

УДК 662.21

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ С КОМБИНИРОВАННОЙ КУМУЛЯТИВНОЙ ОБЛИЦОВКОЙ

© 2011 В.В. Калашников, Д.А. Деморецкий, М.В. Ненашев, О.В. Трохин,  
Р.Р. Сулейманов, И.В. Нечаев, Ю.А. Богданов, А.Ю. Мурзин, А.А. Григорьев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 21.03.2011

Выполнено математическое моделирование процессов пробития преграды зарядом с комбинированной кумулятивной облицовкой. Приведены зависимости характеристик пробиваемого отверстия, формирующегося при детонации заряда, от параметров конструкции взрывного устройства.

Ключевые слова: *кумулятивный заряд, математическое моделирование, детонация*

В настоящее время кумулятивные заряды (КЗ) нашли достаточно широкое применение, как в военной технике, так и в мирных отраслях промышленности для пробивания отверстий (каналов) в различного рода материалах [1]. В ряде случаев, например при перфорации нефтяных скважин с последующим использованием методов увеличения нефтеотдачи, возникает необходимость создания в обсадной трубе перфорационных отверстий с повышенной площадью, при этом глубина пробития имеет второстепенное значение [2]. Для взрывного формирования отверстий, имеющих повышенную площадь, в работе [3] предложена конструкция заряда со сложнопрофильной кумулятивной облицовкой. Конструкция заряда содержит корпус, в котором размещен осесимметричный заряд взрывчатого вещества (ВВ) с открытой полостью, к поверхности

полости прилегает кумулятивная облицовка, состоящая 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 [3]. Работу 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 большая глубина пробития по сравнению с использованием зарядов со сферической или эллиптической кумулятивной облицовкой такого же диаметра. На второй стадии работы заряда из сферической (эллиптической) кумулятивной части облицовки формируется компактное быстролетящее 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 (эллиптической) части облицовки позволяет сформировать дополнительные кумулятивные потоки (кумулятивные «ножи»), которые двигаются по направлению к преграде и совершают дополнительную работу по увеличению площади входного отверстия и объема перфорационного канала [3].

С целью оптимизации конструкции и повышения эффективности действия кумулятивного заряда (КЗ) со сложнопрофильной облицовкой, проведены исследования, связанные с

*Калашников Владимир Васильевич, доктор технических наук, президент. E-mail: ttxb@samgtu.ru*

*Деморецкий Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: ttxb@samgtu.ru*

*Ненашев Максим Владимирович, доктор технических наук, проректор по научной работе. E-mail: max71@mail.ru*

*Трохин Олег Вадимович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ»*

*Сулейманов Равиль Ришадович, аспирант*

*Нечаев Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ»*

*Богданов Юрий Анатольевич, аспирант*

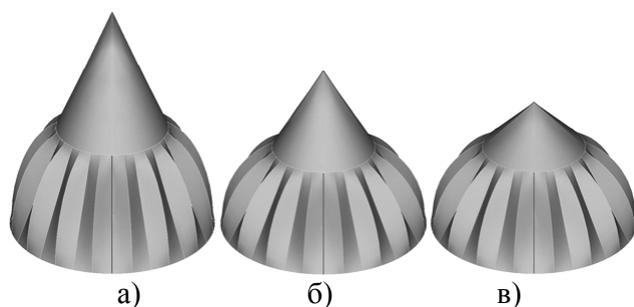
*Мурзин Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ»*

*Григорьев Андрей Александрович, студент*

оценкой влияния параметров конструкции кумулятивной облицовки (КО) на диаметр и глубину пробития КЗ. Выполнено математическое моделирование действия КЗ со сложнопрофильными облицовками с различными параметрами конструкции. В качестве исследуемых параметров были выбраны: угол раствора конической части КО и количество кумулятивных канавок эллиптической части КО. Кумулятивные облицовки зарядов имели диаметр 38,9 мм, толщина КО составляла 0,8 мм, материал КО – медь, ВВ – флегматизированный октоген. В качестве мишени была выбрана полубесконечная стальная преграда.

Для описания поведения взрывчатого вещества и воздуха использовались соответственно уравнение состояния Джонса-Уилкинса-Ли (*JWL*) и уравнение состояния идеального газа, для описания поведения материалов кумулятивной облицовки, корпуса и мишени была использована модель Джонсона-Кука и уравнение состояния Грюнайзена [4, 5]. Задача решалась в трехмерной постановке, учитывающей симметрию конструкции относительно плоскостей, то есть рассчитывалась  $\frac{1}{4}$  часть модели. Считалось, что в начальный момент времени все части системы находятся в ненапряженном состоянии, начальная скорость всех частей системы равна нулю. Инициирование кумулятивного заряда осуществлялось в нулевой момент времени в верхней точке, лежащей на пересечении осей симметрии изделия (по центру заряда).

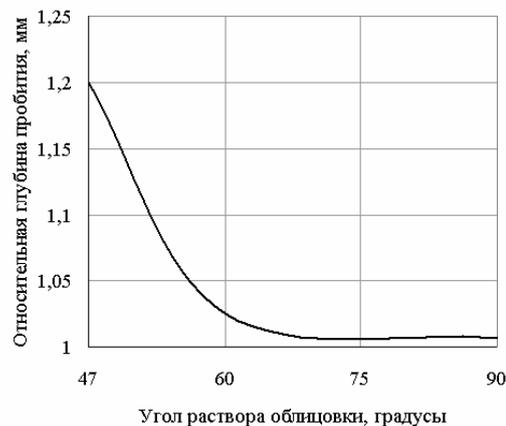
При выполнении первой серии расчетов углы раствора кумулятивных облицовок изменялись от  $47^\circ$  до  $90^\circ$  при неизменном количестве кумулятивных канавок, равном 16 (см. рис. 1). Для сравнительного анализа результатов моделирования так же был выполнен расчет процесса пробития мишени зарядом ЗПК-89-DN (типа *Big Hole*).



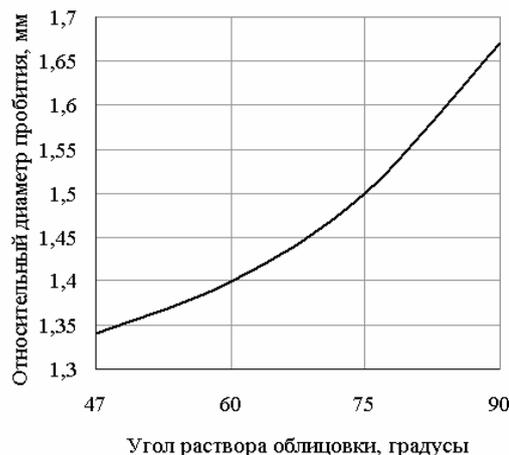
**Рис. 1.** Сложнопрофильные кумулятивные облицовки с углами раствора конической части: а)  $47^\circ$ ; б)  $60^\circ$ ; в)  $90^\circ$

Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 2 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 зарядом ЗПК-89-DN (типа *Big Hole*) преграды из стали Ст.3. В качестве примера на рис. 3 представлено характерное пробитие стальной мишени зарядом предлагаемой конструкции.

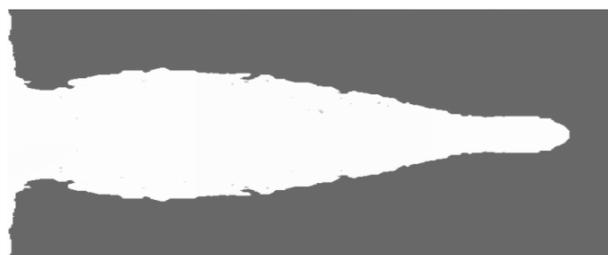


а)



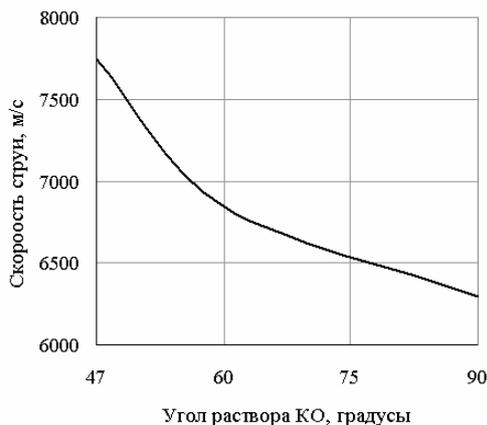
б)

**Рис. 2.** Влияние угла раствора конической части сложнопрофильной КО на относительную глубину (а) и относительный диаметр (б) пробития



**Рис. 3.** Характерное пробитие стальной преграды кумулятивным зарядом со сложнопрофильной облицовкой

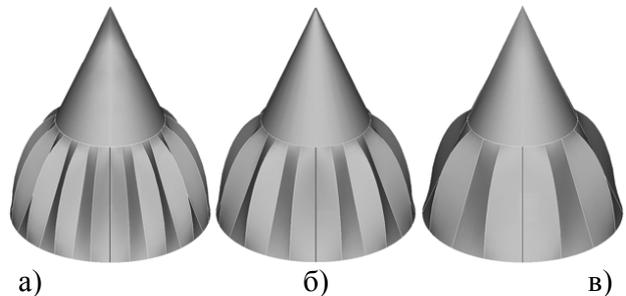
Из рис. 2. видно, что с уменьшением угла раствора конусной части комбинированной облицовки увеличивается глубина пробития преграды. Это связано с тем, что с уменьшением угла раствора КО, увеличивается скорость формируемой кумулятивной струи, что видно из графика, приведенного на рис. 4. При этом угол в конической части КО, равный  $47^\circ$ , является наиболее оптимальным для обеспечения максимальной глубины пробития осесимметричными кумулятивными зарядами [6]. Вместе с тем, из графика, приведенного на рис. 2, видно, что при увеличении угла раствора конической части повышается диаметр входного отверстия, так как увеличивается диаметр формируемой кумулятивной струи. При этом изменяется скорость и угол подхода «кумулятивных ножей», формируемых из выемок эллиптической части облицовки, к мишени. Как видно из рис. 2, 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.



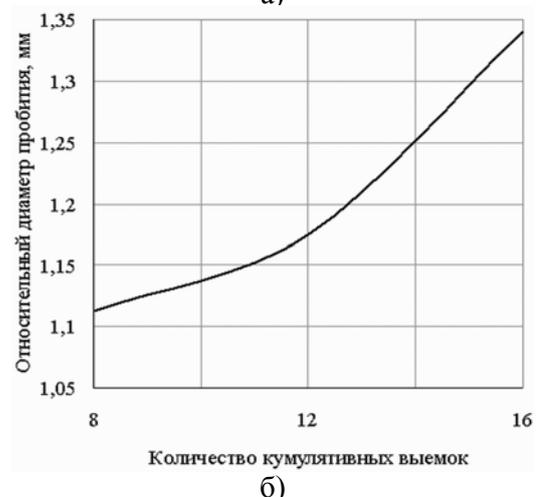
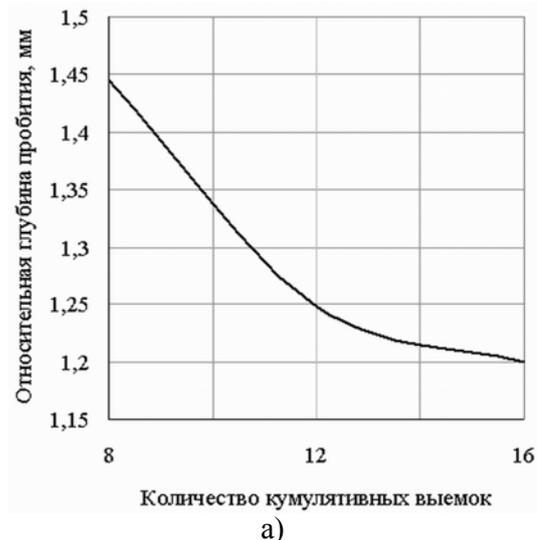
**Рис. 4.** Влияние угла раствора конической части кумулятивной облицовки на максимальную скорость движения кумулятивной струи

При выполнении расчетов по определению зависимости диаметра и глубины пробития заряда от количества кумулятивных выемок эллипсоидной части облицовки, угол раствора кумулятивной облицовки составлял  $47^\circ$ , при котором обеспечивается максимальная глубина пробития преграды. Количество кумулятивных канавок сложнопрофильных облицовок равнялось 8, 12 и 16. Внешний вид некоторых моделей КО представлен на рис. 5. Параметры каналов, полученные в результате моделирования процессов пробития преграды кумулятивными зарядами со сложнопрофильными облицовками, также представлены в относительном виде и приведены на рис. 6. Из графической зависимости, представленной на

рис. 6а, видно, что с уменьшением количества кумулятивных выемок эллиптической части КО, увеличивается глубина пробития. Однако большее количество кумулятивных канавок позволяет сформировать достаточное количество «кумулятивных ножей», совершающих работу по увеличению диаметра пробития преграды и объема образующегося канала (см. рис. 6б).



**Рис. 5.** Сложнопрофильные КО с продольными кумулятивными выемками в количестве: а) 16 шт.; б) 12 шт.; в) 8 шт.



**Рис. 6.** Влияние количества продольных канавок в эллиптической части кумулятивной облицовки на относительную глубину (а) и относительный диаметр (б) пробития

**Выводы:** выполнена теоретическая оценка эффективности действия взрывных устройств с комбинированной кумулятивной облицовкой. Показано, что 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.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ладов, С.В. Использование кумулятивных зарядов

во взрывных технологиях / С.В. Ладов, И.Ф. Кобылкин. – М.: Изд-во МГТУ, 1995. 47 с.

2. Косад, Ч. Выбор стратегии перфорирования // Нефтегазовое обозрение. 1998. Весна. С. 34-51.
3. Калашников, В.В. Кумулятивный заряд со сложнопрофильной облицовкой для создания отверстий повышенного диаметра / В.В. Калашников, Д.А. Деморецкий и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, №1(2). С. 370-373.
4. Мейдер, Ч. Численное моделирование детонации / Ч. Мейдер. – М.: Мир, 1980. 384 с.
5. Бабкин, А.В. Механика сплошных сред. Т.3. Численные методы в задачах физики взрыва и удара / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин, В.В. Селиванов. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. 516 с.
6. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. в 2 т. Т.2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 656 с.

## THEORETICAL ESTIMATION THE EFFICIENCY OF ACTION OF EXPLOSIVES WITH COMBINED CUMULATIVE LINER

© 2011 V.V. Kalashnikov, D.A. Demoretskiy, M.V. Nenashev, O.V. Trohin,  
R.R. Suleymanov, I.V. Nechaev, Yu.A. Bogdanov, A.Yu. Murzin, A.A. Grigoriev

Samara State Technical University

Mathematical modeling of penetration processes through barriers by charge with the combined cumulative liner is executed. Dependences of characteristics of punched aperture formed at charge detonation, on parameters of explosive construction are resulted.

Key words: *cumulative charge, mathematical modeling, detonation*

---

*Vladimir Kalashnikov, Doctor of Technical Sciences, President.*

*E-mail: ttxb@samgtu.ru*

*Dmitriy Demoretskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department.*

*E-mail: ttxb@samgtu.ru*

*Maxim Nenashev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Rector on Scientific Work. E-mail: max71@mail.ru*

*Oleg Trohin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department*

*Ravil Suleymanov, Post-graduate Student*

*Iliya Nechaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department*

*Yuriy Bogdanov, Post-graduate Student*

*Andrey Murzin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department*

*Andrey Grigoriev, Student*