

О РАЗВИТИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗОПАСНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ



Б. Н. КУТУЗОВ,
проф. д-р техн. наук
(МГГУ)



Н. П. СМАГИН,
главный специалист



В. Г. МОЗГОВОЙ,
генеральный директор



В. Ю. ФАДЕЕВ,
инженер

ЗАО «Взрывинвест»

«Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации» (2002 г.) содержит более 20 наименований гранулированных взрывчатых веществ (ГВВ), предназначенных для механизированного пневматического заряжания на подземных горных работах. Из них 8 типов ГВВ изготавливают непосредственно на местах применения, а 13 — на специализированных заводах и поставляют предприятиям-потребителям в готовом виде (см. таблицу). Опыта использования эмульсионных ВВ (ЭВВ) на подземных горных работах до настоящего времени в России нет.

Все ГВВ, допускаемые к постоянному использованию в подземных горных выработках, можно классифицировать по следующим критериям:

по месту изготовления — изготавливаемые на местах потребления и заводского изготовления;

по виду окислителя — на пористой аммиачной селитре (ПАС), на селитре общепромышленного назначения (АС);

по типу энергетических добавок — порошок ферросилиция (ФС), алюминиевая пудра пиротехническая (ПАП), порошок алюминия (АП), порошок силикоалюминия (САС), угольный порошок (УП), нефтепродукты (НП);

по наличию в составе индивидуальных взрывчатых ве-

ществ — содержащие тротил (ТНТ) и не содержащие тротил (бестротилловые).

До последнего времени из гранулированных ВВ заводского изготовления наибольшее распространение имели граммонит 79/21, гранулиты АС-4 и АС-8 и их модификации повышенной водоустойчивости — АС-4В и АС-8В. Эти ГВВ имеют высокие энергетические показатели (теплота взрыва граммонита 79/21 — 4291 кДж/кг, АС-8 — 5225 кДж/кг), обладают хорошей сыпучестью и технологичностью при различных режимах пневмотранспортирования. Вместе с тем их существенным недостатком является значительное пылеобразование при механизированном заряжении. Образование тонкодисперсной фракции при заряжа-

Гранулированные ВВ, допущенные для механизированного пневмозаряжания на подземных горных работах

ГВВ заводского изготовления		ГВВ, изготавливаемые на местах применения	
Марка	Состав	Марка	Состав
Акванит АРЗ-8	АС + ТНТ + ...		
Акванал АРЗ-8Н	АС + ТНТ + ...		
Граммонит 79/21	АС + ТНТ	Граммотол 5; 10; 15; 20	АС (ПАС) + ТНТ + НП
Граммонит М5; 21	АС + ТНТ + НП		
Граммонит ТМ	АС + ТНТ + НП		
Гранулит АС-4	АС + ПАП + НП	Гранулит А6	АС + АП (САС) + НП
Гранулит АС-8	АС + ПАП + НП	Гранулит А3	АС + АП + НП
Гранулит АФ-7	АС + ФС + НП	Гранулит ПМ	АС + АП (ФС) + НП
Гранулит АФ-12	АС + ФС + НП	Игданит	АС + НП
Граммотол 5Ф, 10Ф	АС + ФС + НП + ТНТ		
Гранулит МГ-10	АС + АП + ФС + НП	Гранулит Д-5	ПАС + УП + НП

нии граммонитом 79/21 в значительной степени обусловлено интенсивным разрушением чешуированного тротила, а при зарядании гранулитом АС-4 и АС-8 — отделением с поверхности гранул и переходом во взвешенное состояние частиц алюминиевой пудры размером 5–10 мкм. Концентрация аэрозоля компонентов ПВВ при пневмозарядании во много раз превышает ПДК и достигает нижних концентрационных пределов взрываемости.

Наиболее опасным компонентом промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) является тротил. По степени воздействия на организм человека он отнесен ко II классу опасности — «вещество высокоопасное» (по ГОСТ 12.1.007-88), ПДК аэрозоля которого в воздухе рабочей зоны составляет 0,1 мг/м³.

Входящие в состав ГВВ тротил и алюминиевая пудра являются диэлектриками (удельные сопротивления более 10⁹ Ом·м), что провоцирует процессы электризации. Энергия электростатического поля при пневмотранспортировании гранулита АС-8 достигает 6,3 мДж, граммонита 79/21 — 52,8 мДж, что существенно превышает значения минимальной энергии воспламенения аэрозолей ВВ (граммонита 79/21 — 1,05 мДж, гранулита АС-8 — 3,2 мДж) и обуславливает необходимость выполнения специальных мероприятий: применения полупроводящих шлангов, заземления зарядного агрегата и магистрали, увлажнения ВВ и др.

Интенсивное образование тонкодисперсной пыли при пневматическом зарядании, сопровождающееся электростатическими разрядами, стало причиной ряда крупных аварий, произошедших в 1980–1990 гг., в связи с чем Ростехнадзор принял решение о запрете использования граммонита 79/21 для пневматического зарядания на подземных горных работах.

С установлением рыночных отношений в экономике, ростом цен на заводские ВВ и тарифов на их перевозку активизировались работы по созданию технологий изготовления ГВВ на местах использования. При этом следует выделить два направления в разработке взрывчатых составов (ВС): технологии с использованием в составах индивидуальных ВВ, например гранулированного ТНТ (граммониты, граммотолы), и с введением в состав энергетических добавок, в основном порошков металлов (гранулиты).

Наиболее простой взрывчатый состав — игданит — на основе аммиачной селитры общехозяйственного назначения (ГОСТ 2-85) не получил широкого использования при производстве взрывов на подземных горных работах в связи с недостаточной (2,5–4 %) удерживающей (впитывающей) способностью АС по отношению к дизельному топливу (ДТ). При пневматическом зарядании часть ДТ переходит в аэрозольное состояние и выносится из заряжаемой взрывной полости, вследствие чего нарушается кислородный баланс и снижаются энергетические характеристики ВВ.

Более широкие перспективы использования простейших бинарных составов (игданит П и др.) связаны с освоением промышленного производства пористой аммиачной селитры (ПАС), удерживающая способность которой по отношению к ДТ достигает 8 %. Формирование заряда ВВ на основе ПАС не вызывает особых осложнений при пневматическом зарядании скважин

диаметром до 70 мм и длине транспортной магистрали до 100 м. При этом установлено, что при зарядании скважин диаметром более 100 мм и длине зарядной магистрали свыше 100 м в связи с малой (0,5 кг/гранулу) прочностью гранул ПАС высока вероятность их разрушения, что значительно усложняет процесс формирования заряда и приводит к образованию большого количества просыпей ВВ. Дальнейшие работы по обеспечению более однородного гранулометрического состава ПАС с преобладанием гранул размером 1,5–2 мм, а также разработка ВВ на основе смеси ПАС и АС позволили в определенной степени решить эту проблему.

Следует отметить, что за рубежом изготавливают несколько сортов ПАС с различной насыпной плотностью, что позволяет потребителям использовать для конкретных условий тот или иной сорт. Так, фирма YARA поставляет пять сортов ПАС различной насыпной плотности; производство аналогичной продукции освоило ОАО «Акрон», г. Новгород. Однако в России пока нет достаточного опыта и научно обоснованного подхода к выбору определенных сортов ПАС для подземных условий.

Тем не менее мировой опыт и опыт работы передовых горнодобывающих предприятий России показывает, что использование ПАС + ДТ обеспечивает удовлетворительные результаты практически при всех горно-геологических условиях ведения проходческих работ. Так, на руднике «Октябрьский» ГМК «Норильский никель» при проходке горных выработок по породам крепостью до 16 по шкале проф. М. М. Протодыконова, глубине шпуров до 5 м, с применением прямых врубов и использовании ГВВ типа «игданит» достигнуты высокие результаты взрывных работ: средний коэффициент использования шпура составляет 0,95.

С целью повышения энергетических характеристик ПВВ разработчики вводят в их состав добавки, которые не только стабилизируют состав за счет увеличения суммарной поверхности смеси (угольный порошок, торф), но и повышают теплоту взрыва (порошки металлов). Добавка в состав АС + ДТ 5 или 10 % алюминия увеличивает относительную работоспособность ГВВ на 16 и 32 % соответственно. В рецептуре наиболее мощного из изготавливаемых на местах использования гранулита А6 (аналога гранулита АС-8) использован порошок алюминия крупностью 100–400 мкм. Частицы такого размера не восприимчивы к энергии искры от электростатических разрядов, сохраняют электропроводимость металлов, не являются пневмокониозоопасными, что позволило значительно снизить опасность пылеобразования и электризации при пневмотранспортировании ВВ.

С целью снижения стоимости ГВВ и предупреждения миграции из них дизельного топлива разработаны рецептуры с введением порошков угля (гранулит Д5) и торфа (гранулит Т), однако их широкое использование ограничивают существенно более низкие по сравнению с алюмо- и тротилсодержащими ГВВ энергетические характеристики, а также опасность электризации потока.

По соображениям ценовой привлекательности созданы составы ГВВ на основе ферросилиция (ФС) — гранулиты АФ-7, АФ-12. При их изготовлении используют отходы ферросплавного производства. По

энергетическим характеристикам эти ГВВ близки к гранулиту АС-4, но их чувствительность превосходит тротил: частота взрывов при массе груза 24 кг составляет от 12 до 100 % против 12–24 % у тротила. Высокое содержание тонкодисперсного компонента (до 12 %) повышает пыление при пневмотранспортировании. Определенные опасения вызывает возможность образования при взаимодействии ФС с водой высокотоксичных соединений, а также выделения чрезвычайно опасных газов — фосфина и арсина — при взаимодействии с водой, паром, щелочами, кислотами и при повреждении поверхности материала, например, при погрузке, выгрузке, перемешивании.

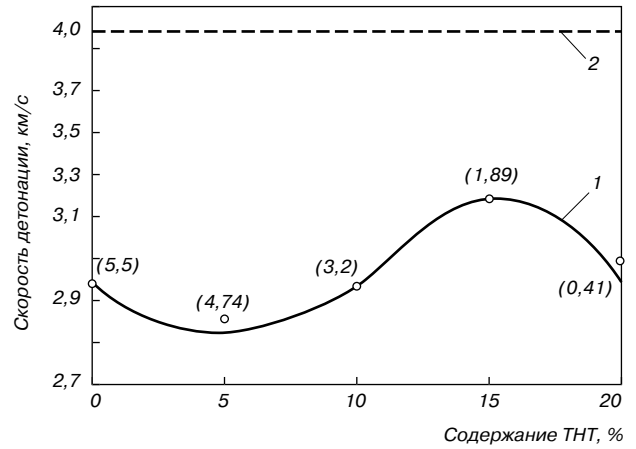
После запрещения на подземных работах механизированного заряжания граммонитом 79/21 были разработаны рецептуры ГВВ (граммотолы, граммониты М21, Т18 и др.), в которых чешуирующий тротил заменен на гранулированный. Предполагалось, что высокая прочность гранул на раздавливание существенно снизит интенсивность образования тонкодисперсной фракции при пневмотранспортировании, а следовательно, — пылевыделение и электризуемость аэрозвеси ВВ. Цель была достигнута, но с началом внедрения ГВВ на основе гранулированного ТНТ на ряде предприятий было зарегистрировано снижение качества взрывных работ.

Видимо, причиной снижения взрывной эффективности смесей АС + ДТ с гранулированным ТНТ является потеря однородности сформированного в скважине заряда ВВ, так как при пневмозаряжении в большей степени измельчаются гранулы АС, а гранулы ТНТ, прочность которых приближается к литому тротилу, измельчаются незначительно. В определенных условиях, при недостаточном давлении на фронте волны ведущей среды, гранулы ТНТ будут сгорать, как обычное органическое вещество, не участвуя в детонационном процессе взрывчатого превращения. Например, для возникновения взрывного горения необходимо давление иницирующей ударной волны в порошкообразном тротиле 7–8, в нитроглицерине — 120, в литом тротиле — до 180 кбар, а давление во фронте детонационной волны смеси АС + ДТ (в насыпном состоянии) не превышает 40–60 кбар.

Следует отметить, что использование ДТ в составах, содержащих индивидуальное взрывчатое вещество, недостаточно обосновано с позиций взаимодействия пары «ТНТ — ДТ», а незначительный опыт использования составов на основе гранулированного ТНТ не позволяет в полной мере оценить их взрывчатые характеристики. Одним из значимых исследований в этом направлении являются экспериментальные работы по оценке взрывной эффективности граммотолов, выполненные ГоИ КНЦ РАН на подземном руднике ОАО «Апатит».

В смеси ПАС (производства ОАО «Акрон») и ДТ вводили в качестве сенсibilизатора гранулированный ТНТ (гранулотол) в разном количестве — от 0 до 20 %, изменяя при этом содержание ДТ (от 0,33 до 5,5 %) и ПАС, исходя из условий получения нулевого кислородного баланса. В качестве эталонного ПВВ был принят граммонит 79/21.

По результатам исследований (см. рисунок) установлена склонность граммотолов к затуханию детона-



Изменение скорости детонации смесей ПАС + ДТ + ТНТ в зависимости от доли гранулотола (диаметр заряда 42 мм):
 1 — граммотол плотностью 1,1 г/см³ (в скобках — доля ДТ (%) в смеси ПАС + ДТ); 2 — эталонный граммонит 79/21

ционных процессов (уменьшению скорости детонации по длине заряда) в связи с воздействием ДТ на ТНТ как флегматизатора. В детонационной волне процессом управляет более мелкий взрывчатый компонент — смесь АС + ДТ (гранулит). Вероятно, флегматизированный гранулотол при его содержании в смеси до 5 % не участвует в детонационном процессе и ведет себя как инертная горючая добавка, требующая затрат энергии детонационной волны на свой прогрев и начало химической реакции, что в целом ухудшает свойства граммотола. При 10 %-ной добавке гранулотола скорость детонации незначительно увеличивается, достигая скорости детонации гранулита АС-ДТ. При 15 %-ной добавке гранулотола скорость детонации достигает максимального значения. Это можно объяснить тем, что наибольшей детонационной способностью обладают смеси, состоящие из гранулированной АС и 2 % ДТ, в этом случае часть гранулотола начинает реагировать с взрывным эффектом в детонационной волне.

При содержании гранулотола в тройной смеси, равном 20 % (в этом случае доля ДТ составляет всего 0,41 %), скорость детонации смеси немного выше, чем у смеси АС + ДТ без гранулотола. При увеличении концентрации ДТ до 3 % скорость детонации всей смеси возрастает, но в этом случае кислородный баланс становится отрицательным.

В целом использование смесей с участием гранулированного ТНТ в определенной степени улучшает санитарно-гигиенические условия труда по наиболее токсичному компоненту — ТНТ, несколько снижает, но не исключает вероятности электризации аэрозвеси ВВ. Вместе с тем взрывные характеристики граммотолов существенно хуже, чем, например граммонита 79/21.

Наиболее перспективными как с позиций возможностей регулирования энергетических характеристик в соответствии с конкретными горно-геологическими условиями ведения взрывных работ, так и безопасности на стадии использования являются эмульсионные ВВ. До настоящего времени значимого опыта использования ЭВВ на подземных работах нет ни в России, ни

в других странах СНГ. По имеющимся данным, стоимость ЭВВ для подземных работ в 1,5–2 раза выше стоимости гранулитов. Кроме того, для обеспечения возможности использования ЭВВ на действующих предприятиях необходима замена всего парка зарядного оборудования. Следует отметить также более сложную технологию изготовления ЭВВ по сравнению, например, с гранулитами, что обуславливает необходимость повышенного внимания к обеспечению безопасности. С начала широкомасштабного использования эмульсионных технологий в мировой и отечественной практике зарегистрировано более 20 аварий, произошедших при изготовлении эмульсионной матрицы, патронировке и транспортировании ЭВВ.

В заключение следует подчеркнуть, что промышленные взрывчатые вещества как химически неустойчивые, энергетически конденсированные системы изначально несут высокую потенциальную опасность на всех этапах их производства, перемещения и использования. Поэтому все технологические операции с ними должны выполняться в строгом соответствии с регламентирующей и нормативной документацией. Из перечня промышленных ВВ, допущенных для механизированного заряжания на подземных горных работах в России, практически используют не более половины, при этом значительная часть из них представлена составами, содержащими опасный во всех отношениях тротил. Ряд рецептов содержит в своем составе компоненты (например, ФС), опасность которых в специфических условиях пневматического заряжания на подземных горных работах учитывается не в полной мере.

Современные технологии взрывных работ в России в целом отражают общие тенденции развития мировой практики взрывного дела, в соответствии с которыми увеличивается доля простейших составов АС + ДТ, в том числе на основе ПАС, изготавливаемых

на местах использования. При этом использование тротила в простейших составах, предназначенных для механизированного заряжания на подземных горных работах, из соображений безопасности, экологичности и взрывотехнической эффективности нецелесообразно.

Значительный прогресс в обеспечении безопасности и эффективности взрывных работ в подземных условиях может быть достигнут за счет освоения эмульсионных технологий. В связи с этим актуальны работы по созданию экономически доступных для подземных предприятий установок (модулей) для производства ЭВВ и соответствующего мобильного оборудования для заряжания шпуров и скважин. Вслед за открытыми горными работами это станет важным этапом реализации концепции использования бестротилового ПВВ. **ТХ**

E-mail: komplekt@sovintel.ru

ON DEVELOPMENT OF PRODUCTION OF SAFE AND EFFICIENT EXPLOSIVES FOR UNDERGROUND MINING WORKS

Kutuzov B. N., Smagin N. P., Mozgovoy V. G., Fadeev V. Yu.

Expedience of development and wide putting into practice of technical-technological complexes providing transition to usage of trinitrotoluol-free emulsion explosives has been substantiated on the base of analysis of power parameters, technological properties and safety of usage of explosives accepted for mechanized charging during underground mining operations in Russia.

Key words: *explosives, mechanized charging, oxidant, power additives, granulotol, emulsion explosives, electrization, detonation.*

**ПРЕМИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ
«МЕХАНОБР-ТЕХНИКА»**

Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» удостоена премии правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего и среднего профессионального образования 2008 г. в номинации «В области интеграции образования, науки и промышленности». Премия присуждена за создание и постоянное развитие информационно-выставочного и обучающего центра энергосберегающих технологий и машин по переработке минерального и техногенного сырья, который используется вузами Санкт-Петербурга при подготовке специалистов, магистров и аспирантов, а также переподготовке кадров высшей квалификации. На этой же базе функционируют две профильные кафедры — Санкт-Петербургского государственного политехнического университета и Санкт-Петербургского государственного горного института.

Персональным лауреатом правительственной премии стал генеральный директор — научный руководитель корпорации профессор, доктор технических наук Л. А. Вайсберг.

Коллектив НПК «Механобр-техника» второй раз в течение последнего полугодия удостоивается премии правительства Санкт-Петербурга. Так, в декабре 2007 г. корпорации была вручена премия правительства Санкт-Петербурга за достижения в сфере экспорта продукции в разделе «Машиностроение». Данной премией было подчеркнута признание НПК «Механобр-техника» как компании, поставляющей инновационные технологии и оборудование в 34 страны мира.