

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ТИПА ANFO

А. Воеводка, докт.-инж. (Силезский технический университет, РП)

Предметом дослідження є способи підвищення водостійкості вибухових речовин на основі пористої аміачної селітри та дизельного пального (ANFO) шляхом введення у вибухову суміш гідрофобізуючих домішок. Визначено детонаційні властивості вибухового складу, оптимального з точки зору практичного застосування.

Простейшие (с точки зрения состава и способа производства) взрывчатые вещества (ВВ), изготавливаемые на основе аммиачной селитры и дизтоплива, (ANFO) применяются в Польше с 1971 г., где они получили название «салетрол». Широкое распространение салетролов связано с их достоинствами – низкой стоимостью производства, возможностью механизации взрывных работ, малой чувствительностью к иницилирующему импульсу, невзрывчатостью компонентов, что повышает безопасность работ. Их недостатками являются низкая водостойкость, большой критический диаметр и малая плотность заряда.

С целью повышения водостойкости аммиачно-селитренных ВВ применяются добавки в виде смеси основных солей жирных кислот с длинной углеродной цепью (например, стеарат кальция или магния) и гетерополисахаридов с железирующими свойствами (например, гуаровая мука), причем наилучшие результаты достигнуты при вспучивании гуаровой муки этиленгликолем [1] при температуре 50–80 °С.

Предпринимались попытки повышения водостойкости самой аммиачной селитры (АС) путем покрытия поверхности ее гранул природными смолами, пчелиным воском или канифолью. Испытаны также методы, применяемые для классических аммиачно-селитренных ВВ [2].

В результате анализа доступных литературных данных для исследований в качестве повышающих водостойкость средств выбраны стеарат кальция, гуаровая мука, парафиновые отходы переработки нефти, стеариновая кислота, а также аэросил (для уменьшения слеживания).

Выполнен физико-химические анализ выбранных материалов с учетом их гигроскопичности и содержания воды. После получения результатов этих исследований проведена серия опытов, состоящих в составлении смесей салетролов с исследуемыми веществами, повышающими водостойкость. После выполнения лабораторных исследований гигроскопичности салетролов выбран оптимальный состав с точки зрения водостойкости и взрывчатых свойств и проведены взрывы с применением эталонного салетрола (94 % АС и 6 % дизельного топлива) с нулевым кислородным балансом.

Влажность АС определялась в соответствии с польскими нормами [3]. Измерялась убыль топлива из проб АС после сушки при строго определенных времени и температуре. В результате установлено, что средняя в двух пробах влажность пористой селитры составляет 0,159 % при насыпной плотности 0,7953 г/см³. Гигроскопичность селитры определялась весовым методом при увлажнении пробы АС в эксикаторе, содержащем насыщенный раствор Na₂SO₄·10H₂O [4]. Водопоглощение составило 6,18 % на 1-й день испытаний, 35,48 % на 6-й день испытаний. На 10-й день селитра полностью растворилась.

Исследование поглощения селитрой жидких углеводов проводилось на трех типах дизтоплива, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства дизтоплив при температуре 20–25 °С

Тип дизтоплива	Свойства			
	плотность, г/см ³	кинематическая вязкость, мм ² /с	поглощение селитрой, %	
			через 1 час	через 20 часов
I	0,8363	3,93606	11,39	9,27
II	0,8082	35,25433	15,31	10,99
III	0,8358	5,80019	12,12	9,44

Исходя из полученных данных, для последующих опытов принят II тип дизтоплива как максимально соответствующий поставленной цели исследований.

При анализе добавок, повышающих водостойкость селитры, устанавливалась их естественная влажность: стеарат кальция – 0 %, мука гуаровая – 3,12 %, парафиновые отходы – 0 %, стеариновая кислота – 0 %, азросил – 2,90 %.

Исследование водостойкости салетролов проведено на составах с процентным содержанием жидкого компонента (дизтоплива) 3 %, 4 % и 6 %. Гигроскопичность составов исследовали по методике, примененной для селитры и гидрофобных материалов. Пробы салетролов размещали в эксикаторе с насыщенным раствором Na₂SO₄·10H₂O, поддерживающим в эксикаторе постоянную влажность 93 % (табл. 2).

Таблица 2. Поглощение влаги салетролами во времени

Состав салетрола, %		Гигроскопичность, % / сутки				
Аммиачная селитра	Дизтопливо	1	2	3	6	7
97	3	4,26	8,50	12,06	23,43	27,06
96	4	4,30	8,52	12,26	23,74	27,19
94	6	4,23	8,54	11,83	22,76	26,13

Исследовано влияние последовательности смешивания аммиачной селитры с отдельными компонентами – стеаратом кальция (СК), гуаровой мукой (ГМ), дизтопливом (ДТ), а также со специально изготовленной эмульсией, состоящей из 20 % стеарата кальция, 20 % гуаровой муки и 60 % дизтоплива. После добавления каждого компонента производилось размешивание в течение 15 минут. Данные исследований названных составов на водостойкость приведены в табл. 3.

Таблица 3. Гигроскопичность составов салетрола с различной последовательностью смешивания компонентов

Состав и последовательность смешивания компонентов в салетроле	Гигроскопичность, % / сутки				
	3	4	5	6	7
90 % АС + 2 % СК + 2 % ГМ + 6 % ДТ	12,77	16,18	19,19	21,43	23,68
90 % АС + ГМ + СК + ДТ	12,79	16,34	19,14	21,05	22,75
90 % АС + СК + ДТ + ГМ	11,68	15,08	17,93	20,16	22,16
90 % АС + ГМ + ДТ + СК	13,23	16,54	19,10	21,05	23,00
90 % АС + ДТ + СК + ГМ	11,07	14,90	17,56	19,64	21,57
90 % АС + ДТ + ГМ + СК	12,24	15,74	18,64	20,89	22,85
94 % АС + 6 % эмульсии	11,68	15,14	18,17	20,31	22,27
90 % АС + 10 % эмульсии	11,37	14,87	17,51	20,40	22,22

С целью определения степени участия гидрофобных добавок в формировании водостойкости салетролов проведены исследования влияния стеарата кальция в присутствии 2–3 % гуаровой муки, гуаровой муки в присутствии 2–3 % стеарата кальция, парафиновых отходов, азросила и стеариновой кислоты (табл. 4)

Исходя из данных табл. 4, в качестве оптимальной смеси по признаку водостойкости с точки зрения ее практического применения можно принять следующий состав: 94 % пористой АС + 6 % парафиновых отходов. Для исследования взрывчатых характеристик этого состава салетрола взрывались три заряда и скорости детонации сравнивались со скоростями, полученными при взрывании трех зарядов «классического» ANFO.

Заряды изготавливались путем заполнения салетролом полихлорвиниловых труб длиной 500 мм, внешним диаметром 82 мм. По мере заполнения труб в них вводились концы зондов из медной проволоки длиной 2 м каждый. Вид оснащенного заряда представлен на рис. 1.

Заряды инициировались боевиком из смеси тротила с гексогеном массой 42 г, оснащенным электродетонатором короткозамедленного действия типа 10/S. Замеры скорости детонации производились путем измерения времени прохождения детонационной волны по известной длине заряда.

Таблица 4. Гигроскопичность салетролов различного состава во времени

Салетрол, №	Состав салетрола, %							Гигроскопичность, % / сутки		
	АС	ДТ	СК	ГМ	Параф. отходы	Стеарин. кислота	Азро- сил	1	3	7
1	90,5	6,0	1,5	2,0	-	-	-	4,05	9,93	24,72
2	89,5	6,0	2,5	2,0	-	-	-	4,22	10,40	25,76
3	88,5	6,0	3,5	2,0	-	-	-	3,76	9,75	25,60
4	88,0	6,0	4,0	2,0	-	-	-	3,46	9,09	24,69
5	90,5	6,0	2,0	1,5	-	-	-	4,11	11,73	21,93
6	89,0	6,0	2,0	3,0	-	-	-	4,07	12,73	25,68
7	88,0	6,0	2,0	4,0	-	-	-	4,15	11,40	23,24
8	92,0	6,0	-	-	2,0	-	-	4,65	-	17,83
9	88,0	6,0	-	-	6,0	-	-	1,81	6,95	11,98
10	94,0	-	-	-	6,0	-	-	4,13	12,36	18,33
11	92,0	-	-	-	8,0	-	-	2,90	-	15,72
12	88,0	-	-	-	12,0	-	-	2,72	-	16,30
13	92,0	6,0	2,0	-	-	-	2,0	5,01	14,39	31,77
14	90,0	6,0	-	2,0	-	-	2,0	5,47	16,49	36,34
15	88,0	6,0	-	-	-	-	6,0	5,10	13,60	24,20
16	92,0	6,0	-	-	-	2,0	-	5,60	-	30,99
17	88,0	6,0	-	-	-	6,0	-	4,64	-	33,07
18	90,0	-	-	-	-	10,0	-	5,81	-	38,55

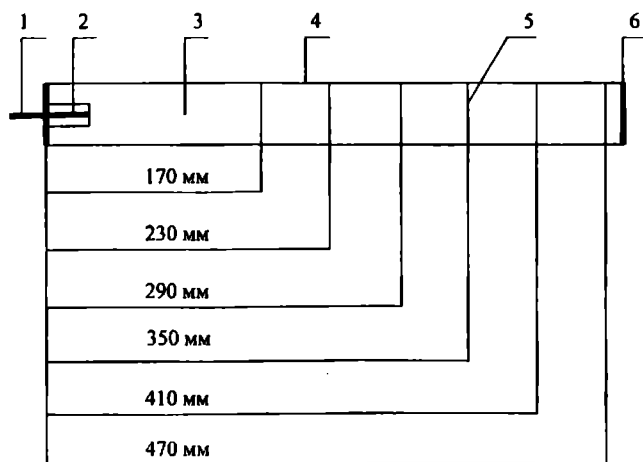


Рис. 1. Схема заряда: 1 – детонатор; 2 – боевик; 3 – салетрол; 4 – полихлорвиниловая труба; 5 – измерительный зонд; 6 – дно заряда

Измерения скорости детонации выполнены с точностью до 1 м/с. Результаты измерений приведены на рис. 2.

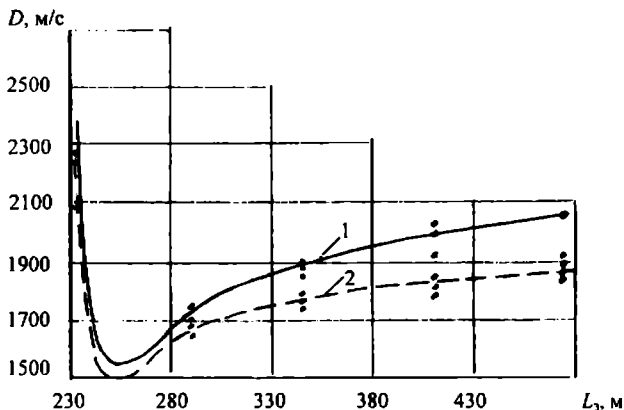


Рис. 2. Изменение скорости детонации салетрола D по длине заряда L_z : 1 – исследуемый салетрол; 2 – «классический» салетрол

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Тип применяемого дизтоплива существенно не влияет на водостойкость селитры, однако, учитывая хорошую поглощаемость селитрой дизтоплива-II, для дальнейших исследований выбран именно этот тип.

Последовательность смешивания компонентов незначительно влияет на конечное содержание воды в салетроле. Наилучший эффект достигнут при смешивании селитры вначале с ДТ, добавлении стеарата кальция и затем гуаровой мучки. Эта последовательность представляется логичной, учитывая тот факт, что стеарат кальция обладает гидрофобными свойствами, а гуаровая мука – желатинизирующими. При добавлении гуаровой мучки наблюдалось образование геля на поверхности салетрола, который защищал внутреннюю часть заряда от проникновения воды. Однако этот гель в дальнейшем растрескивался, пропуская воду, и различие в поглощении воды салетролом со стеаратом кальция и салетролом с гуаровой мучкой нивелировалось.

Применение эффективной для аммиачно-селитренных ВВ смеси стеарата кальция и гуаровой мучки для салетрола не принесло ожидаемого результата. Несколько лучший эффект дало изменение содержания гуаровой мучки по сравнению со стеаратом кальция (содержание воды 23–27 % против 25–28 % соответственно).

Наилучшие с точки зрения водостойкости результаты получены при снаряжении салетрола парафиновыми отходами (гигроскопичность салетрола около 12 % при 7-дневной выдержке). К сожалению, эти материалы будут

отличаться отрицательным кислородным балансом (до -25%), что исключает их применение в качестве промышленных ВВ. Для салетрола с кислородным балансом, близким к нулю, содержание воды после 7 дней выдержки составило около 18% . При применении парафиновых отходов вместо дизтоплива детонационные свойства не ухудшились, а были даже несколько выше.

Материал, предотвращающий слеживание (азросил), не улучшает водостойкости салетрола, независимо от того, применен он отдельно или в сочетании с другими добавками.

Попытки применения вместо парафиновых отходов стеариновой кислоты не дали эффекта; установлено прямое снижение водостойкости при увеличении содержания этого компонента. Вызвано это тем, что отходы стеариновой кислоты после растапливания и твердения создают на поверхности гранул хрупкий трещиноватый слой, пропускающий влагу.

Суммируя сказанное, отметим, что классические методы увеличения водостойкости не действуют в случае салетролов. Причиной этого, в первую очередь, является сильно развитая поверхность гранул селитры. Нет также возможности уплотнить (спрессовать) ВВ после добавления веществ, улучшающих водостойкость.

Улучшение водостойкости салетролов следует искать в применении гидрофобных материалов, обладающих возможностью покрытия гранул селитры плотным слоем. Процесс нанесения может, однако, быть затруднен технологически и при этом, вероятно, водостойкость «классических» ВВ не будет достигнута. Дополнительным барьером является отрицательный кислородный баланс даже в случае применения небольших количеств гидрофобизаторов. Более выгодным представляется, например, размещение зарядов салетрола в плотной полиэтиленовой оболочке. Кроме того, возможен другой путь – добавление к влажному салетролу активатора, обеспечивающего стабильность детонации ВВ.

1. *Пат.* 146627 ПП. Sposob wytwarzania materialow wybuchowych amonowo-saletrzanych wodoodpornych; заявл. 1989.

2. *Basil T. Fedoroff.* Encyclopedia of explosives and related items. – Dover. – New Jersey, USA. – 1960. – P. 216–217.

3. *Azotan amonowy techniczny*; PN-69/C-84128. – 8 с.

4. *Prochy czarne.* Oznaczenie wilgotnosci, higroskopijnosci i skladu chemicznego; PN-61/C-86002. – 22 с.