

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРФОРАЦИИ НЕФТЕ- И ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН<sup>1</sup>**

***В.В. Калашиников, Д.А. Деморецкий, О.В. Трохин, Р.Р. Сулейманов,  
П.В. Рогожин***

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

*Приведены результаты исследований, которые направлены на создание взрывных устройств для перфорации скважин, обладающих повышенной пробивной способностью, имеющих форму кумулятивной облицовки, отличную от классической осесимметричной. Предложены конструкции кумулятивных зарядов, обеспечивающие создание перфорационных каналов с увеличенными значениями площади входного отверстия и объема. Показана повышенная эффективность действия конусно-линейных и удлиненных кумулятивных зарядов, а также зарядов с комбинированными и многослойными кумулятивными облицовками.*

**Ключевые слова:** *кумулятивный заряд, детонация, кумулятивная облицовка, кумулятивная струя, перфорационный канал, скважина.*

**Введение.** Потенциал нефтедобывающих скважин зависит от множества факторов, однако, в конечном счете, судьба скважин определяется оптимальным заканчиванием, которое начинается с прострелочно-взрывных работ. Эта операция во многом определяет продуктивность скважин, продолжительность работы и нефтеотдачу залежи [1]. Назначением прострелочно-взрывных работ является создание путей сообщения ствола скважины с пластом путем образования сетки перфорационных отверстий (каналов) в обсадных трубах, затрубных цементных кольцах и породе пласта, через которые нефть или газ поступают из пласта в скважину. Показатели геометрии создаваемых перфорационных каналов, в первую очередь, характеризуют площадь фильтрации, через которую флюид истекает из пористой среды в перфорационный канал через околоканальную зону и далее в скважину. Эти динамические процессы в значительной степени влияют на характеристику работы скважины. В связи с этим задача повышения пробивной способности кумулятивных зарядов (КЗ), формирующих при взрыве перфорационные каналы оптимальной формы и размеров, является актуальной.

**Способы повышения эффективности действия кумулятивных зарядов.** При завершении скважин с интенсификацией нефтепритока, а также в неукрепленных коллекторах с пескопроявлением первостепенное значение имеет не глубина перфо-

---

<sup>1</sup> Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

*Владимир Васильевич Калашиников (академик РАН, д.т.н., проф.), зав. кафедрой, каф. технологии твердых химических веществ.*

*Дмитрий Анатольевич Деморецкий (д.т.н.), профессор, каф. технологии твердых химических веществ.*

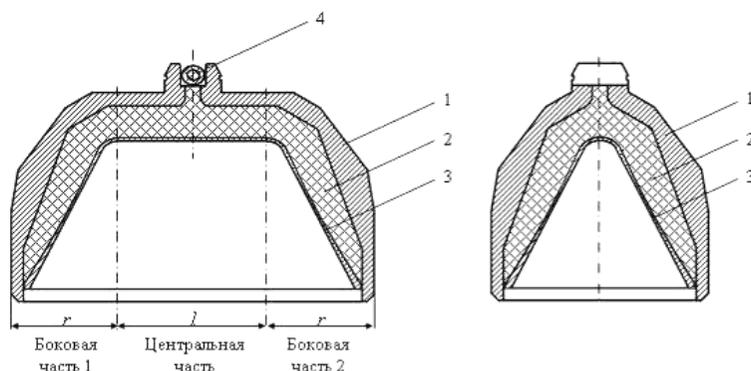
*Олег Вадимович Трохин (к.т.н.), зав. базовой кафедрой технологии твердых химических веществ при ФКП «ЧМЗ».*

*Равиль Ришадович Сулейманов, аспирант.*

*Павел Викторович Рогожин, аспирант.*

рационного канала, а величина его диаметра [2]. Для ведения прострелочно-взрывных работ в случаях, когда необходима повышенная площадь входных отверстий, а также объем перфорационных каналов, предлагается использование взрывных устройств, при детонации которых из кумулятивной облицовки формируется несколько кумулятивных потоков (струй), участвующих в совместном пробитии преграды.

Так, при детонации зарядов, имеющих центральную удлиненную и две боковых полуконических кумулятивных части (рис. 1) (конусно-линейных кумулятивных зарядов – КЛКЗ), из одной облицовки формируется три кумулятивных потока – кумулятивный «нож» (из центральной части) и две кумулятивные струи (из боковых частей). При этом движение кумулятивных струй направлено в область внедрения кумулятивного «ножа» в преграду (рис. 2).

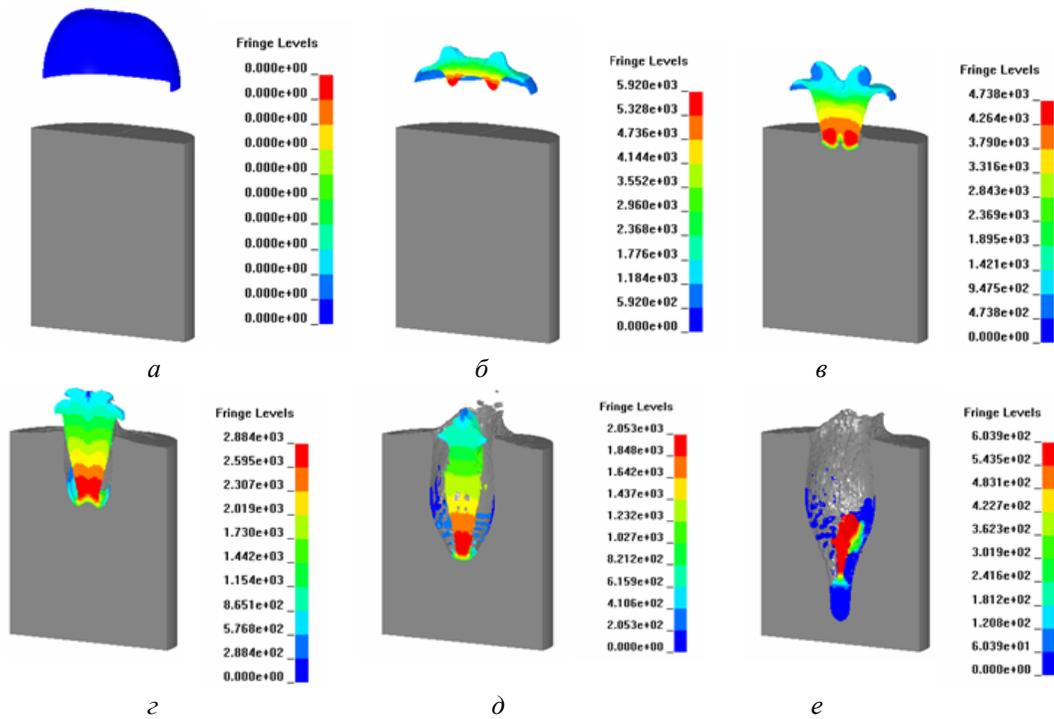


Р и с. 1. Конусно-линейный кумулятивный заряд: 1 – корпус, 2 – ВВ, 3 – кумулятивная облицовка, 4 – детонирующий шнур

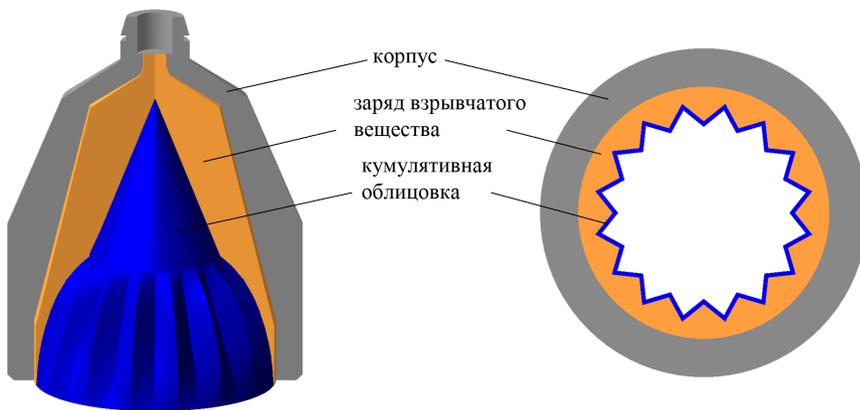
Дополнительное действие кумулятивных струй обеспечивает увеличение глубины пробития по сравнению с удлиненными кумулятивными зарядами (УКЗ). Изменение длины центральной части КЗ позволяет регулировать форму перфорационного отверстия и глубину формируемого канала. Так, с ее увеличением происходит увеличение площади образующегося перфорационного отверстия, при этом глубина канала уменьшается. При уменьшении длины центральной части показатели, характеризующие эффективность действия заряда, стремятся к показателям осесимметричного КЗ.

Такая конструкция заряда позволяет значительно увеличить площадь входных отверстий перфорационных каналов по сравнению с зарядами типа *Big Hole* [1]. Экспериментально установлено, что использование конусно-линейных КЗ, имеющих длину центральной части 30 мм и радиус конической части 20 мм, обеспечивает увеличение площади входных отверстий в 2,6...2,7 раза и объема канала в 2,5...2,8 раза по сравнению с применением штатного заряда типа ЗПК 89-*DN* [3].

Для взрывного формирования перфорационных каналов с повышенной площадью поверхности предложена конструкция заряда со сложнопрофильной кумулятивной облицовкой (рис. 3). Кумулятивная облицовка КЗ состоит из конической и сферической или эллиптической кумулятивных частей, сопряженных между собой, причем коническая кумулятивная часть является вершиной кумулятивной облицовки, а сферическая или эллиптическая кумулятивная часть имеет продольные кумулятивные канавки.



Р и с. 2. Формирование кумулятивных струй и пробитие преграды при детонации КЛКЗ в моменты времени: *а* – 0 мкс; *б* – 10 мкс; *в* – 15 мкс; *г* – 25 мкс; *д* – 45 мкс; *е* – 100 мкс

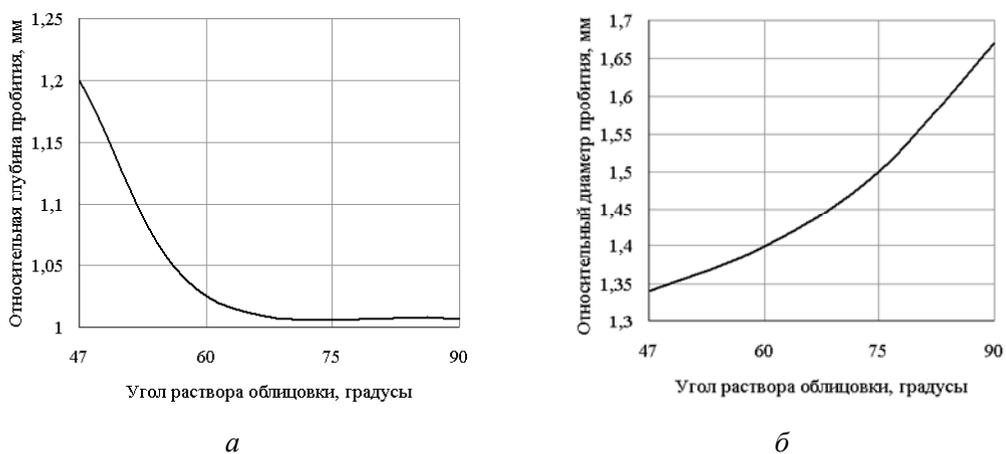


Р и с. 3. Схема комбинированного кумулятивного заряда

Работу такого заряда условно можно разделить на две стадии. На первой стадии из верхней части облицовки (конической кумулятивной части) формируется высокоскоростная кумулятивная струя, которая, внедряясь в преграду, образует канал. При этом обеспечивается повышенная глубина пробития по сравнению с использованием зарядов со сферической или эллиптической КО такого же диаметра. На второй стадии работы заряда из сферической (эллиптической) кумулятивной части облицовки формируется компактное быстролетающее тело, которое при взаимодействии с преградой увеличивает диаметр канала, пробитого высокоскоростной кумулятивной

струей, до значений, получаемых при применении зарядов со сферической или эллиптической кумулятивной облицовкой. Наличие продольных кумулятивных выемок в сферической (эллипсной) части облицовки позволяет сформировать дополнительные кумулятивные потоки (кумулятивные «ножи»), которые двигаются по направлению к преграде и совершают работу по увеличению площади входного отверстия и объема перфорационного канала [4].

Исследования показали, что на параметры пробития преград данными зарядами оказывают существенное влияние такие факторы, как угол раствора КО и количество продольных кумулятивных выемок в эллипсной части облицовки. В качестве примера на рис. 4 приведены некоторые результаты расчетов в виде графических зависимостей глубины и диаметра пробития от угла раствора конической части КО. На данных графиках значения глубины и диаметра пробития преграды представлены в относительных единицах, где за единицу приняты значения глубины и диаметра пробития штатным зарядом ЗПК-89-DN (типа *Big Hole*) преграды из стали Ст.3. Как видно из рис. 4, применение зарядов предложенной конструкции позволяет увеличить диаметр пробития в 1,34...1,67 раза по сравнению с использованием зарядов штатной конструкции. При этом площадь входного отверстия формируемого канала увеличивается в 1,7...2,8 раза.



Р и с. 4. Влияние угла раствора конической части сложнопрофильной КО на относительную глубину (а) и относительный диаметр (б) пробития

В настоящее время одним из альтернативных вариантов кумулятивной перфорации является механическая щелевая перфорация. Данная технология обладает целым рядом преимуществ, но и не лишена недостатков, среди которых – более низкая производительность работ. Для выполнения щелевой перфорации предлагается использование удлиненных кумулятивных зарядов, которые нашли достаточно широкое применение как в гражданских отраслях промышленности, так и в изделиях военного назначения для разделения и демонтажа элементов конструкций из различных, в том числе высокопрочных, материалов [5].

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования, связанные с оптимизацией профиля УКЗ, в результате которых глубина пробития штатных изделий увеличена на 16 % (срока 5 в таблице). Экспериментально исследовано действие УКЗ по комбинированным мишеням [5]. Установлено, что УКЗ предложенного профиля при использовании дополнительного стального корпуса обеспечивают форми-

рование каналов глубиной до 150 мм, шириной 14 мм и длиной, соответствующей длине изделия.

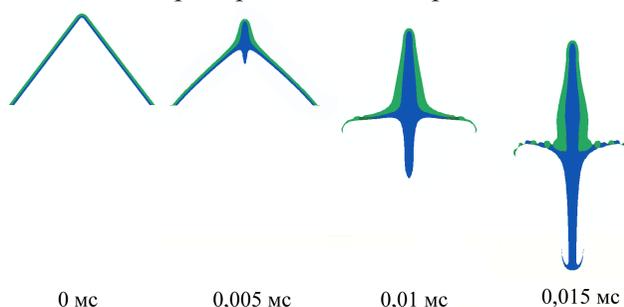
Применение УКЗ в перфорационных системах открывает широкие возможности увеличения площади перфорационных каналов и могут быть эффективно использованы при заканчивании скважин с интенсификацией нефтепритока, где определяющую роль играет площадь отверстий перфорационных каналов.

#### Влияние формы профиля УКЗ на глубину реза

№ п/п	Угол в вершине заряда ВВ, град.	Радиус сопряжения плоскостей кумулятивной канавки, мм	Толщина слоя ВВ у основания заряда, мм	Линейная масса ВВ, г/м	Средняя глубина реза по стали, мм
1	90 (штатный заряд УКЗ-П)	1,5	7,0	525	29,2
2	90	3,0	6,8	525	30,8
3	60	3,0	1,5	370	27,2
4	60	3,0	2,0	420	33,8
5	60	3,0	2,5	470	34,1
6	60	3,0	3,0	520	34,2

Как показали исследования, выполненные в работе [6], определенные перспективы имеет детонационный способ изготовления многослойных кумулятивных облицовок. Способ основан на нанесении покрытия из высокоплотного порошкового материала на конусную металлическую заготовку (воронку) [6].

Так как глубина пробития преград кумулятивной струей возрастает с увеличением плотности и длины струи [1], а облицовка имеет многослойное исполнение, обеспечивается возможность увеличения плотности материала кумулятивной струи при сохранении оптимальной массы КО. Это достигается за счет использования для изготовления внутреннего слоя, из которого формируется струя (рис. 5), высокоплотного материала, а для изготовления внешнего слоя – материала, обладающего более низкой плотностью, например алюминия и др.



Р и с. 5. Характерное распределение материала в момент формирования кумулятивной струи при детонации КЗ с многослойной облицовкой

Выполненные экспериментальные исследования эффективности действия зарядов кумулятивных перфораторов с двухслойными кумулятивными облицовками (медь – карбид вольфрама, алюминий – карбид вольфрама) по пробитию стальных мишеней показали, что эффективность действия взрывных устройств с бислойными облицовками увеличивается до 26 % по сравнению со штатными изделиями [6]. При

этом применение облицовок с основой из алюминия позволяет избежать закупорки перфорационных каналов пестом, формирующимся при детонации КЗ.

Таким образом, предложены конструкции взрывных устройств для перфорации скважин, имеющие форму кумулятивной облицовки, отличную от классической осесимметричной. Данные конструкции зарядов обеспечивают увеличение площади входных отверстий и объема перфорационных каналов до 2,8 раза, а применение многослойных кумулятивных облицовок, изготовленных детонационным способом, позволяет повысить глубину пробития преград до 26 %. Увеличение пробивной способности изделий позволит снизить значение скин-фактора, что, в свою очередь, обеспечит повышение дебита нефтедобывающих скважин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Косад Ч.* Выбор стратегии перфорирования // Нефтегазовое обозрение. – 1998. – Весна. – С. 34-51.
2. *Гайворонский И.Н., Тебякин В.М., Хальзов А.А.* Современные методы вторичного вскрытия пластов // Нефтяное хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 43-46.
3. *Калашников В.В., Деморецкий Д.А., Ненашев М.В. и др.* Взрывные устройства для перфорации нефте- и газодобывающих скважин, обладающие повышенной пробивной способностью // Известия СНЦ РАН. – 2010. – Т. 12. – № 1(2). – С. 366-369.
4. *Калашников В.В., Деморецкий Д.А., Ненашев М.В. и др.* Теоретическая оценка эффективности действия взрывных устройств с комбинированной кумулятивной облицовкой // Известия СНЦ РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1(2). – С. 369-372.
5. *Деморецкий Д.А.* Перспективы применения удлиненных кумулятивных зарядов в перфорационных системах // Вестник СамГТУ. – 2006. – Вып. 46. – С. 19-21.
6. *Калашников В.В., Деморецкий Д.А., Трохин О.В. и др.* Технология изготовления облицовок кумулятивных зарядов, обладающих повышенной пробивной способностью // Известия СНЦ РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1(2). – С. 373-376.

*Статья поступила в редакцию 12 сентября 2011 г.*

#### METHODS IMPROVEMENT OF SHAPED CHARGES FOR PERFORATION OIL AND GAS WELLS

*V.V. Kalashnikov, D.A. Demoretsky, O.V. Trohin, R.R. Suleymanov, P.V. Rogozhin*

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

*The results of studies aimed at creating a shaped charge for perforation wells with increased penetration in the shape lining which is different from classical axisymmetric. The design of shaped charges to ensure the creation of perforating channels with a larger size inlet opening area and volume. It is shown that the increased efficiency of the cone-linear and lengthened shaped charges, and charges with combined and multi-layer lining.*

**Keywords:** *shaped charge, the detonation, the cumulative lining, jet stream, perforation channel, well.*

---

*Vladimir V. Kalashnikov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Dmitriy A. Demoretsky (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Oleg V. Trohin, (Ph.D. (Techn.)).  
Ravil R. Suleymanov, Aspirant.  
Pavel V. Rogozhin, Aspirant.*