

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРА МГНОВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. 2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

С.И. Постнов, Е.А. Кожевников, А.А. Гидаспов, В.А. Рекинский

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Для электродетонатора мгновенного действия повышенной безопасности (ЭД-М-ПБ), не содержащего инициирующих взрывчатых веществ, предложено введение фаски в конструкцию металлической цилиндрической оболочки (МЦО). Экспериментально доказано, что применение МЦО с фаской позволяет повысить эффективность действия ЭД-М-ПБ и использовать более безопасные, чем гексоген, бризантные взрывчатые вещества в качестве основного заряда ЭД-М-ПБ.

Ключевые слова: электродетонатор без инициирующих взрывчатых веществ, конструкция, металлическая цилиндрическая оболочка, гексоген, тротил, ТЭН, октоген, азид свинца, флегматизированные бризантные взрывчатые вещества.

Введение

В предыдущих сообщениях [1–6] предложена, обоснована и экспериментально проверена конструкция электродетонатора (ЭД) мгновенного действия повышенной безопасности (ЭД-М-ПБ), которая может использоваться для проведения взрывных работ в нефтегазовой промышленности. Повышенная безопасность обусловлена тем, что в отличие от применяемых штатных ЭД-8 [7, с. 51] в ЭД-М-ПБ не используются инициирующие взрывчатые вещества, обладающие высокой чувствительностью (взрывоопасностью) ко всем видам воздействий. Конструкция ЭД-М-ПБ приведена на рис. 1.

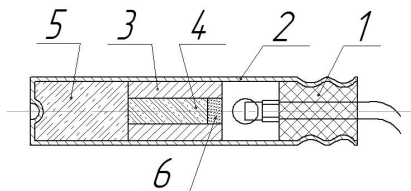


Рис. 1. Конструкция ЭД-М-ПБ: 1 – электровоспламенитель; 2 – гильза; 3 – металлическая цилиндрическая оболочка с осевым каналом (МЦО); 4 – инициирующий заряд БВВ; 5 – основной заряд БВВ; 6 – воспламенительный состав

Станислав Иванович Постнов (к.т.н.), старший научный сотрудник кафедры «Химия и технология органических соединений азота».

Евгений Александрович Кожевников, ассистент кафедры «Химия и технология органических соединений азота».

Александр Александрович Гидаспов (д.х.н., проф.), заведующий кафедрой «Химия и технология органических соединений азота».

Владимир Андреевич Рекинский (к.х.н.), доцент кафедры «Химия и технология органических соединений азота».

Принцип действия ЭД-М-ПБ основан на возбуждении основного заряда БВВ ударной волной, образующейся за счет перехода горения БВВ в МЦО в детонацию.

В настоящем сообщении приведены и обсуждаются результаты экспериментальных исследований, направленных на повышение эффективности действия МЦО и ЭД-М-ПБ в целом, и исследований возможности замены в основном заряде гексогена на более безопасные БВВ.

Экспериментальные результаты и обсуждение

В конструкции ЭД-М-ПБ применяются промышленные: электровоспламенитель ЭВ-Ж [ГОСТ (8)] (поз. 1 рис. 1), гильза для КД № 8 [9] (поз. 2 рис. 1), основной заряд бризантного взрывчатого вещества (БВВ) (поз. 5 рис. 1) – гексогена, инициирующий заряд БВВ – тетранитрат пентаэритрита (ТЭН, поз. 4 рис. 1), воспламенительный состав на основе свинцового сурика и титана (ТСС, поз. 6 рис. 1) [10, с. 213]. Ключевой элемент конструкции – металлическая цилиндрическая оболочка с осевым резьбовым каналом (МЦО, поз. 3, рис. 1) может быть изготовлена из сталей А12, Ст3 или Ст45, имеет длину 20 мм, внешний диаметр 6,4 мм, внутренний диаметр 2,9 мм с резьбой М3.

С целью повышения эффективности действия изучено применение в конструкции ЭД-М-ПБ МЦО с внутренней фаской (рис. 2) со стороны основного заряда.

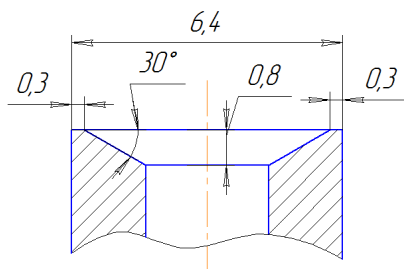


Рис. 2. Исполнение фаски на МЦО (размеры для справок)

Экспериментально проведены сравнительные испытания ЭД-М-ПБ с МЦО без фаски, ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску, и азидного ЭД. В качестве основного заряда ЭД использовалось ныне применяемое мощное БВВ – гексоген (при плотности заряда $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$: теплота взрыва ($\text{H}_2\text{O} - \text{газ}$) $Q_{\text{взр}} = 5225 \text{ кДж/кг}$ [11], скорость детонации $D = 7775 \text{ м/с}$ [12, с. 350], давление детонации (плоскость Чепмена – Жуге) $P_n = 21,38 \text{ ГПа}$ [12, с. 350]). Для контрастного сравнения также использовалось не применяемое в ЭД БВВ средней мощности – тротил (при $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$: $Q_{\text{взр}} = 4193 \text{ кДж/кг}$ [11], $D = 6665 \text{ м/с}$ [12, с. 350] и $P_n = 14,73 \text{ ГПа}$ [12, с. 350]). Эти вещества различаются не только мощностью, но и чувствительностью ко всем видам воздействий, в частности, что важно для рассматриваемых экспериментов, к ударно-волновому воздействию (критическое давление инициирования детонации при $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$ для гексогена – 0,55 ГПа, для тротила – 1,1 ГПа [13, с. 188]).

Изготовление ЭД-М-ПБ включает три операции снаряжения: МЦО, гильзы и собственно ЭД-М-ПБ. Снаряжение МЦО проводилось путем порционного прессования пяти навесок. В МЦО без фаски последовательно запрессовывались навески: первая – 20 мг ТСС + 20 мг ТЭНа, со второй по пятую – по 50 мг ТЭНа. В МЦО с фаской последовательно запрессовывались навески: первая – 20 мг ТСС + 20 мг ТЭНа, со второй по пятую – по 45 мг ТЭНа. Это обеспечивало плотность ТЭНа в МЦО $1,48 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$. Прессование (здесь и далее) осуществлялось принятым в лабо-

раторной технологии изготовления КД и ЭД методом [14, с. 161] в сборке на гидравлическом прессе копра К-44-III [15, с. 177]. Для операций снаряжения МЦО гильзы и чашечки использовались разные сборки, отличающиеся внутренним диаметром матрицы и диаметром пуансона.

Снаряжение гильзы: в гильзу КД №8 длиной 60 мм помещалась навеска БВВ (гексогена или тротила) массой 400 мг и запрессовывалась до $\rho = 1,52 \pm 0,3 \text{ г/см}^3$.

Снаряжение ЭД-М-ПБ: в снаряженную гильзу производилась подсыпка БВВ (гексогена или тротила): для МЦО без фаски – 100 мг, для МЦО с фаской – 120 мг (20 мг – для компенсации незаполненного объема фаски); в гильзу с натягом запрессовывалась снаряженная МЦО; в дульце гильзы вводился электровоспламенитель и закреплялся в ней при помощи специального обжимного устройства [14, с. 162].

Изготовление азидного ЭД включает три операции снаряжения [7, с. 51]: чашечки, гильзы и собственно ЭД. В чашечку с отверстием, закрытым латунной сеткой (0,25×0,25 мм), помещалась навеска иницирующего взрывчатого вещества (ИВВ) – азида свинца массой 150 мг – и навеска БВВ (гексогена или тротила) массой 100 мг, после чего производилось прессование, обеспечивавшее плотность азида свинца $3,6 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$, а БВВ – $1,42 \pm 0,3 \text{ г/см}^3$. В гильзу КД № 8 длиной 50 мм помещалась навеска БВВ (гексогена или тротила) массой 300 мг и запрессовывалась до $\rho = 1,52 \pm 0,3 \text{ г/см}^3$. В снаряженную гильзу производилась подсыпка БВВ (гексогена или тротила) – 100 мг; в гильзу с натягом запрессовывалась снаряженная чашечка; в дульце гильзы вводился электровоспламенитель и закреплялся в ней, как описано выше.

Таким образом, все изготовленные ЭД имели одинаковый по массе и типу БВВ основной заряд, но отличались элементом иницирования основного заряда (МЦО с фаской, МЦО без фаски, чашечка с азидом свинца), что позволило провести их сравнительные испытания.

Испытания ЭД-М-ПБ проводились по стандартной методике, основанной на пробитии взрывом ЭД свинцовой пластины толщиной 5 мм, которая предусмотрена ГОСТ [8] и подробно рассмотрена в [1]. Основным критерием эффективности действия ЭД в данном методе является диаметр пробития свинцовой пластины.

Результаты сравнительных испытаний ЭД представлены в табл. 1, где приводится среднее значение диаметра пробития пластины (максимальные отклонения от него составляли $\pm 0,2 \text{ мм}$).

Таблица 1

Результаты сравнительных испытаний ЭД

Параметр	Тип ЭД					Требования ГОСТ [8] к ЭД
	ЭД-М-ПБ с МЦО без фаски	ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску		Азидный ЭД		
Число испытаний	15	15	15	5	5	–
Основной заряд БВВ	Гексоген	Гексоген	Тротил	Гексоген	Тротил	1000
Диаметр пробития пластины, мм	13,2	14,2	10,1	12,4	8,3	≥7,2

Анализ данных табл. 1 показывает, что ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску или без фаски, по эффективности превосходит не только опытный азидо-тротилловый ЭД, но и применяемый азидо-гексогеновый ЭД. Это свидетельствует о том, что МЦО, снаряженная ТЭНом, дает более мощный инициирующий детонационный импульс основному заряду БВВ, чем азид свинца.

Полученный результат вполне объясним. В МЦО наблюдается переход горения ТЭНа в полноценную детонацию, т. к. происходит дробление части МЦО на мелкие фрагменты, что описано в [1]. При плотности ТЭНа $1,5 \text{ г/см}^3$ его $D = 7450 \text{ м/с}$, а давление детонации $P_n = 22 \text{ ГПа}$ [12, с. 765], т. е. основной заряд БВВ возбуждается ударной волной с этим давлением. Для азид свинца, имеющего $\rho = 3,6 \text{ г/см}^3$, $D = 5100 \text{ м/с}$, а давление детонации $P_n = 15,8 \text{ ГПа}$ [12, с. 765]. Таким образом, основной заряд БВВ в случае ЭД-М-ПБ инициируется в 1,5 раза большим детонационным импульсом.

Диаметр пробития пластины ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску, составил 14,2 мм, что превосходит диаметр пробития пластины ЭД-М-ПБ с МЦО без фаски (см. табл. 1). Большая эффективность действия ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску, обусловлена следующим. Основной заряд БВВ в ЭД-М-ПБ имеет диаметр, равный внутреннему диаметру гильзы КД № 8 – 6,4 мм, при этом площадь осевого сечения заряда равна $32,16 \text{ мм}^2$. Из МЦО без фаски выходит ударная волна по площади сечения осевого канала МЦО, которая при диаметре осевого канала 2,9 мм составляет $6,60 \text{ мм}^2$. В этом случае площадь инициирования почти в пять раз меньше площади осевого сечения основного заряда. Из МЦО с фаской выходит ударная волна по максимальной площади фаски, т. е. при диаметре 5,8 мм (см. рис. 2) площадь инициирования составляет $26,4 \text{ мм}^2$, что немногим меньше площади осевого сечения основного заряда.

В целом ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску, или с МЦО без фаски, как и азидный ЭД, превосходят требования ГОСТ [8], несмотря на то, что основной заряд БВВ в наших опытах был вдвое меньшим (отметим, что показатель ГОСТ [8] по пробитию свинцовой пластины рассчитан на возможность применения в ЭД значительно менее эффективного, чем азид свинца, ИВВ – гремучей ртути [15, с. 180]).

Обнаруженное повышение эффективности действия МЦО с фаской для инициирования основного заряда побудило нас исследовать возможность замены гексогена в основном заряде ЭД-М-ПБ более безопасными в обращении БВВ. Повышение безопасности гексогена достигается путем понижения его чувствительности ко всем видам воздействий, в том числе и к ударно-волновому. Общепринятый прием снижения чувствительности мощных БВВ [12, с. 12] заключается во введении в их состав флегматизаторов (инертных веществ: природных и синтетических восков, полимеров и др.) или менее чувствительных БВВ – тротила, динитронафталина и др. Это позволяет существенно снизить чувствительность при приемлемой потере мощности. Нами была изучена возможность применения в качестве основного заряда составов А-IX-1 (95 % гексогена, 5 % природного воска), гекфита (96 % гексогена, 2 % синтетического воска, 2 % графита), составов тротил – гексоген (ТГ) с содержанием тротила 50 % (ТГ-50) и 75 % (ТГ-75). Наряду с этим испытывались составы, содержащие: ТЭН – пентолит 25/75 (25 % ТЭН, 75 % ТНТ) и октоген – ОМА (октоген – 97,5 %; полимер – 1,2 %; синтетический воск – 0,8 %; графит – 0,5 %). Во всех экспериментах масса основного заряда БВВ в ЭД-М-ПБ составляла, как описано выше, 500 мг (+20 мг подсыпки для компенсации объема фаски).

Снаряжение ЭД и ЭД-М-ПБ проводилось аналогично описанному выше. Результаты экспериментов представлены в табл. 2. В таблице приводится среднее значение

диаметра пробития пластины (максимальные отклонения от него составляли $\pm 0,2$ мм). Для сравнения в таблице приведены результаты испытаний азидо-гексогенового ЭД и требования к ЭД по ГОСТ 9089-75 с основным зарядом БВВ массой 1000 мг.

Таблица 2

**Сравнительные испытания ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску,
с основным зарядом из различных БВВ**

Число опытов	БВВ в основном заряде	Диаметр пробития пластины, мм
15	Гексоген	14,2
10	А-IX-1	13,7
10	Гекфит	13,7
10	ТГ-50	13,7
10	ТГ-75	12,6
10	Пентолит 25/75	12,6
10	ОМА	14,2
5	Азидо-гексогеновый ЭД	12,5
По ГОСТ [8] для ЭД с ИВВ		$\geq 7,2$

Анализ данных табл. 2 показывает, что эффективность действия ЭД-М-ПБ, снаряженных составами пониженной чувствительности, несколько ниже (кроме состава ОМА на основе более мощного БВВ – октогена), чем при снаряжении чистым гексогеном, но в зависимости от состава БВВ либо превосходит, либо остается на уровне применяемого ныне азидо-гексогенового ЭД и значительно превосходит требования ГОСТ [8]. На наш взгляд, для повышения безопасности и снижения себестоимости ЭД-М-ПБ при массовом производстве заслуживает внимания состав ТГ-50. Представляется перспективным применение в нефтегазовой промышленности ЭД-М-ПБ, снаряженных гекфитом и ОМА, т. к. гекфит и ОМА уже используются при изготовлении термостойких кумулятивных перфораторов.

Эффективность действия ЭД-М-ПБ с МЦО с фаской была подтверждена натурными испытаниями, проведенными принятым методом по объему воронки выброса грунта [17, с. 474] на учебно-производственной базе «Роща» СамГТУ. Снаряжение ЭД-М-ПБ проводилось аналогично описанному выше со следующим отличием. В гильзу КД № 8 длиной 70 мм в два приема запрессовывались навески 500 и 400 мг ТГ-50, затем присыпалась навеска 120 мг ТГ-50, т. е. основной заряд в ЭД-М-ПБ, как предусмотрено ГОСТ [8], составлял 1 г БВВ – ТГ-50. Снаряженный ЭД-М-ПБ помещался в стандартный патрон [16] промышленного БВВ – аммонита 6ЖВ массой 200 г диаметром 32 мм, производилось заглубление патрона на 40 см в грунт, затем ЭД-М-ПБ подрывался. Было произведено 4 подрыва. Во всех опытах наблюдалась полная детонация патрона аммонита 6ЖВ с образованием воронки выброса глубиной 85 ± 5 см, диаметром 100 ± 5 см, объемом $\sim 0,21$ м³, что соответствует для суглинистых почв нормам расхода: 1 кг БВВ на 1 м³ грунта [17, с. 457].

Заключение

Показано, что по эффективности действия ЭД-М-ПБ превосходят промышленные азидо-гексогеновые ЭД. Применение МЦО с фаской в ЭД-М-ПБ позволит использовать в качестве основного заряда ЭД-М-ПБ более безопасные в обращении, чем чистый гексоген, составы на основе гексогена, ТЭНа и октогена: А-IX-1, гекфит, ТГ-50, ТГ-75, пентолит 25/75, ОМА. Для ЭД-М-ПБ, предназначенных для применения в нефтегазовой промышленности, представляет интерес использование составов гекфит и ОМА. Натурные испытания подрывом при помощи ЭД-М-ПБ патронов аммонита 6ЖВ в грунте подтвердили эффективность действия ЭД-М-ПБ с МЦО, имеющей фаску.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кожевников Е.А., Гидаспов А.А., Постнов С.И., Рекишинский В.А.* Разработка электродетонатора повышенной безопасности для взрывных работ в нефтегазовой промышленности. 1. Обоснование и экспериментальная проверка конструкции // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 2(34). – С. 190-196.
2. Патент RU 2413166 С1, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Капсюль-детонатор на основе бризантного взрывчатого вещества / *Постнов С.И., Рекишинский В.А., Гидаспов А.А., Кожевников Е.А., Трохин О.В.*; опубл. 27.02.2011. Бюл. № 6.
3. *Kozhevnikov E.A., Gidaspov A.A., Postnov S.I., Rekshinskiy V.A.* The design of high-safety electric blasting cap. In proc. Proceedings of the 15th Seminar “New Trends in Research of Energetic Materials” Pardubice, Czech Republic, April 18-20, 2012, p. 767-772.
4. *Кожевников Е.А., Постнов С.И., Гидаспов А.А., Рекишинский В.А.* Капсюли-детонаторы повышенной безопасности / Наука. Промышленность. Оборона: Труды X Всероссийской научно-технической конференции (Новосибирск, 22-24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: НГТУ, 2009. – С. 166-167.
5. *Кожевников Е.А., Постнов С.И., Гидаспов А.А., Рекишинский В.А., Бурмистров О.В., Юртаев Е.В.* Расчет внутреннего диаметра промежуточной оболочки капсюля-детонатора повышенной безопасности / Наука. Промышленность. Оборона. Труды XI Всероссийской научно-технической конференции (Новосибирск, 21-23 апреля 2010 г.). – Новосибирск: НГТУ, 2010. – С. 276-278.
6. *Кожевников Е.А., Постнов С.И., Гидаспов А.А., Рекишинский В.А., Юртаев Е.В.* Исследование надежности действия капсюля-детонатора повышенной безопасности / Наука. Промышленность. Оборона. Труды XII Всероссийской научно-технической конференции (Новосибирск, 20-22 апреля 2011 г.). – Новосибирск: НГТУ, 2011. – С. 280-283.
7. *Щукин Ю.Г., Лютиков Г.Г., Поздняков З.Г.* Средства инициирования промышленных взрывчатых веществ: Учеб. для техникумов. – М.: Недра, 1996. – 155 с.
8. ГОСТ 9089-75. Электродетонаторы мгновенного действия. Технические требования. Технические условия. – Введ. 1978–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 40 с.
9. ГОСТ 6254-85. Капсюли-детонаторы для взрывных работ. Технические условия. – Введ. 1985–11–29. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 11 с.
10. *Шидловский А.А.* Основы пиротехники. – М.: Машиностроение, 1973. – 321 с.
11. *Пепекин В.И., Махов М.Н., Лебедев Ю.А.* Теплоты взрывчатого разложения индивидуальных ВВ // Доклады АН СССР. – 1977. – Т. 232. – № 4. – С. 852-855
12. Физика взрыва / Под ред. *Л.П. Орленко*. – Изд. 3-е, перераб. – В 2 т. Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
13. *Беляев А.Ф., Боболев В.К., Коротков А.Т., Сулимов А.А., Чуйко С.В.* Переход горения конденсированных систем во взрыв. – М.: Наука, 1973. – 292 с.
14. *Аванесов Д.С.* Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ: Учеб. пособие. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1959. – 167 с.
15. *Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Чельшев В.П., Шехтер Б.И.* Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
16. ГОСТ 21984-76. Аммонит № 6 ЖВ и аммонал водоустойчивые. Технические условия. – Введ. 1976-06-29. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.
17. *Андреев К.К., Беляев А.Ф.* Теория взрывчатых веществ. – М.: Оборонгиз, 1960. – 596 с.

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2013 г.

THE DESIGN OF HIGH-SAFETY INSTANT-ACTION ELECTRIC BLASTING CAP FOR THE SHOTFIRING IN PETROLEUM INDUSTRY. THE IMPROVEMENT OF EFFICIENCY AND SAFETY OF THE CONSTRUCTION

S.I. Postnov, E.A. Kozhevnikov, A.A. Gidaspov, V.A. Rekshinskiy

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

For the high-safety instant action electric blasting cap (BC-I-HS) with no primary explosives in construction the application of the inner cant in the axis channel of the metal cylindrical confinement (MCC) was offered. It was experimentally proved that the application of the MCC with the cant can improve the efficiency of the BC-I-HS. This improvement makes it possible to use more nonhazardous high explosives than the RDX as the main charge of the BC-I-HS.

Keywords: non-primary explosive blasting cap, confinement, secondary explosives, metal cylindrical confinement, RDX, TNT, PETN, HMX, lead azide, retarded high explosives.

Stanislav I. Postnov (Ph. D. (Techn.)), Associate Professor.

Evgeniy A. Kozhevnikov, Assistant.

Alexander A. Gidaspov (Dr. Sci. (Chem.)), Professor.

Vladimir A. Rekshinskiy (Ph. D. (Chem.)), Associate Professor.