания. При заряжании обводненных скважин водоустойчивыми ВВ через столб воды заряд опускается под действием сил гравитации до дна скважины через определенный промежуток времени.

Иная картина наблюдается при формировании заряда из неводоустойчивого ВВ в обводненной скважине в изолирующей оболочке. Время формирования колонки заряда определяется временем заряжания скважины и временем, в течение которого колонка заряда займет проектные отметки в скважине.

Учитывая специфику организации работ по заряжанию и забойке скважин, длительное формирование колонки заряда затрудняет проведение забоечных работ, увеличивает время процесса подготовки блока к взрыву. Следовательно, время формирования заряда ВВ в обводненных скважинах превышает время формирования заряда в сухих скважинах на величину времени, в течение которого колонка заряда займет проектные отметки в скважине.

Стендовые испытания показали, что при использовании способов заряжания неводоустойчивых ВВ время формирования колонки заряда значительно меньше, чем время формирования заряда граммонитом 30/70.

При проведении экспериментальных исследований способов заряжания скважин неводоустойчивыми ВВ в промышленных условиях Кальчикского гранитного карьера определялось время заряжания скважин по всем предложенным способам и время опускания колонки зарядов до проектных отметок с учетом параметров заряда (диаметр, масса, высота колонки) и гидрогеологических характеристик массива пород (интенсивность водопритока, скорость водопоглощения, высота столба воды).

Количество опытов при заряжании скважин неводоустойчивыми ВВ определялось в зависимости от коэффициента вариации выходного параметра (времени заряжания скважины или времени формирования колонки заряда), допустимой ошибки и заданной надежности [3]. Коэффициент вариации был в пределах 15-20%, заданная ошибка 5-10%. Количество опытов при применении ука-

занных выше способов заряжания обводненных скважин определялось методом планирования эксперимента и при трех влияющих факторах равнялось восьми. Количество параллельных наблюдений определялось в зависимости от коэффициента вариации выходного параметра (времени формирования колонки заряда).

При зарядании скважин помимо фиксирования времени зарядания скважин, в которое входят следующие операции: установка дозатора зарядной машины над устьем скважины, опускание рукава, опускание боевика, собственно зарядание (механизированная подача ВВ) определялось время опускания колонки заряда в рукаве, зажатого водой до проектных отметок в скважине. Общая сумма значений времени составляет время формирования колонки заряда в скважине.

Для зарядания скважин использовался водоустойчивый граммонит 30/70 и неводоустойчивый граммонит 79/21 ПР.

С целью определения диаметра заряда, который обеспечивает вместимость максимального количества заряжаемого неводоустойчивого ВВ в оболочке при минимальном времени опускания колонки заряда до проектных отметок в скважине, были изготовлены полиэтиленовые оболочки толщиной 200 мкм и

Ø 180, 190, 200, 210 мм, а также полиэтиленовые оболочки, поступающие в комплекте с граммонитом 79/21 ПР. Для удобства монтажа оболочек на дозатор зарядной машины МЗ-8 последние напрессовывались на гильзы, выполненные из прочного полиэтилена Ø 140...190 мм и длиной 0,8 м. Время зарядания скважин и опускания колонки заряда определялось методом хронометражных наблюдений. Замеры высоты заряда проводилось после зарядания в процессе опускания колонки заряда до проектных отметок в скважине. При этом дополнительно определялось нарушение целостности оболочки и вымывание колонки заряда.

Эксперименты показали, что при использовании полиэтиленовых оболочек Ø 210 мм зарядание скважин было затруднено. Заряд в скважине зависал, перемещение его в сторону дна скважины не наблюдалось. Это происходило из-за расклинивания заряда осыпавшейся породой и неровностями стенок скважин.

Зарядание скважин с использованием оболочек Ø 200, 190, 180 мм и последующие замеры показали, что оболочки Ø 200 и 190 мм в некоторых скважинах были обнаружены с нарушением целостности, вследствие чего заряд находился в намокшем состоянии. Относительная частота повреждения оболочек Ø 200 мм равна 0,38, а Ø 190 мм – 0,18. Повреждение оболочек Ø 180 мм обнаружено не было.

Нарушение целостности оболочки и дальнейшее проникновение воды в заряд происходит по причине трения оболочки о неровности стенок скважин при прохождении заряда через сухую часть скважины. Вода, поступающая в заряд, растворяет аммиачную селитру и уменьшает высоту колонки заряда почти в 2 раза.

Эксперименты показали, что на время опускания колонки заряда до проектных отметок в скважине значительное влияние оказывает скорость восстано-

ления первоначального уровня воды в скважине, которая определяется скоростью водопоглощения массива пород.

Экспериментальные значения времени заряжения скважины и опускания колонки заряда из граммонита 79/21 ПР до проектных отметок в скважине при заряжении через столб воды с использованием полиэтиленовых оболочек различного диаметра сведены в табл.1.

Таблица 1-Экспериментальные значения времени формирования колонки заряда в оболочках при заряжении через столб воды

№№ пп	Показатели	Скорость водопоглощения массива пород, л/мин			
		0,42	1,67	0,83	0,42
1	Диаметр заряда, мм	180	190	190	200
2	Глубина скважины, м	12,1;12,0; 11,8; 12,8	12,4; 12,3; 11,8; 12,1	12,0; 12,3; 12,5; 12,0	11,8; 12,0; 11,0; 12,0
3	Высота столба воды, м	4,7; 5,7; 4,8; 5,6	4,2; 4,7; 4,2; 4,7	3,5; 2,7; 4,1; 4,8	5,0; 5,1; 4,7; 3,5
4	Масса заряда, кг	168	200	200	168
5	Высота заряда, м	7,3; 7,3; 7,3; 7,3	7,8; 7,8; 7,8; 7,8	7,8; 7,8; 7,8; 7,8	5,9; 5,9; 5,9; 5,9
6	Фактическое значение времени формирования заряда, мин:	*216; 280; 218; 272	56; 80; 55; 63	88; 50; 120; 155	*395; 380; 362; 235
	в том числе				
	время заряжения, мин	2,0; 2,0; 2,5; 2,0	1,1; 1,1; 1,1; 1,2	1,2; 1,2; 1,1; 1,2	2,0; 2,0; 2,1; 2,9
	время опускания до проектных отметок в скважине, мин	214; 278; 215; 270	55; 79; 54; 62	87; 49; 119; 154	390; 378; 360; 233
* скважины заряжались вручную					

Как показывает анализ данных табл. 1, время формирования зарядов из неводоустойчивого ВВ при заряжении скважин этим способом определяется скоростью водопоглощения массива пород, высотой столба воды и диаметром заряда (плотность заряда $\rho = 850 \pm 18 \text{ кг/м}^3$). Так, например, в скважинах со скоростью водопоглощения массива пород 1,67 л/мин время формирования заряда Ø 190 мм, высотой 7,8 м и высотой столба воды 4,2 м составляет 56 мин, а при аналогичных условиях, но скорости водопоглощения массива 0,83 л/мин, время формирования заряда составляет 120 мин, т.е. в 2,1 раза больше.

Увеличение диаметра заряда приводит к увеличению времени формирования заряда. Так, например, увеличение диаметра заряда с 180 до 200 мм привело к увеличению времени формирования заряда с 216 до 365 мин или в 1,68 раза.

Увеличение высоты столба воды в скважинах также приводит к увеличению времени формирования заряда. Увеличение высоты столба воды с 4,7 до 5,7 м

привело к увеличению времени формирования заряда с 216 до 280 мин или в 1,3 раза.

Экспериментальные исследования позволили разработать зависимости для расчета времени формирования заряда при зарядании скважин неводоустойчивыми ВВ через столб воды с использованием полиэтиленовых оболочек

$$t_{cp} = t_3 + t_{no}, \text{ мин}, \quad (4)$$

где t_{cp} – время зарядания скважин (среднее), мин; t_3 – время, затрачиваемое на оформление зарядом скважины, мин.

$$t_3 = t_{yв} + t_{об} + t_{сз} + t_{ув}, \text{ мин} \quad (5)$$

где $t_{yв}$ – время установки воронки, мин; $t_{об}$ – время опускания боевика, мин; $t_{сз}$ – время собственно зарядания (подачи ВВ), мин; $t_{ув}$ – время извлечения воронки, мин; t_{no} – время, в течение которого колонка заряда должна опуститься до проектных отметок в скважине, мин.

$$t_{no} = \frac{\pi d_c^2}{n} \cdot \frac{h_{св} - h_3 \cdot \frac{\rho_3}{\rho_в} \left[1 - \left(\frac{d_3}{d_c} \right)^2 \right]}{V_{в.погл}}, \text{ мин} \quad (6)$$

где d_c – диаметр скважины, дм; $h_{св}$ – высота воды в скважине, дм; h_3 – высота заряда, дм; ρ_3 , $\rho_в$ – плотность заряда ВВ и воды, соответственно, кг/м³; d_3 – диаметр заряда, дм; $V_{в.погл}$ – скорость водопоглощения массива пород, л/мин.

Время зарядания скважин глубиной 13,0-14,0 м, при массе заряда 200 кг и при использовании МЗ-8 составляет 1,14-1,2 мин. Общее время формирования заряда неводоустойчивого ВВ при зарядании обводненных скважин через столб воды с использованием изолирующих оболочек составляет различные значения (от 55 до 380 мин).

Для определения времени формирования колонки заряда до проектных отметок в скважине, в зависимости от массы заряда, высоты столба воды и производительности зарядной машины МЗ-8 применялся метод планирования полного факторного эксперимента типа 2^k [4], который включал в себя:

- 1) выбор трех независимых факторов: высоты столба воды в скважине, массы заряда, производительности зарядной машины МЗ-8;
- 2) на основе априорной информации (данных замеров высоты столба воды, технических возможностей зарядных машин, рекомендуемых параметров буровзрывных работ) был выбран верхний и нижний интервалы варьирования факторов: производительность зарядной машины $x_1 \in (100-400$

кг/мин); высота столба воды $x_2 \in (3,0-12,0 \text{ м})$; масса заряда $x_3 \in (168-300 \text{ кг})$;

- 3) в производственных условиях методом хронометражных наблюдений определялось время зарядания скважины и опускания заряда неводоустойчивого граммонита в обводненных скважинах, в которых изменялась высота столба воды, масса заряда и производительность зарядной машины в соответствии с выбранными уровнями варьирования факторов;
- 4) по экспериментальным значениям строилась интерполяционная модель зависимости выходного параметра от влияющих факторов;
- 5) оценивалась возможность прогноза времени формирования заряда по полученной зависимости, сравнивая расчетные и фактические данные.

Замер высоты заряда проводился с целью определения времени опускания заряда до проектных отметок в скважине. Заряжались обводненные скважины глубиной 11,0-16,0 м с помощью зарядных машин МЗ-8.

Интерполяционная модель зависимости выходного параметра (времени формирования заряда - y) от влияющих факторов (x_1, x_2, x_3) представляет собой следующее выражение:

$$y = \epsilon_0 + \epsilon_1 \cdot x_1 + \epsilon_2 \cdot x_2 + \epsilon_3 \cdot x_3 + \epsilon_{1,2} \cdot x_1 \cdot x_2 + \epsilon_{1,3} \cdot x_1 \cdot x_3 + \epsilon_{2,3} \cdot x_2 \cdot x_3 + \epsilon_{1,2,3} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (7)$$

где x_1 – производительность зарядной машины МЗ-8, кг/мин; x_2 – высота столба воды в скважине, м; x_3 – масса заряда, кг.

Для определения коэффициентов уравнения (4) была составлена матрица планирования, куда вошли результаты экспериментов (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что время зарядания через столб воды неводоустойчивым граммонитом в полиэтиленовых рукавах при массе заряда 300 кг составляет 1,1-1,3 мин. Скважины заряжались зарядной машиной МЗ-8 с технической производительностью 400 кг/мин. Время опускания заряда до проектных отметок несоизмеримо больше, чем время зарядания скважины и составляет 48-252 мин, что фактически равно времени формирования заряда.

По данным табл. 2 производился расчет линейных эффектов и эффектов взаимодействия факторов. Получена конкретная модель времени формирования заряда:

$$y = 135,75 + 26,25 x_1 + 65,25 x_2 + 8,25 x_3 + 9,75 x_1 x_2 + 2,25 x_1 x_3 + 6,75 x_2 x_3 + 2,25 x_1 x_2 x_3. \quad (8)$$

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	x ₁	x ₂	x ₃	x _{1,2}	x _{1,3}	x _{2,3}	x _{1,2,3}	Время формирования заряда, мин			Расчетное значение времени формирования заряда, мин
								Время заряджания, мин	Время опускания заряда до проектных отметок в скважине, мин	Фактическое время формирования заряда, мин	
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1,3	251	252	245
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	3,0	177	180	173
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	1,1	33	84	96
4	-1	-21	+1	+1	-1	-1	+1	3,1	57	60	67
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0,8	221	222	215
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1,8	148	150	157
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,6	89	90	81
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1,9	46	48	47

С учетом 12 параллельных наблюдений при повторении условий опытов № 1...4 были определены значимые коэффициенты модели, и после преобразования уравнение (5) приняло следующий вид:

$$y = 135,75 + 26,25 x_1 + 65,25 x_2 + 8,28 x_3 + 9,75 x_1 x_2. \quad (9)$$

Дисперсия воспроизводимости времени формирования заряда $S^2_0 = 90,5$, дисперсия адекватности модели (9) $S^2_{ад.} = 125,5$. Отношение дисперсии адекватности и дисперсии воспроизводимости равно 1,34. Табличное значение критерия Фишера при 5% уровне значимости составляет $F_{1-p} = 4,1 > 1,34$, то с доверительной вероятностью 0,95 полученная модель адекватна и может использоваться для прогноза.

В дальнейшем переход от кодовых значений факторов к натуральным производился по следующим выражениям:

$$x_1 = \frac{П-275}{175}; \quad x_2 = \frac{лвн-7,5}{4,5}; \quad x_3 = \frac{P_3-230}{70}. \quad (10)$$

После подстановки в уравнение (9) натуральных значений и преобразований получим формулу для определения времени формирования заряда граммонита 79/21 ПР в обводненной скважине

$$t_{\phi} = 0,06 Q + 11,1 h_{\text{BH}} + 0,12 P_3 + 0,012 Q h_{\text{BH}} - 15,86, \text{ мин}, \quad (11)$$

где t_{ϕ} – время формирования заряда, мин; Q – производительность зарядной машины МЗ-8, кг/мин; h_{BH} – высота столба воды, м; P_3 – масса заряда, кг.

Сопоставление расчетных и фактических значений времени формирования заряда показывает, что отклонение между ними составляет 10-12%.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что на общее время формирования заряда из неводоустойчивых ВВ при зарядании скважин через столб воды с применением полиэтиленовых оболочек, которое состоит из времени зарядания (1,1-1,2 мин) и времени опускания заряда до проектных отметок в скважине (79-214 мин), оказывает влияние скорость водопоглощения массива пород, высота столба воды и масса заряда. С учетом этих факторов разработана эмпирическая формула позволяющая определять время формирования заряда неводоустойчивого ВВ в обводненной скважине.

Анализ применяемых технологий зарядания обводненных скважин неводоустойчивыми ВВ [4, 5], а также результатов промышленных исследований позволили разработать способ и устройство типа УЗПР [6], позволяющих механизированным способом заряжать неводоустойчивые ВВ в скважины диаметром от 180 до 320 мм без ограничения их глубины, высоты столба воды и степени проточности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бизов В.Ф., Федоренко П.Й.. Вибухові роботи. Том X. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Гірництво”. – Кривий Ріг: Мінерал, 2001. –230 с.
2. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле. - М.: Высшая школа.-1973. - 205 с.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука. 1976. - 280 с.
4. Сеинов Н.П. Технология зарядания обводненных скважин неводоустойчивыми взрывчатыми веществами // Взрыв. дело. № 89/46. – М.: Недра. 1986. –206 с.
5. Бондаренко Н.М., Ткаченко С.С. Зарядание обводненных скважин неводоустойчивыми взрывчатыми веществами. // Горный журнал. - 1988. - №1. – С. 39-40.
6. Ефремов, Э.И., Петренко В.Д., Чайковский А.И. и др. Механизированное зарядание взрывных скважин неводоустойчивыми ВВ для дробления обводненных пород. // Металлургическая и горнорудная промышленность. Научно-техн. и произв. Журнал. - Днепропетровск.-1989.- №2. - С. 41-42.