УДК 662.435

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРА МГНОВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. I. ОБОСНОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА КОНСТРУКЦИИ

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

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

Предложена конструкция электродетонатора мгновенного действия повышенной безопасности, не содержащего инициирующих взрывчатых веществ, действие которого основано на режиме перехода горения бризантного взрывчатого вещества, помещенного в оболочку, в детонацию. Экспериментально проверена работоспособность конструкции.

***Ключевые слова**: электродетонатор без инициирующих взрывчатых веществ, оболочка, бризантные взрывчатые вещества, переход горения бризантных взрывчатых веществ в детонацию, конструкция.*

Введение. Электродетонаторы (ЭД) мгновенного действия (ЭД-М) широко используются для проведения взрывных работ в народно-хозяйственных целях. В частности, ЭД-М применяются для приведения в действие кумулятивных перфораторов для перфорации обсадных колонн при добыче нефти и природного газа [1, 2], для ведения сейсмической разведки [1, 2], для приведения в действие разного рода торпед в скважинах [3, 4], а также для подрыва кумулятивных труборезов, используемых для резки трубопроводов при их ремонте [3, 5]. Традиционно с момента изобретения А. Нобелем (1863 г.) капсюля-детонатора (КД) КД и ЭД для промышленного и военного применения снаряжаются инициирующими взрывчатыми веществами (ИВВ), в настоящее время преимущественно азидом свинца. Например, в России ЭД-М для промышленного применения выпускаются по ГОСТ 9089-75 [6, 7] (рис. 1).

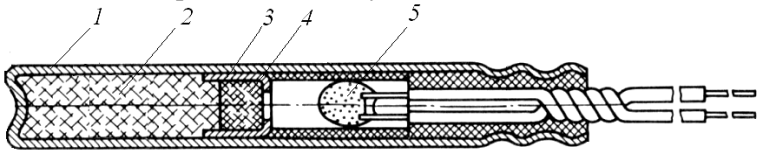

Рис. 1. Промышленный ЭД-М по ГОСТ 9089-75:
1 – гильза; 2 – основной заряд БВВ; 3 – чашечка; 4 – заряд ИВВ;
5 – электровоспламенитель (ЭВ)

Евгений Александрович Кожевников, инженер каф. химии и технологии органических соединений азота.

Александр Александрович Гидаспов (д.х.н., проф.), зав. кафедрой химии и технологии органических соединений азота.

Станислав Иванович Постнов (к.т.н.), старший научный сотрудник каф. химии и технологии органических соединений азота.

Владимир Андреевич Рекшинский (к.т.н.), доцент каф. химии и технологии органических соединений азота.

Недостатком ЭД-М с ИВВ является высокая опасность в обращении при производстве, хранении, транспортировке и применении из-за использования в конструкции ИВВ. Поэтому снижение опасности ЭД-М является актуальной задачей.

Информационно-технический обзор. Работы по созданию конструкции ЭД-М без ИВВ ведутся в России и за рубежом с начала 80-х гг. XX в. в следующих направлениях: создание ЭД-М на принципе удара по БВВ [8-10], инициирование БВВ в КД высоковольтным разрядом [7], инициирование БВВ в КД путем закачивания и последующего подрыва в КД взрывчатой газовой смеси [11-14], инициирование БВВ в КД лучом лазера [15, 16], создание ЭД-М на принципе пьезоэлектрического воздействия на БВВ [17], создание ЭД-М на принципе перехода горения БВВ в детонацию [18-24].

В ЭД-М повышенной безопасности (ЭД-М-ПБ), действие которых основано на принципе перехода горения БВВ в детонацию (ПГД), заряд БВВ делится на инициирующую и основную части (2 на рис. 1). Инициирующая часть заряда БВВ помещается в металлические цилиндрические оболочки (МЦО), имеющие внутренние каналы различной конфигурации, для обеспечения ускоренного ПГД в БВВ. С технологической точки зрения наиболее предпочтительной является МЦО с осевым цилиндрическим каналом, которая помещается в стандартную гильзу КД №8 (внешний диаметр – 7,2 мм, внутренний диаметр – 6,4 мм, длина от 50 до 70 мм). Настоящее сообщение посвящено разработке конструкции ЭД-М-ПБ на основе ПГД в МЦО с осевым цилиндрическим каналом (далее в тексте – МЦО).

Обоснование и экспериментальная проверка конструкции. Задача разработки ЭД-М-ПБ с МЦО, помещаемой в стандартную гильзу КД № 8, не так проста, как кажется на первый взгляд. Если начать исследование без какого-либо обоснования, то потребовались бы сотни или даже тысячи экспериментов по определению необходимых параметров. Для МЦО это внутренний диаметр, длина и материал МЦО. Для снаряжения МЦО это тип и плотность БВВ, тип и навеска зажигательного состава. При этом нельзя было гарантировать положительный результат таких исследований.

Свои исследования мы начали с обоснования возможности создания ЭД-М-ПБ с МЦО. Обоснование проводилось на основе анализа фундаментальных работ по изучению ПГД в БВВ, которые обобщены в монографии [25]. В них, в частности, описывается ПГД в БВВ, помещенном в МЦО. Обоснование сводилось к поиску ответа на вопрос: возможно ли размещение МЦО, в которой осуществляется полноценный ПГД, в габаритах гильзы ЭД № 8?

Процесс ПГД в БВВ является многостадийным [25, 26]. Он включает в себя преддетонационные участки (I-VI) – процессы зажигания (I), послойного горения (II), конвективного горения (III), низкоскоростные режимы, которые распространяются со скоростью $V_{НСР}$ меньшей, чем скорость звука в БВВ ($V_{ЗВ}$) (IV), низкоскоростную детонацию ($D_{НСД}>V_{ЗВ}$) (V), формирование детонационной волны с давлением $P_{КР}$ во фронте ($P_{КР}$ – критическое давление инициирования детонации ВВ) (VI) и детонационные участки (VII-VIII) – развитие детонации до стационарной скорости (VII) и собственно детонацию со стационарной скоростью (VIII). В [25, 27] показано, что из всех штатных БВВ наименьший преддетонационный участок (процессы I-VI) имеет тетранитрат пентаэритрита (ТЭН). В [25, 28] показано, что для ПГД в БВВ, помещенном в МЦО, должны выполняться два условия. Первое – прочность МЦО. МЦО не должна разрушаться до давления $P_{КР}$ (т. е. процессы I-VI не должны разрушать оболочку, но она может разрушаться в результате действия продуктов детона-

ционных процессов VII-VIII). Второе условие – длина оболочки должна быть больше суммы длин преддетонационного участка (I-VI) и участка развития детонации до стационарной скорости (VII) для того, чтобы в МЦО успел развиться режим детонации с постоянной скоростью (VIII).

Известно [29, 30], что прочность МЦО зависит от двух основных факторов. Первый фактор – материал оболочки, который определяется значениями предела текучести (σ_S), предела кратковременной прочности (σ_B) и динамического предела кратковременной прочности оболочки ($\sigma_{ДВ}$). Второй фактор – соотношение α_0=D/d, где D – внешний диаметр оболочки, а d – диаметр осевого канала, т. е. α_0 опосредованно учитывает толщину стенки оболочки.

В [25] детально изучен процесс ПГД ТЭНа плотностью 1,45 г/см^3 в оболочках из Ст45 (σ_S=245 Мпа, σ_B=470 МПа), внутренним диаметром d_1=5 мм и изменяющимся наружным диаметром D_1 (α_0 от 1,2 до 7,8). Показано, что при $\alpha_0 \geq 2{,}2$ (наружный диаметр $D_1 \geq 11$ мм) происходит надежный ПГД ТЭНа на участке длиной l=15 мм с последующей детонацией. Т. е. начиная с соотношения α_0=2,2 прочности оболочки достаточно для прохождения в ней режима ПГД ТЭНа.

Нами выдвинуто предположение о том, что если прочность оболочки с D_1=11 мм и d_1=5 мм (α_0=2,2) достаточна для обеспечения ПГД в ТЭНе при длине МЦО $l \geq 15$ мм, то оболочка из Ст45 с меньшими диаметрами (D_2 и d_2), но с тем же их соотношением α_0 будет обладать достаточной прочностью для обеспечения надежного ПГД в ТЭНе. Для МЦО с α_0=2,2, помещаемой в гильзу КД № 8, внешний диаметр оболочки (D_2) равен внутреннему диаметру гильзы ($D_г$) (D_2=$D_г$=6,4 мм). Это позволило путем расчета получить диаметр d_2. Искомый d_2=D_2/α_0=6,4/2,2=2,9 мм. Это значение в технологическом плане является приемлемым для снаряжения МЦО ТЭНом путем одностороннего прессования. Таким образом, на основании фундаментальных работ появилась определенность с БВВ – ТЭН, его плотностью – ρ=1,45-1,5 г/см^3, с МЦО – материал сталь Ст45, внутренний диаметр d_2=2,9 мм при внешнем диаметре D_2=6,4 мм.

Длина участка l=15 мм, приведенная в работе [25], в условиях ЭД-М-ПБ могла быть и больше, и меньше этого значения, т. к. условия зажигания ТЭНа в МЦО в ЭД-М-ПБ от ЭВ отличаются от условий зажигания ТЭНа в работе [25]. Можно определить максимально допустимую длину МЦО, которая могла бы разместиться в гильзе КД № 8. Стандартная гильза КД № 8 имеет длину до 70 мм [7]. Часть этой гильзы (примерно 20 мм) будет заполнена основным зарядом из гексогена (m=1 г при плотности ρ=1,55 г/см^3) [7]. Часть гильзы (примерно 25 мм) займет электровоспламенитель (ЭВ). Исходя из этого длина МЦО для гильзы длиной 70 мм не должна превышать l_{max}=25 мм. Таким образом, появилась отправная точка для постановки экспериментов по определению длины МЦО и проверке работоспособности конструкции ЭД-М-ПБ.

Изготовление ЭД-М-ПБ проводилось следующим образом. МЦО из стали Ст45 с внешним диаметром D=6,4 мм и внутренним диаметром d=*2,9* мм соответствующей длины (табл. 1) снаряжалась путем запрессовки навески 30-50 мг воспламенительного состава, содержащего титан (40-60 %) и свинцовый сурик (40-60 %) [31]. На воспламенительный состав запрессовывалось порционно от 3 до 5 навесок ТЭНа по 50 мг до ρ=1,45-1,5 г/см^3. Число навесок зависело от длины МЦО (табл. 1). В стандартную гильзу КД № 8 запрессовывался основной заряд – 0,5 г гексогена (RDX) с плотностью 1,5-1,55 г/см^3. Длина гильзы подбиралась в зависимости от длины МЦО таким образом, чтобы расстояние от капельки ЭВ до торца МЦО было в пределах 3-4 мм. В гильзу, снаряженную RDX, с натягом запрессовывалась снаряженная

МЦО. В дульце гильзы вводился ЭВ и закреплялся там путем обжима на стандартном для этих целей устройстве. Конструкция ЭД-М-ПБ приведена на рис. 2.

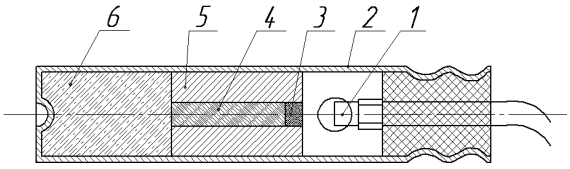

Рис. 2. Конструкция ЭД-М-ПБ:
1 – ЭВ; 2 – гильза; 3 – воспламенительный состав;
4 – инициирующий заряд ТЭНа; 5 – МЦО; 6 – основной заряд RDX

Испытания ЭД-М-ПБ проводились по стандартной методике [32, 33], основанной на пробитии отверстия в свинцовой пластине толщиной 5±0,1 мм при взрыве ЭД, установленного до взрыва на этой пластине. Схема испытаний ЭД-М-ПБ приведена на рис. 3.

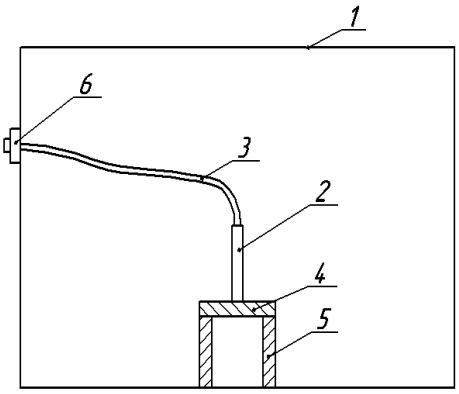

Рис. 3. Схема установки для испытания ЭД-М-ПБ:
1 – подрывная кабина; 2 – ЭД-М-ПБ;
3 – электропровода; 4 – свинцовая пластина; 5 – отрезок трубы;
6 – устройство для подачи электрического импульса на ЭВ

По ГОСТ 9089-75 промышленные ЭД-М, снаряженные ИВВ, должны обеспечивать в условиях испытаний пробитие пластины с $d_{ОТВ} \geq 7{,}2$ мм.

Внешний вид свинцовой пластины до подрыва и после подрыва при положительном результате испытаний представлен на рис. 4, *а* и 4, *б* соответственно.

а *б*

Рис. 4. Внешний вид свинцовой пластины:
а – до испытаний; *б* – при положительном результате испытаний ($d_{отв}$= 11±0,3 мм)

Результаты испытаний ЭД-М-ПБ с МЦО различной длины и комментарии к ним приведены в таблице и на рис. 5.

Экспериментальные данные испытания ЭД-М-ПБ с МЦО различной длины

Длина оболочки $l_{МЦО}$, мм	Число опытов	Состояние пластины после опыта (состояние основного заряда RDX)	Комментарий к происходящим в МЦО процессам
12	3	**Пробития нет** (RDX остался в гильзе)	Длина МЦО недостаточна для возникновения ударно-волновых процессов в ТЭНе, т. к. нет деформации МЦО (рис. 5, *а*)
13	3		
14	3		
15	3	**Пробития нет** (RDX разбросан по бронекабине)	Длина МЦО недостаточна для развития детонационных процессов в ТЭНе, т. к. есть раздутие МЦО, но нет дробления МЦО (рис. 5, *б*)
16	3		
17	10	**Пробитие есть** (RDX сдетонировал не полностью), $d_{ОТВ}$=(7-8)±0,3 мм	Длина МЦО недостаточна для развития детонации в ТЭНе до постоянной скорости, т. к. МЦО дробится на крупные куски (рис. 5, *в*)
18	10		
19	10	**Пробитие есть** (RDX сдетонировал полностью), $d_{ОТВ}$=(10-11)±0,3 мм	Длина МЦО достаточна для развития преддетонационных процессов в ТЭНе и для развития детонации в ТЭНе, т. к. МЦО дробится на мелкие куски (рис. 5, *г*)
20	10		
21	10		
22	10		

а *б* *в* *г*

Рис. 5. Внешний вид МЦО разной длины после подрыва ЭД-М-ПБ

Анализ данных, представленных в таблице и на рис. 5, показывает, что в МЦО, снаряженной ТЭНом и имеющей длину от 19 до 22 мм, происходит полноценный ПГД в ТЭНе и полноценная детонация основного заряда RDX. Это обеспечивает (с длины $l_{МЦО}$≥20 мм) пробитие свинцовой пластины с диаметром отверстия $d_{ОТВ}$=11±0,3 мм, что соответствует требованиям ГОСТ 9089-75.

Характер разрушения оболочки соответствует результатам вышеотмеченных фундаментальных работ. Оболочка после испытания состоит из двух частей: целая часть оболочки, в которой прошли процессы I-VI, и раздробленная часть, в которой прошли детонационные процессы VII-VIII.

Дополнительно надежность детонации ТЭНа в МЦО, имеющей $l_{МЦО}$=20 мм, проверялась следующими экспериментами. При замене основного заряда RDX в ЭД-М-ПБ инертным веществом – хлористым натрием – наблюдалось разрушение МЦО на мелкие фрагменты, как показано на рис. 5, *г*. Следовательно, МЦО разрушается при детонации ТЭНа в ней, а не от RDX в основном заряде.

Длина МЦО $l_{МЦО}$=20-22 мм, при которой происходит полноценный ПГД, не превосходит отмеченную выше максимально допустимую длину l_{max}=25 мм для размещения МЦО в стандартной гильзе КД № 8. Поэтому вполне реальным является выпуск ЭД-М-ПБ в рамках действующих производств электродетонаторов мгновенного действия, т. к. снаряжение МЦО и изготовление ЭД-М-ПБ не требует внесения значительных изменений в действующее производство.

Заключение. Показана возможность создания в габаритах гильзы КД № 8 электродетонатора повышенной безопасности без инициирующих взрывчатых веществ. Инициирующие взрывчатые вещества заменены на значительно более безопасное бризантное взрывчатое вещество, помещенное в металлическую цилиндрическую оболочку с осевым каналом. Принцип действия электродетонатора повышенной безопасности основан на переходе горения в детонацию бризантного взрывчатого вещества, помещенного в оболочку. Конструкция электродетонатора защищена патентом РФ [34].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горная энциклопедия: В 5 т. / Гл. ред. *Е.А. Козловский.* – М.: Сов. энцикл., 1984-1991. Т. 4: Ортин – Социосфера. – 1989. – 623 с.: ил., цв. ил. – Б.ц.
2. *Щукин А.А.* Взрывные работы в сейсморазведке и глубоких скважинах: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1992.
3. Горная энциклопедия: В 5 т. / Гл. ред. *Е.А. Козловский.* – М.: Сов. энцикл., 1984-1991. Т. 5: СССР – Яшма. – 1991. – 451 с.: ил. – Б.ц. – ISBN 5-85270-000-6: Б.ц.
4. *Щукин А.А.*, *Шмурыгин В.А.* Взрывные и другие работы в скважинах: Учеб. пособие / Под ред. В.Г. Лукьянова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006.
5. *Лукьянов В.Г.*, *Шмурыгин В.А.*, *Зленко В.С.* Применение энергии взрыва при строительстве и эксплуатации магистральных нефтепроводов // ТЭК и ресурсы Кузбасса. – 2007. – № 3. – С. 34-37.
6. ГОСТ 9089-75. Электродетонаторы мгновенного действия. Технические требования. Введ. 1978–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 40 с.
7. *Щукин Ю.Г., Лютиков Г.Г., Поздняков З.Г.* Средства инициирования промышленных взрывчатых веществ. – М.: Недра, 1996. – 155 с.
8. Патент US 3978791 A1, США, МПК F42B3/12, F42C19/12. Secondary explosive detonator device / *Lemley V.F., Seay G.E., Ritter P.B.*; опубл. 07.09.1976.
9. Патент US 4144814 A1, США, МПК F42B3/12, F42C19/12. Delay detonator device / *Day E.A., Seay G.E., Ritter P.B.*; опубл. 20.03.1979.
10. Патент US 4727808 A1, США, МПК F42B3/10. Non-primary explosive detonator / Wang Quicheng, Li Xianquan, Hu Guowen, Xiquin Zhang, Xu Tianrui; опубл. 01.03.1988.
11. Патент FR 2255571, Франция, МПК F42B3/10, F42D1/04. Détonateur excitable par l'énergie calorifique d'une détonation, système et procédé de detonation / *Hurley E.K.*; опубл. 13.12.74.
12. Патент SU 852173, СССР, МПК F42B3/18. Детонирующее устройство / *Зебрии Д.Т.*; опубл. 30.07.81.
13. Патент US 3885499 A1, США, МПК F42D1/04, F42B3/10. Thermal detonation energy-initiatable blasting caps, and detonation system and method / *Hurley E.K.*; опубл. 27.05.75.
14. Патент US 3939772 A1, США, МПК F42B3/10. Blasting caps initiatable by thermal detonation energy of an explosive gas mixture, and blasting system/ Zebree D.T.; опубл. 24.02.76.
15. Патент EP 0289184, Европа, МПК F42B3/10. Laser beam-detonable blasting cap / *Tasaki Y., Kurokawa K., Hattori K.*; опубл. 02.11.88.
16. Патент US 4898095 A1, США, МПК F42B3/10. Laser beam-detonatable blasting cap / *Tasaki Y., Kurokawa K., Hattori K., Takano M., Miyajima T., Sato T., Ogasawara K.*; опубл. 06.02.90.
17. Патент RU2315259, Российская Федерация, МПК F42B3/12, F42C19/12. Низковольтный электродетонатор на основе бризантного взрывчатого вещества / *Вахидов Р.М., Кузнецов Е.П., Куражов А.С., Исхаков Т.Н., Базотов В.Я., Анисимов А.Н., Назмиев Р.И., Хамидуллин Д.И.*; опубл. 20.11.2008.
18. Патент RU 2122704, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Детонирующее устройство без первичного взрывчатого вещества / *Жигарев В.Г., Сагидуллин Г.Г., Дмитриев Я.Г., Каменев А.А., Быкодоров А.Г., Окишев О.И., Бивнев Н.М., Трутнев Н.С., Бредихин Н.Н., Крюков А.А., Работинский Н.И., Печенев Ю.Г., Фурне В.В., Кученко Г.П.*; опубл. 27.11.98.
19. Патент RU 2120101, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Детонирующее устройство на основе бризантного взрывчатого вещества / *Лобанов В.Н., Прокопьев С.Н., Рудько М.Л.*; опубл. 10.10.98.
20. Патент US 3212439 A1, США, МПК F42B3/10. Blasting caps containing only secondary explosive / *Reyne M.*; опубл. 19.10.65.
21. Патент RU 2161769 C2, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Капсюль-детонатор на основе бризантного взрывчатого вещества / *Ведерников Ю.Н., Шумский А.И., Лютиков Г.Г., Попов В.К., Агеев М.В., Клейнер М.С., Поздняков С.А., Неклюдов А.Г.*; опубл. 10.01.01.

22. Патент RU 2113685 C1, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Детонатор / *Дубровский К.А., Волынкина Т.В., Рыбцов В.В., Демидов В.А., Веденеев М.Ф.*; опубл. 20.06.98.
23. Патент RU 2070708 C1, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Капсюль-детонатор / *Соловьев В.О.*; опубл. 20.12.96.
24. Патент RU 2113684 C1, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Средство инициирования / *Дубровский К.А., Волынкина Т.В., Рыбцов В.В., Веденеев М.Ф., Демидов В.А.*; опубл. 20.06.98.
25. *Беляев А.Ф., Боболев В.К., Коротков А.И., Сулимов А.А., Чуйко С.В.* Переход горения конденсированных систем во взрыв. – М.: Наука, 1973. – 292 с.
26. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, перераб. – В 2 т. Т. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.
27. *Афонина Л.В., Бабайцев И.В., Кондриков Б.Н.* Исследование склонности к переходу горения БВВ в детонацию // Взрывное дело. – № 68/25. – М.: Недра, 1978. – С.149-158.
28. *Афанасенков А.Н., Богомолов В.М., Воскобойников И.М.* Критические давления инициирования взрывчатых веществ // Взрывное дело. – № 68/25. – М.: Недра, 1978. – С. 68-92.
29. *Беляев Н.М.* Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 635 с.
30. *Циклис Д.С.* Техника физико-химических исследований при высоких давлениях. – М.: Госхимиздат, 1958. – С. 38-48.
31. *Шидловский А.А.* Основы пиротехники. – М.: Машиностроение, 1973. – 321 с.
32. *Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Челышев В.П., Шехтер Б.И.* Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
33. *Аванесов Д.С.* Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ: Учеб. пособие. – М.: Гос. изд-во оборонной пром-ти, 1959. – 167 с.
34. Патент RU 2413166 C1, Российская Федерация, МПК F42B3/10. Капсюль-детонатор на основе бризантного взрывчатого вещества / Постнов С.И., Рекшинский В.А., Гидаспов А.А., Кожевников Е.А., Трохин О.В.; опубл. 27.02.2011. Бюл. № 6.

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2012 г.

THE DESIGN OF HIGH-SAFETY INSTANT-ACTION ELECTRIC BLASTING CAP FOR THE SHOTFIRING IN PETROLEUM INDUSTRY. 1. THE SUBSTANTIATION AND EXPERIMENTAL CHECK OF THE DESIGN

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

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

The design of high-safety instant-action electric blasting cap is offered. The blasting cap does not contain any primary explosives. The blasting cap's principle of operation is based on the deflagration-to- detonation transaction of the secondary explosive which is placed into the confinement. The operability of the offered design is experimentally checked.

***Keywords**: non-primary explosive blasting cap, confinement, secondary explosives, deflagration-to detonation transaction, design.*

Evgeniy A. Kozhevnikov, Engineer
Alexander A. Gidaspov (Dr. Sci. (Chem.)), Professor
Stanislav I. Postnov (Ph. D. (Techn.)), Associate Professor
Vladimir A. Rekshinskiy (Ph. D. (Chem.)), Associate Professor