

Кремнефтористый натрий или магний увеличивают прочность бетона на 40...50 %. Как видно из химических реакций, добавленные реагенты активизируют инертные минералы и позволяют получить водоэрастворимые продукты, увеличивающие прочность и долговечность смеси.

1. ГОСТ 101178-85. Клинкерные минералы портландцемента.
2. ГОСТ 4013-17. Природный двухводный гипс.
3. ГОСТ 9179-77. Строительная известь.
4. ГОСТ 125-79. Фосфогипс.
5. ГОСТ 4460-77. Кальций хлористый безводный.
6. ГОСТ 10834-64. Гидрофобизирующие кремний органические жидкости ГЖЖ-94.
7. ТУ-113-08-0209.431119-91. Суперфосфат гранулированный.

УДК 622.231

ВПЛИВ ТИПІВ ПАЛЬНОГО ТА ІНІЦІАТОРА НА БЕЗПЕКУ І СТАБІЛЬНІСТЬ ВИБУХОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ САЛЕТРОЛУ

А. Воєводка, докт.-інж. (Сілезький технічний університет, РП)

Дан анализ свойств углеводородного топлива на взрывные параметры салетрола (смеси аммиачной селитры с дизельным топливом). Определена степень поглощения дизельного топлива аммиачной селитрой во времени и установлены регрессионные уравнения зависимости скорости детонации от выбранных технологических факторов.

Салетрол широко застосовується у гірничій промисловості Польщі. У склад цих гетерогенних двокомпонентних сумішей входять пориста гранульована аміачна селітра (АС) та вуглеводневий носій, найчастіше дизельне пальне (ДП). Салетрол не є оптимальною вибуховою речовиною з огляду на його низьку в'язкість і надто велику пружність вуглеводневих пар. Перший недолік призводить до нестабільності складу салетролу і пов'язаного з цим погіршення вибухових властивостей аж до припинення вибухового перетворення; спостерігається також зростання токсичності вибухових газів. В той же час висока пружність вуглеводневих пар загрожує здоров'ю виробників та користувачів цієї ВР.

В той час як фізико-хімічні властивості АС описані досить повно [1–5], властивостям вуглеводневого пального присвячена відносно незначна кількість праць [5–6].

Були проведені дослідження для вивчення впливу властивостей вуглеводневого компонента на вибрані вибухові параметри салетролу. В досліді застосовано кілька типів мінерального пального польського виробництва з різними фізико-хімічними властивостями.

Характеристики гранульованої пористої аміачної селітри AN-PP HYDRO (Ammonium Nitrate-Porous Prills) наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Властивості аміачної селітри

Властивості	Значення параметрів	
	за даними виробника	згідно з дослідженнями
Насипна щільність, кг/дм ³	0,80–0,84	0,805
Вміст вільної вологи, %	0,1	0,1
Поглинання дизельного пального, %	8	12,4–16,5
Коефіцієнт грануляції	дані відсутні	5,58

Як вуглеводневий компонент використовувались дизельні пальні М2-3, М4-5, Velol 19, косметичний гас. В табл. 2 наводяться деякі властивості застосованих палих та косметичного гасу.

Таблиця 2. Властивості застосованого пального

Властивості	Тип пального			
	Косме-тичний гас	М2-3	М4-5	Velol 19
В'язкість за даними виробника, мм ² /с	–	32–40	17–25	19–22
згідно з дослідженнями ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), мм ² /с	–	36,0	80,6	19,7
Мінімальна температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$	60	140	145	130
Максимальна температура твердіння, $^{\circ}\text{C}$	10	0	3	30

Досліджувались вуглеводневі композиції, дані про склад і в'язкість яких наведено в табл. 3.

Для визначення складу салетролу виконано обчислення з застосуванням емпіричних рівнянь, поданих у методиці [7].

В табл. 4 наведено результати аналізу середньої молярної маси рідких вуглеводнів, композицій з них та їх теоретичні сумарні формули. В табл. 5 подано можливі реакції розкладу салетролу та теоретична кількість пального у збалансованих вибухових речовинах.

Виявлено, що незначні зміни складу обумовлюють значну різницю у властивостях вуглеводневих компонентів (в'язкості, температурі кипіння). Це

означає, що салетроли з близьким хімічним складом можуть вміщувати пальне з суттєво різними властивостями, що дозволяє розробляти салетроли з корисними фізико-хімічними якостями (табл. 5).

Таблиця 3. Склад і в'язкість композицій вуглеводнів

Композиція	Компоненти		Пропорція (за об'ємом)	В'язкість кінематична, мм ² /с
	I	II		
I	M2-3	Косметичний газ	1 : 16	10,5
II	M4-5	Косметичний газ	1 : 16	10,9
III	Velol 19	Косметичний газ	1 : 2	10,3

Таблиця 4. Молярні маси рідких паливних та їх теоретичні формули

Тип пального	Температура кипіння, °C	Середня молярна маса, г/моль	Вміст вуглецю, %	Вміст водню, %	Теоретична формула
Косметичний газ	255	200,5	87,16	12,92	C _{14,56} H _{25,86}
Пальне М 2-3	355	291,5	86,86	12,91	C _{21,15} H _{37,72}
Пальне М 4-5	350	286,5	86,75	12,81	C _{20,80} H _{36,86}
Пальне М 2-3/газ, (1:16)	277	218,8	86,82	13,14	C _{15,84} H _{28,76}
Пальне М 4-5/газ, (1:16)	278	219,7	86,98	13,18	C _{15,92} H _{28,95}
Velol 19/газ (1:2)	275	217,7	-	-	

Таблиця 5. Передбачувані реакції розкладу салетролів [7] та теоретично збалансована кількість вуглеводневих паливних

Тип пального	Реакція розкладу салетролу	Кількість пального для одержання збалансованого салетролу, %
Косметичний газ	$42,06 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{C}_{14,56}\text{H}_{25,86} \rightarrow 42,06 \text{ N}_2 + 14,56 \text{ CO}_2 + 97,07 \text{ H}_2\text{O}$	5,96
Пальне М2-3	$61,16 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{C}_{21,15}\text{H}_{37,72} \rightarrow 61,16 \text{ N}_2 + 21,15 \text{ CO}_2 + 141,18 \text{ H}_2\text{O}$	5,96
Пальне М4-5	$60,03 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{C}_{20,80}\text{H}_{36,86} \rightarrow 60,03 \text{ N}_2 + 20,80 \text{ CO}_2 + 138,47 \text{ H}_2\text{O}$	5,96
Пальне М2-3/газ, (1:16)	$46,06 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{C}_{15,84}\text{H}_{28,76} \rightarrow 46,06 \text{ N}_2 + 15,84 \text{ CO}_2 + 106,5 \text{ H}_2\text{O}$	5,94
Пальне М4-5/газ (1:16)	$46,32 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{C}_{15,92}\text{H}_{28,95} \rightarrow 46,32 \text{ N}_2 + 15,92 \text{ CO}_2 + 107,1 \text{ H}_2\text{O}$	5,93

Показником, що добре характеризує ступінь пористості селітри і властивості вуглеводневого компонента, а отже й фізико-хімічну стабільність салетролу, є здатність AN-PP до поглинання і утримання рідкого вуглеводневого пального. Спосіб визначення цього показника ґрунтується на визначенні кількості пального, яку здатна затримати селітра протягом певного часу.

Чим більша кількість ДП і час утримання його постійної кількості, тим вища фізична стабільність салетролу. Ступінь поглинання селітрою AN-PP різних вуглеводневих компонентів визначався для двох строків витримки: одна і двадцять годин (табл. 6).

Пальні з вищою в'язкістю (M2-3 і M4-5) мають більшу різницю у поглинанні, тому вони менш придатні до використання як горючі компоненти. В той же час Velol 19 та суміші всіх пальних з косметичним гасом стабільно поглинаються селітрою AN-PP і можуть успішно використовуватися як компоненти вибухових речовин.

Таблиця 6. Поглинальна властивість пальних у селітрі

Тип пального	Композиція	Поглинання за годину w_1 , %	Поглинання за 20 годин w_{20} , %	Різниця у поглинанні $w_1 - w_{20}$, %
M2-3	Пальне без домішок	14,20	12,10	2,10
	I Пальне+косметичний гас (1:16)	12,60	11,09	1,51
M4-5	Пальне без домішок	16,50	12,63	3,87
	II Пальне+косметичний гас (1:16)	12,65	11,30	1,35
Velol	Пальне без домішок	12,35	11,01	1,34
	III Пальне+косметичний гас (1:2)	12,54	11,14	1,40

Швидкість детонації вимірювалась на чотирьох відрізках зарядів за допомогою чотирьохканального приладу з точністю до 10^{-8} секунди. Для ініціювання зарядів застосовувались ініціатори різної потужності (табл. 7).

Таблиця 7. Потужність системи ініціаторів

Бойовик	Позначення	Енергія, кДж
Детонатор + шашка ГЦ-100	1 (Д) + 1 (ГЦ-100)	1388
Детонатор + шашка ГЦ-40	1 (Д) + 1 (ГЦ-40)	559
3 детонатори і 3 шашки ГТ-14	3 (Д) + 3 (ГТ-14)	386
1 детонатор + 1 шашка ГТ-14	1 (Д) + 1 (ГТ-14)	129
6 детонаторів	6 (Д)	34
3 детонатори	3 (Д)	17

Вимірювання швидкості детонації проводилося для салетролу з додаванням пального М2-3, М4-5 та Velol 19. Досліджувалися зразки салетролів з різним строком витримки (до 3 місяців).

Залежність швидкості детонації D від енергії ініціатора E_i , часу витримки τ_s і кліматичного коефіцієнта K описується такими рівняннями:

для салетролу з додаванням композиції I (табл. 6):

$$D = 128,23 E_i^{0,43} \tau_s^{0,43} K^{0,33} \quad \text{при } r = 0,93; \quad (1)$$

для салетролу з композицією II:

$$D = 39,00 E_i^{0,55} \tau_s^{-0,10} K^{2,81} \quad \text{при } r = 0,947; \quad (2)$$

для салетролу з композицією III:

$$D = 88,15 E_i^{0,42} \tau_s^{0,11} K^{1,00} \quad \text{при } r = 0,918. \quad (3)$$

Загальне регресійне рівняння, яке враховує ще й в'язкість досліджуваних палив L_e , має вигляд

$$D = 154,77 L_e^{-0,19} E_i^{0,48} \tau_s^{0,06} K^{0,81} \quad \text{при } r = 0,90. \quad (4)$$

В формулах (1)–(4) r – коефіцієнт кореляції.

Застосована селітра AN-PP характеризується великою питомою поверхнею (2075 м²/кг) та високим коефіцієнтом грануляції (5,6), що відповідає вузькому діапазону фракцій гранул; 80 % (за даними наших досліджень 81,9 %) гранул знаходиться в діапазоні діаметрів 1–2 мм. Велика питома поверхня забезпечує достатній ступінь поглинання пального (8 % за даними виробника і 12,4–12,6 % згідно з нашими дослідженнями), що приводить до стабільності та однорідності складу ВР протягом довгого часу.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що із зростанням часу витримки салетролу його детонаційні властивості не знижуються, про що свідчить переважно позитивний показник степеня при змінній часу τ_s в рівняннях регресії. Лише для салетролу з додаванням пального М4-5, яке характеризується найбільшою в'язкістю, цей ступінь є від'ємним. Аналіз значень цього степеня дозволяє зробити висновок, що спад детонаційної здатності салетролу не перевищить 40 % на протязі одного року. Вуглеводневе пальне з в'язкістю 10–20 мм²/с покращує процес сорбції пального в мікропори гранул селітри. Компоненти з високою в'язкістю не проникають вглиб пор, адсорбуються переважно зовнішньою поверхнею гранул у вигляді товстої плівки, утримуються в міжгранульному просторі і з часом спливають під дією гравітації. Високий ступінь поглинання пального гранулами селітри мають суміші ДП з косметичним гасом.

Результати досліджень показують, що швидкість детонації зменшується з відстанню від ініціатора. Це обумовлюється сильним бічним розсіянням енергії з фронту детонації. Детонація має нестационарний характер. Для надання їй стаціонарності та наближення умов вибуху до умов у скельній породі потрібно збільшити діаметр патронів, або (і) зміцнити оболонку патронів.

Особливо помітно спадає швидкість розкладу для зарядів, ініційованих слабкими ініціаторами (2Д і 6Д). При застосуванні цих ініціаторів мали місце відмови детонації зарядів. Як мінімальний ініціатор потрібно прийняти такий, що забезпечує енергію близько 100 кДж. Цю умову виконує ініціююча система, що складається з детонатора та підсилювача-бойовика ГТ-14.

1. *Urbański T.* Chemistry and Technology of Explosives / Pergamon Press, London–New York, 1984 – V. 3.

2. *Ptak J.* Badanie własności „saletrolu” i zastosowanie go w górniczych robotach strzałowych // Rudy i Metale Nieżelazne. – 18. – 1, 1973.

3. *Hobler M.* Projektowanie i wykonywanie robót strzelniczych w górnictwie podziemnym. – Śląsk, Katowice, 1982.

4. *Поздняков З. Г., Росси Б. Д.* / Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрыва М.: Недра. – 1977.

5. *Wojewódka A., Turczyn M.* Stabilność fizyczna materiałów wybuchowych typu ANFO // Prace Naukowe GIG. – 19. – 71. – 1977.

6. *Джос Б., Ткаченко С., Дробота А.* О миграции жидкого компонента простейших смесей взрывчатых веществ // Физ.-тех. пробл. разр. полез. ископ. – № 2. – 1988.

7. *BN-80/6091-42.* Górnictwo materiały wybuchowe. Obliczanie parametrów użytkowych.

УДК 622.235.

О ВЗАИМОСВЯЗИ ДАВЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА С НАПРАВЛЕНИЕМ РАЗЛЕТА КУСКОВ ПОРОДЫ

***В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, А. М. Масюкевич, канд. физ.-мат. наук
(ННИИОТ), И. В. Косьмин, инж. (ЗАО “Техновзрыв”)***

Отримано вираз для тиску, що діє на вільну поверхню при вибуху одиночного свердловинного заряду. Розроблено методику визначення напрямку розльоту кусків породи. Результати можуть бути використані при визначенні безпечної дальності і напрямку розльоту окремостей при вибуху свердловинних зарядів в утруднених умовах гірничовидобувних підприємств.