

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ КОНВЕРСИОННЫХ ПОРОХОВ И ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В. Р. Закусило, канд. техн. наук, А. А. Желтоножко, докт. техн. наук,
Л. В. Бойко, Л. Н. Узжина, инженеры (ГосНИИХП, г. Шостка)*

Предметом дослідження є використання піроксилінового, баліститного порохів та бризантних гексогенвмісних сумішей, отриманих за конверсією, для виготовлення нових промислових вибухових речовин. Розроблено рецептури промислових вибухових речовин на їх основі, визначено фізико-хімічні та вибухові характеристики.

Утилизация боеприпасов с истекшим сроком хранения является в настоящее время важнейшей государственной задачей. Области возможного применения утилизированных боеприпасов весьма разнообразны. Государственная программа по утилизации непригодных боеприпасов в качестве одного из основных приоритетов ставит задачу переработки взрывчатых веществ (ВВ) и порохов, содержащихся в утилизируемых боеприпасах, в промышленные взрывчатые вещества (ПВВ).

К числу ВВ, подлежащих утилизации, относятся пороха и взрывчатые бризантные гексогенсодержащие смеси (ГФ, ГФА, ТГФА, ТГ) [1], полученные при разборке артиллерийских снарядов и инженерных мин. Объем гексогенсодержащих смесей, который планируется получить от утилизации боеприпасов, составляет десятки тысяч тонн. Только противотанковых мин, снаряженных составами на основе гексогена, тротила и алюминия, имеется на складах около 700000 штук. Объем извлекаемых порохов при расснаряжении боеприпасов исчисляется десятками тысяч тонн.

На основе утилизируемых ВВ и порохов могут быть получены рецептуры новых взрывчатых составов ПВВ с высоким уровнем технологичности, стабильности, безопасности, экономичные и эффективные. Их применение в промышленности может быть самым разнообразным, начиная от использования накладных зарядов для дробления негабарита и заканчивая зарядами высокой мощности для отбойки пород повышенной крепости.

В настоящее время в России разработаны рецептуры взрывчатых составов на основе извлекаемых из боеприпасов ВВ и порохов. Известны составы на основе пироксилиновых порохов (зерниты, поротол), баллиститных порохов (дибазит, гранипоры), гексогенсодержащих смесей (альгетолы) [2].

Разработка взрывчатых составов на основе порохов, подлежащих утилизации, является важной научно-технической проблемой, требующей проведения детальных исследований.

Пироксилиновые пороха (ПП) поступают по конверсии в виде зерен длиной от 1 до 12 мм, а также трубок диаметром 4–7 мм и длиной до 300 мм.

Баллиститные пороха (БП) поступают в основном в виде трубок тех же размеров, что и ПП.

Нами проведены термодинамические расчеты и исследованы взрывчатые характеристики БП и ПП. Характеристики утилизированных порохов в сравнении с бризантными ВВ – тротилом и гексогеном – приведены в табл. 1.

Таблица 1. Взрывчатые характеристики утилизированных порохов в сравнении с бризантными ВВ

| Наименование показателя | Пироксилиновый порох | Баллиститный порох | Утилизированный тротил | Гексоген |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|----------|
| Кислородный баланс, % | -44,4 | -43,6 | -74,0 | -21,6 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 930 | 955 | 870-970 | 1300 |
| Объем газов, л/кг | 850 | 837 | 710 | 862 |
| Температура взрыва, К | 2900 | 2741 | 2860 | 3889 |
| Фугасность, см ³ | 330 | 321 | 285-295 | 469 |
| Скорость детонации, км/с | 4,0-4,6 | 3,5-4,0 | 4,0-4,6 | 5,8 |
| Критический диаметр детонации, мм | 100-200 | 200-220 | 60-80 | 3-7 |

Термодинамические расчеты параметров детонации порохов показывают, что по объему газообразных продуктов взрыва и фугасности они превосходят тротил, хотя и уступают гексогену.

Детонационная способность ПП соизмерима с детонационной способностью гранулированных ВВ, что позволяет с успехом использовать их как в скважинных, так и в шпуровых зарядах. Причем ПП безотказно детонируют в водонаполненном состоянии, что позволяет широко использовать их взамен гранулированных и порошкообразных ВВ [3].

Недостатком порохов, особенно баллиститных, является большой критический диаметр детонации (около 220 мм), так как основным режимом их функционирования является горение, как правило, не переходящее в детонацию. Физическая природа БП (его изготавливают с применением труднолетучих растворителей-пластификаторов, которые придают пороху непористую структуру) и низкая плотность заряжания (0,7 г/см³) затрудняют вывод БП в режим детонации. В связи с этим для БП необходимо мощное средство инициирования при достаточно большом диаметре заряда, однако это не исключает возможности затухания детонационной волны и выброса пороха из скважины, что составляет опасность для обслуживающего персонала карьера.

В то же время пороха имеют отрицательный кислородный баланс, что приводит к высокому содержанию в газообразных продуктах взрыва токсичных газов, таких как CO, NO, NO₂ и др.

Для уменьшения выделения количества вредных газов при взрыве необходимо правильное сочетание в их составе кислородоносителя, легко отдающего свой кислород при взрыве, с горючими высокоэнергетическими компонентами.

Для сбалансированности горючего и окислителя в ПВВ, снижения объема выделяемых в атмосферу ядовитых газов при взрыве и улучшения параметров детонации необходимо добавлять к ним вещества с положительным кислородным балансом.

Так, при добавлении к порохам аммиачной селитры (АС), которая разлагается с выделением 20 % избыточного кислорода, кислородный баланс смеси изменяется от –43,6 % (чистый БП) до –11,8 % (состав 50:50). При этом резко уменьшается содержание оксида углерода в продуктах взрыва (с 12,5 до 6,0 моль/кг), так как выделяется большое количество кислорода, необходимого для полного окисления углерода, который содержится в продуктах взрыва.

Введение АС до 30 % позволяет заполнить промежутки между зёрнами пороха (при размерах частиц БП 3–5 мм) с довольно равномерным распределением компонентов. При этом улучшается кислородный баланс смеси и ее детонационные характеристики (табл. 2).

Таблица 2. Термодинамические и взрывчатые характеристики аммопоров и пироксела на основе конверсионных порохов и аммиачной селитры в сравнении с граммонитом 79/21

| Наименование показателя | Аммопоры | Пироксел | Граммонит 79/21 |
|--|-----------|----------|-----------------|
| Кислородный баланс, % | – 11,8 | – 25,0 | 0,02 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 946–956 | 973,1 | 920 |
| Объем газов, л/кг | 909–920 | 923,5 | 895 |
| Температура взрыва, К | 2642–2705 | 2761 | 2960 |
| Скорость детонации, км/с | 5,9–6,0 | 4,6 | 3,2–3,6 |
| Критический диаметр, мм | 60–90 | 115 | 50–70 |
| Фугасность, см ³ | 336–350 | 340 | 365 |
| Чувствительность к удару: | | | |
| частота взрывов в приборе 1, % | 0 | 0 | 4–12 |
| нижний предел в приборе 2, мм | 500 | 500 | 500 |
| Чувствительность к трению на приборе К-44-III: | | | |
| нижний предел, кгс/см ² | 3180–3543 | 3900 | 2450 |

Как показали термодинамические расчеты, составы ПВВ на основе конверсионных порохов и АС по детонационным характеристикам не уступают граммонитам и гранулотолу, что позволяет широко использовать их вместо гранулированных ВВ при отбойке горных пород.

На основании указанного разработаны ПВВ аммопоры, представляющие собой смесь баллиститного дробленого пороха и АС в соотношении от 10:90 до 50:50 [4]. Критический диаметр детонации аммопоров в открытой оболочке при содержании АС до 50 % не превышает 90 мм.

На основе конверсионного ПП и АС в соотношении 67:33 разработано ПВВ пироксел [5].

Одним из недостатков аммопоров и пироксела является ограничение их применения в обводненных скважинах, так как АС растворяется в воде. Этот недостаток присущ и граммонитам.

Проведены исследования по увеличению водостойкости состава за счет замены АС утилизированными гексогенсодержащими смесями (ГФ, ГФА, ТГФА).

По конверсии поступают следующие гексогенсодержащие смеси:

ГФ – гексоген флегматизированный (гексоген 95,0 %, флегматизаторы церезин со стеарином 5,0 %),

ГФА – гексоген флегматизированный (80,0 %), пудра алюминиевая (20 %);

ТГФА – тротил (19,6 %), гексоген (57,0 %), пудра алюминиевая (17,0 %), флегматизатор (6,4 %);

ТГ-40 – тротил (40,0 %), гексоген (60,0 %).

Взрывчатые характеристики конверсионных гексогенсодержащих смесей представлены в табл. 3.

Таблица 3. Взрывчатые характеристики гексогенсодержащих смесей

| Наименование показателя | Марка гексогенсодержащей смеси | | | |
|---|--------------------------------|--------|--------|-------|
| | ГФ | ГФА | ТГФА | ТГ-40 |
| Кислородный баланс, % | -36,9 | -33,4 | -56,6 | -42,6 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1309 | 1356 | 1364 | 1163 |
| Температура взрыва, К | 3342 | 3836 | 3850 | 3444 |
| Скорость детонации, км/с | 6,6 | 5,8 | 6,7 | 5,8 |
| Давление детонационной волны, кг/см ² | 171000 | 254000 | 124147 | 91769 |
| Фугасность, мл | 425 | 441 | 394 | 401 |
| Объем газов, л/кг | 907 | 821 | 730 | 832 |
| Чувствительность к удару: | | | | |
| частота взрывов, % | 24 | 28 | 28 | 36 |
| нижний предел, мм | 70 | 100 | ≥ 500 | 200 |
| Чувствительность к трению, нижний предел при давлении прижатия, кгс/см ² | 3267 | 3025 | 3509 | 2542 |

При выборе рецептуры промышленных ВВ на основе утилизированных гексогенсодержащих смесей проведен расчет термодинамических характеристик составов с целью предварительной оценки их работоспособности. Расчеты позволяют прогнозировать способность разрабатываемого ВВ к эффективному дроблению горных пород.

Как показали исследования термодинамических и взрывчатых характеристик составов на основе БП и гексогенсодержащих смесей, они обладают хорошей детонационной способностью, а мощность составов значительно возрастает при увеличении в их составе доли гексогенсодержащих смесей (табл. 4).

В процессе отработки технологии изготовления составов на основе БП и гексогенсодержащих смесей выяснилось, что их детонационная способность в значительной мере зависит от насыпной плотности, то есть от степени дробления БП и смесей ГФ, ГФА, ТГФА. При неоднородном распределении компо-

ментов и наличии больших кусков в заряде образуются пустоты, что может привести к отказу при взрывании. Опытным путем установлено, что длина частиц гексогенсодержащих смесей должна быть не более 6 мм, частиц БП – не более 50 мм. Для получения заряда плотностью не менее 1 г/см^3 в его состав необходимо ввести до 35 % смеси ГФ, ГФА или ТГФА.

Однако эти составы обладают существенным недостатком – высокой чувствительностью к механическим воздействиям (частота взрывов до 100 %). Кроме того, они являются диэлектриками, имеют высокое удельное объемное электрическое сопротивление ($4,4 \cdot 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$), что приводит к накоплению статического электричества. Таким образом, составы опасны в изготовлении и эксплуатации.

Авторами разработан метод обработки составов на основе БП и гексогенсодержащих смесей водными растворами полимеров, что позволит превратить эти составы в проводники электрического тока с удельным объемным электрическим сопротивлением $10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Даже в случае высыхания водного раствора на частицах ВВ остается защитная пленка полимера. Обработка водными растворами полимеров снижает чувствительность ВВ к механическим воздействиям, уменьшает накопление статического электричества, повышает однородность составов ПВВ, исключает седиментацию частиц компонентов. Исключается также пыление, что снижает опасность при применении, хранении и транспортировании ПВВ.

В качестве полимеров исследованы полиакриламид, поливинилацетат, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы. В результате остановились на растворе полиакриламида (ПАА) как наиболее доступном полимере, который нашел широкое применение при производстве акваторов.

Опытным путем установлен компонентный состав ПВВ – 63,0 % БП, 32,0 % смеси ГФ, ГФА, или ТГФА (ПВВ присвоены названия соответственно гепор 1, гепор 2 и гепор 3) и 5 % раствора полимера. Разработан проект технических условий ТУ У 24.6–14015318-129-2001 [6] на промышленные ВВ «Гепоры», предназначенные для ведения взрывных работ в скважинах любой степени обводненности (табл. 5).

Использование индустриального масла вместо водных растворов полимеров является нецелесообразным, так как оно резко увеличивает чувствительность состава к механическим воздействиям. Кроме того, возрастает удельное объемное электрическое сопротивление, что приводит к накоплению статического электричества и увеличению опасности при изготовлении и применении ПВВ.

Как следует из табл. 3, гексогенсодержащие утилизированные смеси обладают резко отрицательным кислородным балансом: от $-36,9$ (ГФ) до $-56,6$ % (ТГФА). Этот показатель можно уменьшить добавлением в смеси АС. Так, при добавлении к смеси ГФА аммиачной селитры кислородный баланс изменяется от $-33,4$ % (чистая смесь ГФА) до $8,6$ % (80 % АС и 20 % смеси ГФА). При этом значительно уменьшается содержание оксида углерода в продуктах взрыва.

Таблица 4. Взрывчатые характеристики составов на основе БП и утилизированных гексогенсодержащих смесей

| Наименование показателя | Состав, % | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | БП:ГФ | | | | БП:ГФА | | | | БП:ТГФА | | | |
| | 90:10 | 80:20 | 70:30 | 60:40 | 90:10 | 80:20 | 70:30 | 60:40 | 90:10 | 80:20 | 70:30 | 60:40 |
| Кислородный баланс, % | -42,9 | -42,3 | -41,6 | -40,9 | -42,6 | -41,5 | -40,1 | -40,1 | -44,5 | -45,3 | -46,1 | -47,0 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 978 | 1000 | 1023 | 1046 | 983 | 1011 | 1042 | 1062 | 969 | 984 | 998 | 1013 |
| Температура взрыва, К | 2800 | 2860 | 2921 | 2981 | 2841 | 2944 | 3064 | 3137 | 2791 | 2843 | 2895 | 2949 |
| Скорость детонации, км/с | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 4,8 | 5,0 | 5,2 | 5,0 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 |
| Давление ДВ, кг/см ² | 55100 | 57406 | 59750 | 62126 | 57695 | 63240 | 69300 | 72865 | 54494 | 56186 | 57920 | 59695 |
| Фугасность, мл | 331 | 341 | 351 | 361 | 333 | 345 | 356 | 368 | 328 | 334 | 341 | 347 |
| Объем газов, л/кг | 844 | 851 | 858 | 865 | 837 | 836 | 835 | 837 | 838 | 839 | 840 | 841 |
| Критический диаметр детонации, мм | 50–55 | | | | 45–50 | | | | 50–55 | | | |
| Чувствительность к удару: - частота взрывов, % | 96 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96 | 100 | 100 | 100 |
| Чувствительность к трению, нижний предел при давлении прижатия, кгс/см ² | 2646 | 2842 | 3038 | 3136 | 2528 | 2548 | 2616 | 2646 | – | – | – | – |

Таблица 5. Физико-химические и взрывчатые характеристики гепоров

| Наименование показателя | Гепор 1 | Гепор 2 | Гепор 3 | БП:ГФА: индустриальное масло |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------------------------|
| Кислородный баланс, % | -47,7 | -47,1 | -52,6 | -54,0 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 983 | 997 | 960 | 1065 |
| Температура взрыва, К | 2764 | 2880 | 2739 | 2726 |
| Скорость детонации, км/с | 5,2 | 5,2 | 5,1 | 5,6 |
| Давление детонационной волны, кг/см ² | 73929 | 74595 | 71693 | 87633 |
| Фугасность, мл | 339 | 343 | 328 | 356 |
| Объем газов, л/кг | 875 | 852 | 855 | 847 |
| Критический диаметр детонации, мм | 55–60 | 45–50 | 55–60 | 70–80 |
| Чувствительность к удару: - частота взрывов, % - нижний предел, мм | 0–4 > 500 | 4 >500 | 4 >500 | 68 70 |
| Чувствительность к трению, нижний предел при давлении прижатия, кгс/см ² | 3025 | 2646 | 2420 | 1815 |
| Водоустойчивость, независимо от степени проточности воды, сутки, не менее | 10 | 10 | 10 | – |
| Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·м | $0,9 \cdot 10^5$ | $0,7 \cdot 10^5$ | $2,1 \cdot 10^5$ | $2,4 \cdot 10^{10}$ |

Количество вредных газов при взрыве и кислородный баланс смеси ГФА резко снижаются при увеличении содержания в ней АС (табл. 6).

Таблица 6. Состав газообразных продуктов взрыва и кислородный баланс ПВВ на основе АС и смеси ГФА

| Состав ПВВ, % | Количество газов при взрыве, моль/кг | | | | Кислородный баланс, % |
|----------------|--------------------------------------|------|----------------|-------|-----------------------|
| | CO ₂ | CO | N ₂ | NO | |
| АС:ГФА = 80:20 | 1,1 | 1,5 | 11,7 | 0,68 | 8,6 |
| АС:ГФА = 20:80 | 2,7 | 10,2 | 12,7 | 0,12 | -25,5 |
| ГФА | 0,1 | 12,6 | 10,3 | 0,014 | -33,4 |

На рис. 1 и 2 приведена зависимость кислородного баланса и скорости детонации составов ПВВ от количества АС.

Результаты термодинамических расчетов составов на основе АС и гексогенсодержащих смесей приведены в табл. 7. Данные свидетельствуют о том, что эти составы по детонационным характеристикам не уступают граммонитам и гранулотолу. Варьирование количества гексогенсодержащих смесей в составах позволит получить ПВВ, способные взрывать горные породы различной крепости.

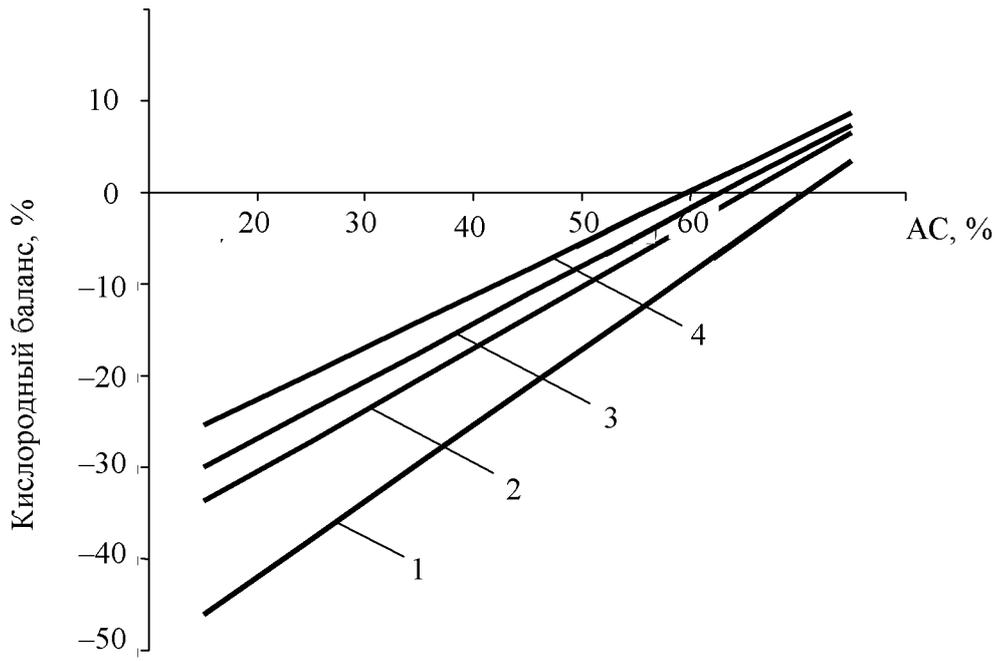


Рис. 1. Зависимость кислородного баланса ВВ от количества АС: 1 – ТГФА; 2 – ГФА; 3 – ТГ; 4 – ГФ

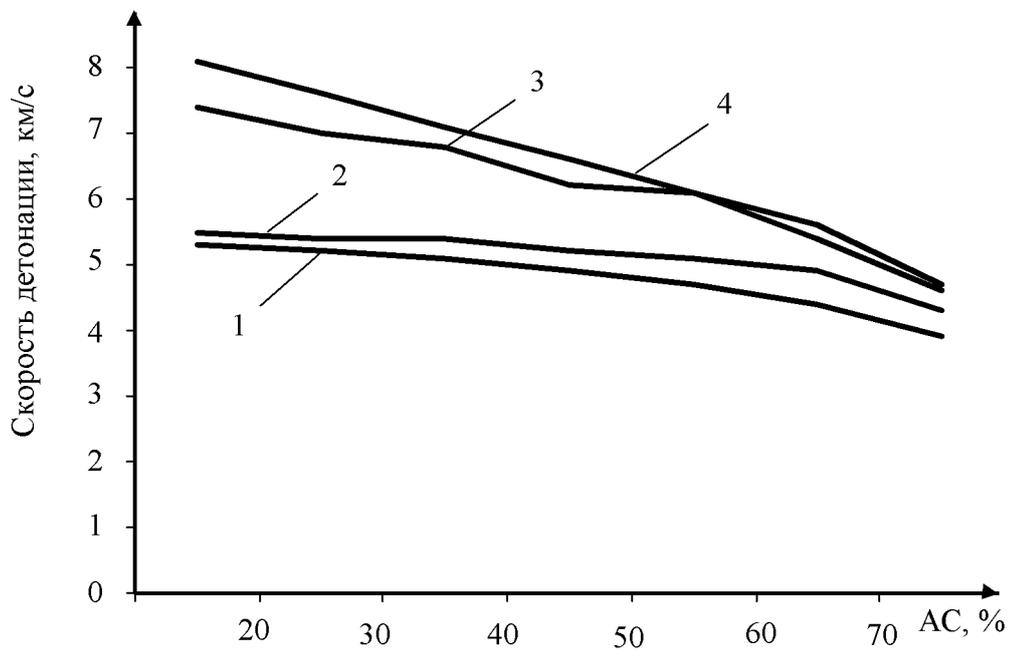


Рис. 2. Зависимость скорости детонации ВВ от количества АС: 1 – ГФ; 2 – ТГ; 3 – ТГФА; 4 – ГФА

Таблица 7. Термодинамические характеристики составов на основе АС и гексогенсодержащих смесей

| Состав Наименование показателя | АС:ГФ | | | | | | | АС:ГФА | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | 20:80 | 30:70 | 40:60 | 50:50 | 60:40 | 70:30 | 80:20 | 20:80 | 30:70 | 40:60 | 50:50 | 60:40 | 70:30 | 80:20 |
| Кислородный баланс, % | -25,5 | -19,8 | -14,1 | -8,4 | -2,7 | 2,9 | 8,6 | -33,8 | -27,1 | -20,4 | -13,6 | -6,9 | -0,2 | 6,5 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1121 | 1096 | 1075 | 1058 | 1047 | 956 | 977 | 1667 | 1561 | 1464 | 1375 | 1295 | 1224 | 969 |
| Температура взрыва, К | 3144 | 3056 | 2984 | 2889 | 2809 | 2564 | 2132 | 4851 | 4532 | 4238 | 3945 | 3621 | 3320 | 2649 |
| Скорость детонации, км/с | 5,3 | 5,2 | 5,1 | 4,9 | 4,7 | 4,4 | 3,9 | 8,1 | 7,6 | 7,1 | 6,6 | 6,1 | 5,6 | 4,7 |
| Давление детонационной волны, кг/см ² | 70004 | 66660 | 69981 | 59963 | 56412 | 49353 | 38214 | 165567 | 144526 | 126951 | 110564 | 93184 | 77947 | 55953 |
| Фугасность, мл | 409 | 400 | 395 | 378 | 362 | 331 | 280 | 490 | 489 | 487 | 474 | 440 | 403 | 333 |
| Объем газов, л/кг | 929 | 936 | 946 | 938 | 922 | 922 | 937 | 721 | 771 | 820 | 858 | 868 | 868 | 898 |

Продолжение табл. 7

| Состав Наименование показателя | АС:ТГФА | | | | | | | АС:ТГ | | | | | | |
|--|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 20:80 | 30:70 | 40:60 | 50:50 | 60:40 | 70:30 | 80:20 | 20:80 | 30:70 | 40:60 | 50:50 | 60:40 | 70:30 | 80:20 |
| Кислородный баланс, % | -46,1 | -37,8 | -29,6 | -21,3 | -13,0 | -4,8 | 3,4 | -30,0 | -23,8 | -17,5 | -11,0 | -5,0 | 1,2 | 7,4 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1498 | 1407 | 1326 | 1254 | 1192 | 1140 | 1001 | 1101 | 1076 | 1055 | 1039 | 1029 | 990 | 809 |
| Температура взрыва, К | 4169 | 3938 | 3727 | 3537 | 3319 | 3096 | 2693 | 3208 | 3103 | 3036 | 2924 | 2826 | 2675 | 2223 |
| Скорость детонации, км/с | 7,4 | 7,0 | 6,6 | 6,2 | 6,1 | 5,4 | 4,8 | 5,5 | 5,4 | 5,4 | 5,2 | 5,1 | 4,9 | 4,3 |
| Давление детонационной волны, кг/см ² | 137289 | 121293 | 107988 | 96861 | 104478 | 71955 | 56691 | 84457 | 80997 | 79282 | 74528 | 70481 | 65080 | 51914 |
| Фугасность, мл | 429 | 433 | 435 | 436 | 418 | 388 | 340 | 392 | 386 | 390 | 372 | 357 | 337 | 287 |
| Объем газов, л/кг | 736 | 786 | 834 | 881 | 900 | 896 | 902 | 872 | 888 | 918 | 910 | 903 | 900 | 921 |

Однако применение взрывчатых составов на основе гексогенсодержащих смесей и АС проблематично из-за высокой чувствительности к механическим воздействиям (см. табл. 7). При работе с этими составами, а также при зарядке их в скважину возможно пыление, что может вызвать загорание и взрыв.

Предложена обработка этих составов водным раствором полиакриламида. В процессе отработки технологии получения ПВВ на основе гексогенсодержащих смесей и АС изготавливали образцы с различным содержанием раствора ПАА. При введении раствора ПАА в количестве 5 % гранулы АС сохраняют свою форму, состав уплотняется до оптимальной плотности при патронировании 1,1–1,2 г/см².

Анализ результатов исследований полученных ПВВ показал, что водный раствор ПАА существенно снижает чувствительность составов к механическим воздействиям. Чувствительность к удару состава, содержащего 67,5 % смеси ТГФА, 27,5 % АС и 5 % раствора ПАА, составляет 4 %, чувствительность к трению – 3267 кг/см² (без добавления ПАА эти показатели равны соответственно 24 % и 3025 кг/см²).

Термодинамические характеристики составов ПВВ на основе гексогенсодержащих смесей и АС с раствором ПАА в количестве 5 % приведены в табл. 8.

Из таблицы следует, что при введении в состав ПВВ раствора ПАА:

снижается кислородный баланс ПВВ, то есть уменьшается количество окиси углерода в продуктах взрыва;

возрастает давление детонационной волны, что значительно увеличивает дробящее действие ПВВ;

увеличивается скорость детонации ПВВ.

Это можно объяснить тем, что заполнение пространства между частицами гексогенсодержащей смеси и АС раствором ПАА приводит к повышению плотности продуктов взрыва в начальный момент их образования, вследствие чего повышаются давление взрыва и скорость детонации ПВВ [7].

На основании термодинамических расчетов выбрана рецептура промышленного ВВ конверсела на основе ТГФА, АС и раствора ПАА в соотношении 66,5:28,5:5,0. На основе смесей ГФ и ГФА разработана рецептура ПВВ гексоселамов с содержанием ГФ или ГФА 47,5–67,5 %, АС 27,5–47,5 %, загустителя (раствора ПАА, КМЦ или гуаргама) в количестве до 5 % (см. табл. 8).

Проведенные в ходе испытаний исследования показали, что критический диаметр детонации уменьшается со снижением процентного содержания раствора ПАА. При содержании в смеси 10 % раствора ПАА критический диаметр детонации составляет 40 мм, 6 % раствора ПАА – 33 мм, 5 % – 26 мм. Проведены испытания конверсела и гексоселамов с целью определения взрывчатых характеристик – полноты, критического диаметра и скорости детонации (табл. 9).

На основе полученных данных разработаны проекты ТУ на вещества взрывчатые промышленные «Конверсел» ТУ У 24.6-14015318-183-2001 [8] и «Гексоселамы» ТУ У 71-117-162-2001 [9].

Конверсел и гексоселамы предназначены для ведения взрывных работ скважинными зарядами при открытой разработке пород средней и выше

Таблица 8. Термодинамические характеристики составов на основе гексогенсодержащих смесей, АС и раствора полиакриламида

| Состав Наименование показателя | АС:ПАА:ГФ | | | | АС:ПАА:ГФА | | | | АС:ПАА:ТГФА | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 17,5:5,0:77,5 | 37,5:5,0:57,5 | 67,5:5,0:27,5 | 77,5:5,0:17,5 | 17,5:5,0:77,5 | 37,5:5,0:57,5 | 67,5:5,0:27,5 | 77,5:5,0:17,5 | 17,5:5,0:77,5 | 37,5:5,0:57,5 | 67,5:5,0:27,5 | 77,5:5,0:17,5 |
| Кислородный баланс, % | -33,5 | -22,2 | -5,1 | 0,6 | -41,6 | -28,2 | -7,9 | -1,2 | -53,5 | -36,9 | -12,2 | -3,9 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1068 | 1013 | 959 | 934 | 1609 | 1394 | 1131 | 1058 | 1448 | 1266 | 1059 | 1009 |
| Температура взрыва, К | 2958 | 2781 | 2550 | 2452 | 4528 | 3912 | 3074 | 2804 | 3912 | 3460 | 2883 | 2680 |
| Скорость детонации, км/с | 5,5 | 5,3 | 4,9 | 4,7 | 8,3 | 7,2 | 5,8 | 5,3 | 7,6 | 6,7 | 5,6 | 5,2 |
| Давление взрыва, кг/см ² | 84711 | 76845 | 65670 | 61255 | 188967 | 143604 | 92642 | 77641 | 158720 | 123755 | 86111 | 73754 |
| Фугасность, мл | 390 | 373 | 339 | 323 | 455 | 448 | 393 | 359 | 400 | 402 | 378 | 349 |
| Удельный объем газов, л/кг | 942 | 959 | 950 | 939 | 718 | 818 | 914 | 914 | 731 | 830 | 937 | 930 |

Таблица 9. Физико-химические и взрывчатые характеристики конверсела и гексоселамов в сравнении с грамммонитом 79/21

| Наименование показателя | Конверсел | Гексоселамы | Грамммонит 79/21 |
|---|-----------|------------------|------------------|
| Кислородный баланс, % | -29,2 | от -21,3 до -2,1 | 0,02 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 930 | 1086-1119 | 967 |
| Объем газов, л/кг | 929 | 908-967 | 895 |
| Температура взрыва, К | 2655 | 2597-2896 | 2689 |
| Скорость детонации, км/с | 5,0 | 5,7-5,9 | 3,2-3,6 |
| Критический диаметр детонации, мм | 26 | 15-20 | 50-70 |
| Фугасность, мл | 345 | 352-368 | 365 |
| Давление детонационной волны, кгс/см ² | 69542 | 88432-91027 | 68368 |
| Чувствительность к удару: - частота взрывов, % | 0-4 | 4-10 | 4-12 |
| Чувствительность к трению, нижний предел, кгс/см ² | 3267 | 2783-3267 | 2450 |

средней крепости в сухих и обводненных скважинах с применением ручного заряжания. Выпускаются в патронированном виде, диаметр патронов от 90 до 240 мм.

По детонационной способности конверсел и гексоселамы чувствительны к первичным средствам взрыва, особенно в открытых зарядах малых диаметров. Поэтому существует возможность применения этих ПВВ в качестве накладных зарядов (с использованием измельченной АС) для взрывного дробления негабаритных кусков горной массы.

Выводы

1. Проведены исследования характеристик конверсионных ВВ: пироксилиновых, баллиститных порохов и бризантных гексогенсодержащих смесей.
2. Впервые в Украине разработаны рецептуры промышленных взрывчатых веществ на основе конверсионных ВВ и аммиачной селитры.
3. Проведен комплекс исследований физико-химических и взрывчатых характеристик ПВВ на основе конверсионных ВВ и оформлены технические условия на пироксел, аммопоры, гепоры, гексоселамы, конверсел.
4. ПВВ, разработанные на основе конверсионных порохов и гексогенсодержащих смесей, проходят широкие промышленные испытания на карьерах ассоциации «Укрвзрывпром».

1. ТУ У 3.50-14015318-092-2001. Вещества взрывчатые промышленные. Смесей гексогенсодержащие утилизированные.

2. Щукин Ю. Г., Кутузов Б. Н. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов. – М.: Недра, 1998. – 319 с.

3. Ефремов Э. И., Комир В. М. и др. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород. – К.: Техника, 1990. – 148 с.

4. ТУ У 3.50-14015318-092-2001. Вещества взрывчатые промышленные. Аммопоры.

5. ТУ У 3.50-14015318-033-1997. Вещества взрывчатые промышленные. Пироксел.

6. ТУ У 24.6-14015318-129-2000. Вещества взрывчатые промышленные. Гепоры.

7. Поздняков З. Г., Росси Б. Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. – М.: Недра, 1977. – 255 с.

8. ТУ У 24.6-14015318-183-2001. Вещества взрывчатые промышленные. Конверсел.

9. ТУ У 24.6-14015318-162-2001. Вещества взрывчатые промышленные. Гексоселамы.