

На правах рукописи

Нгуен Минь Туан

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭФФЕКТА
КУМУЛЯЦИИ В ЗАРЯДАХ МАЛОГО И СВЕРХМАЛОГО ДИАМЕТРА**

05.17.07 – Химическая технология спецпродуктов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2007

Работа выполнена в Российском химико-технологическом университете
им. Д. И. Менделеева.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Хотин В.Г.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Дубовик А.В.

кандидат технических наук,
начальник лаборатории НИМИ
Давыдов В.Ю.

Ведущая организация: ЗАО «Нитро Сибирь», г. Москва

Защита состоится “ 26 ” июня 2007 г. в “ 11 ” часов на заседании
диссертационного совета ДС 212.017.02 в РХТУ им. Д.И.Менделеева (123514,
Москва, ул. Героев Панфиловцев, д.20, корп.2, аудитория 250).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-информационном центре РХТУ
имени Д.И.Менделеева.

Автореферат диссертации разослан “ 25 ” мая 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
ДС 212.017.02, доцент, к.т.н



Козак Г.Д

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Кумулятивный эффект - одно из мощных средств концентрации энергии взрыва в строго заданном направлении, что позволяет управлять действием взрыва и эффективно разрушать окружающую среду.

Кумулятивные средства широко представлены в Российских вооруженных силах, что является следствием плановой организации систематических исследований, начиная с 50-х годов, как конкретно кумулятивного эффекта, так и физики взрыва в целом. В результате, приняты на вооружение, или находятся в заключительной стадии разработки многие системы различного назначения.

Кумулятивные заряды широко применяются в мирной промышленности: в горном деле, при добыче нефти, при обработке металлов взрывом, в космосе для разделения космических объектов, при ликвидации последствий крупных аварий и катастроф, при тушении пожаров и т.д.

Однако, несмотря на значительные достижения в использовании кумулятивного эффекта, можно констатировать, что область малых (менее 40 мм) калибров, как с точки зрения самого явления, так и с точки зрения его реального эффективного использования, изучена ещё недостаточно. Этот пробел объясняется тем, что долгое время бытовало мнение, что малокалиберные кумулятивные боеприпасы являются малоэффективными из-за ряда сложностей сопутствующих их применению: требуется повышение точности изготовления всех узлов, а также возникает необходимость обеспечения более высокой детонационной способности ВВ.

Относительно высокая эффективность кумулятивных зарядов малого калибра, установленная в работе, и наличие сравнительно мало изученной области их применения, делают актуальной тему диссертации, посвящённой исследованию научно-технических проблем эффекта кумуляции в зарядах малого и сверхмалого диаметра.

Простые соображения показывают, что при переходе к меньшему калибру кумулятивного заряда его бронепробивная способность сокращается пропорционально изменению геометрических размеров, в то время как вес изделия изменяется пропорционально третьей степени калибра. Поэтому при переходе к меньшему калибру изделия бронепробивная способность, отнесенная к весу

взрывчатого вещества боевой части, быстро возрастает. Это указывает на большую перспективность выбранного направления научного исследования.

Цель и задачи работы. Целью работы явилось изучение возможности создания эффективных кумулятивных зарядов малого калибра и веса, предназначенных для использования в мирной и военной области. С этой целью изучено влияние на эффективность бронепробивного действия кумулятивных зарядов малого калибра и веса элементов конструкции заряда, а также состава мощных взрывчатых смесей, используемых для снаряжения боевых частей.

К кумулятивным зарядам малого калибра можно отнести заряды с диаметром основания кумулятивной облицовки в 5-10 раз меньше, чем диаметр облицовки типового противотанкового боеприпаса (гранаты средств ближнего боя, или боевой части противотанковой управляемой ракеты).

Для достижения этой цели в работе решены следующие задачи:

- изучено влияние калибра кумулятивной воронки на бронепробивную способность зарядов малого калибра;
- изучено влияние формы кумулятивной выемки на бронепробивную способность зарядов малого калибра;
- изучено влияние детонационных характеристик ВВ на бронепробивную способность кумулятивных зарядов малого калибра;
- изучена бронепробивная способность кумулятивных зарядов малого калибра, оснащённых кумулятивными воронками «нетрадиционной» формы;
- разработаны основы теории бронепробивного действия кумулятивных зарядов малого калибра, оснащённых кумулятивными воронками «нетрадиционной» формы.

Научная новизна работы. Впервые детально исследовано влияние на бронепробивную способность кумулятивных зарядов малого калибра и веса элементов конструкции заряда: диаметра боевой части заряда, калибра и формы кумулятивной облицовки, состава и детонационных характеристик взрывчатых веществ, а также способа снаряжения зарядов.

Получены количественные данные по глубине бронепробития кумулятивными зарядами малого калибра (диаметра боевой части от 40 до 5 мм) и веса (от 24 до 0,3 г).

Впервые обнаружен эффект повышенного заброневого поражающего действия зарядов с «нетрадиционной» формой кумулятивной воронки. При испытании макета в преграде возникает отверстие, равное диаметру боевой части. Интенсивно развиваются откольные явления, не характерные для обычных кумулятивных зарядов. Вынос металла достигает 3 гр. на 1 гр. веса боевого заряда.

Предложена физическая модель, объясняющая наблюдаемый эффект, а также проведены расчеты, количественно подтверждающие предложенную схему разрушения преграды.

Показано, что эффективность кумулятивных зарядов малого калибра, охарактеризованная относительной глубиной пробития, однозначно определяется относительным импульсом контактного взрыва:

$$L/L_{100} = 0,024 I_{\text{отн}} - 1,4 \quad (1)$$

Это соотношение использовано для прогнозирования эффективности кумулятивных боевых частей, снаряженных новыми мощными взрывчатыми веществами. Показано, что кумулятивные заряды малого калибра и веса, снаряжены взрывчатыми смесями на основе нового мощного взрывчатого вещества – CL20, способны пробить преграду на глубину 2 раза большую, чем ТГ 50/50.

Практическая значимость работы. Полученные в диссертации количественные данные, как по влиянию элементов конструкции заряда: диаметра боевой части заряда, калибра и формы кумулятивной облицовки, так и по влиянию состава и детонационных характеристик взрывчатых веществ на его бронепробивную способность, являются теоретической основой для конструирования кумулятивных зарядов малого калибра и веса, предназначенных для использования как в военном деле, так и в мирной промышленности. Эти результаты могут быть использованы при конструировании эффективных кумулятивных боеприпасов к новому формирующемуся классу стрелкового оружия - "оружие поддержки пехоты".

В диссертации защищаются:

- экспериментальные данные по влиянию калибра кумулятивной воронки на бронепробивную способность зарядов малого калибра;
- экспериментальные данные по влиянию формы кумулятивной выемки на бронепробивную способность зарядов малого калибра;
- экспериментальные данные по влиянию детонационных характеристик ВВ (детонационной способности и параметров детонационной волны) на

бронепробивную способность кумулятивных зарядов малого калибра;

- экспериментальные данные о бронепробивной способности кумулятивных зарядов малого калибра, оснащённых кумулятивными воронками «нетрадиционной» формы; и физическая модель явления, описывающая разрушающее действие кумулятивных зарядов этого типа.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены: на XIX Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «Успехи в химии и химической технологии», «МКХТ- 2005», Москва, 2005.; на XX Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «Успехи в химии и химической технологии», «МКХТ- 2006», Москва, 2006 г.; на XIII международной научно- практической конференции научно- педагогического состава и обучающихся, Академии ГЗМЧС РФ, «Предупреждение, спасение, помощь», Москва, 2006.

Публикации. По теме работы опубликовано 4 статьи, учебное пособие.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, литературного обзора, постановки задачи исследования, экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов, списка литературы, включающего 62 источника и приложения. Работа изложена на 127 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **вводной части** работы и главе **постановки задачи исследования** обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы задачи и цели работы.

Литературный обзор. Изложены основы гидродинамической теории кумуляции, развитой в трудах М.А. Лаврентьева, Тейлора и Райхельбергера. Рассмотрены современные представления об условиях формирования сплошной связной кумулятивной струи С.А.Кинеловского; феноменологическая теория формирования кумулятивной струи И. И. Томашевича; теория бронепробивного действия кумулятивной струи. Дан краткий исторический обзор области использования кумуляции в современной взрывной технике.

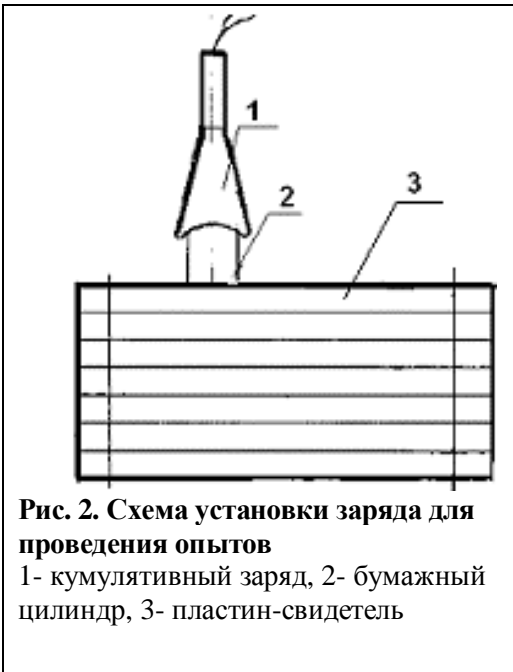
Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследований выбраны кумулятивные заряды малого калибра (диаметр боевой части от 40 до 5 мм) и веса (от 24 до 0,3 г). В качестве эталонного, в работе использован заряд бескорпусного кумулятивного перфоратора ПКС - ЗПК 103 (рис. 1). Он имеет малые

Детонационные характеристики взрывчатых веществ и взрывчатых смесей, использованных в работе, определенные экспериментально электромагнитным методом или полученные расчетом по программе “Shock and Detonation” и приведены в таблицах 1 и 2.

В основном для изготовления зарядов использован метод прессования. Прессование шашек ВВ и промежуточных детонаторов осуществлялось на ручном масляном гидравлическом прессе при помощи специального прессинструмента.

Давление прессования 2000 кг/см^2 . В ряде случаев снаряжение боевых частей осуществлялось методом вибрационной заливки. Средняя плотность взрывчатых веществ в заряде определялась путем расчета, после взвешивания готового изделия на воздухе и в воде с точностью до 10^{-4} г. Для надежного возбуждения детонации, в

качестве промежуточного боевика, применялась шашка из тетрила массой 5 г, отпрессованная до плотности $1,4 \text{ г/см}^3$, диаметр боевика 12 мм. Инициирование промежуточного детонатора осуществлялось с помощью столбика порошкообразного гексогена (подсыпка), в верхнюю часть которого вставлялась капелька иницирующего состава из азиды свинца весом 0,1 г.



Методика проведения испытаний во взрывной камере показана на схеме (рис. 2). Подрыв осуществлялся с помощью взрывной

машинки ВМК-1/100П, клеммы которой непосредственно перед подрывом присоединялись к взрывной линии.

1. Влияние калибра кумулятивной воронки

С целью определения предельного минимального размера кумулятивного заряда, еще способного эффективно пробить стальную преграду, проведена серия опытов с зарядами весьма малого калибра (до 5мм).

Показано, что для зарядов диаметром 15 и 20мм глубина бронепробития еще достаточно велика (относительная глубина пробития, $L/d = 3-4$), но падает при переходе к зарядам калибра 9мм, в связи со снижением параметров

детонационной волны по мере приближения к критическим условиям распространения детонации в Ток 40/60. Заряд калибром 7мм, с конической воронкой диаметром 5мм, был снаряженный мощным взрывчатым веществом с высокой детонационной способностью и пробил 15мм стали, $L/d = 3$ (рис 3).

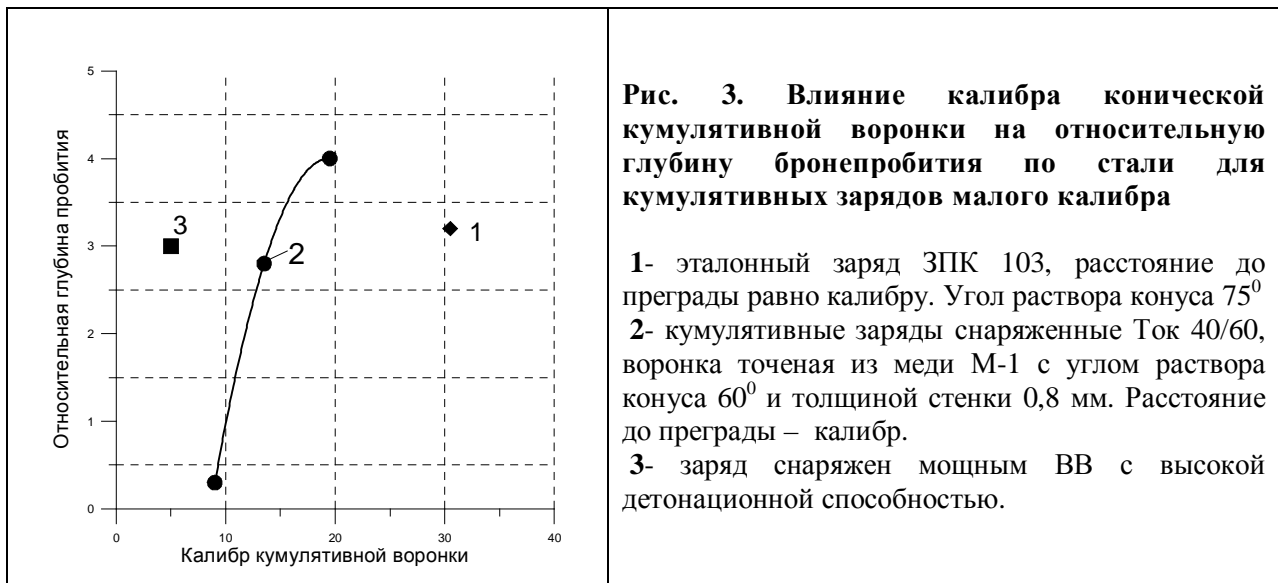


Рис. 3. Влияние калибра конической кумулятивной воронки на относительную глубину бронепробития по стали для кумулятивных зарядов малого калибра

1- эталонный заряд ЗПК 103, расстояние до преграды равно калибру. Угол раствора конуса 75°
 2- кумулятивные заряды снаряженные Ток 40/60, воронка точеная из меди М-1 с углом раствора конуса 60° и толщиной стенки 0,8 мм. Расстояние до преграды – калибр.
 3- заряд снаряжен мощным ВВ с высокой детонационной способностью.

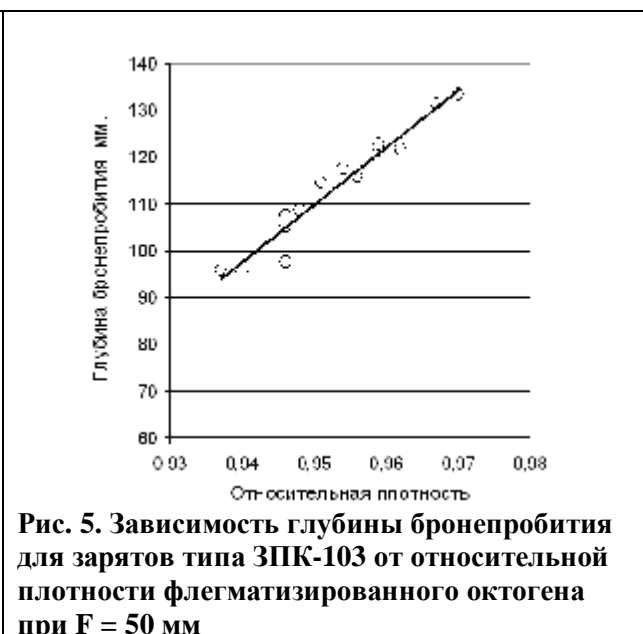
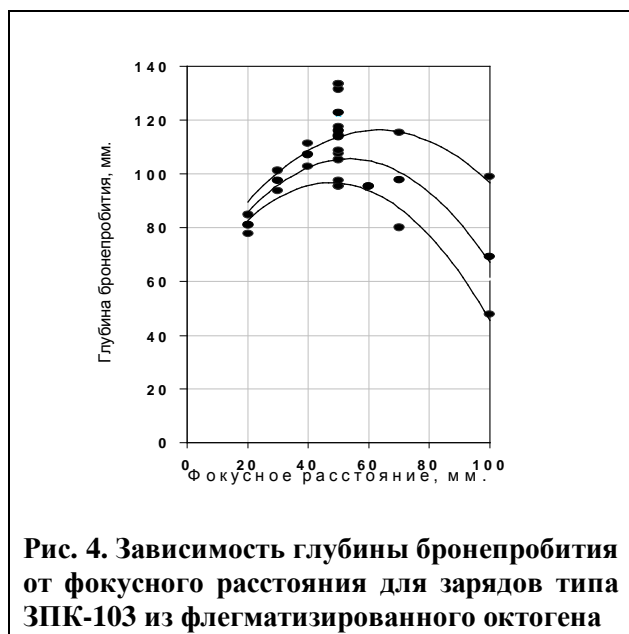
В изученном диапазоне боеприпасов малого калибра глубина пробития кумулятивными зарядами в 2-3 раза больше, чем подкалиберными снарядами с твёрдосплавным сердечником.

Проведенные эксперименты показали высокую эффективность кумулятивных зарядов малого калибра и веса с воронками традиционной конической формы. Заряды сохраняют способность пробивать стальную преграду на глубину 3-4 калибра даже при уменьшении диаметра боевой части до 15мм. Этот предел может быть понижен в еще большей степени за счет использования мощных ВВ с высокой детонационной способностью. При этом глубина пробития стальной преграды отнесенная к весу заряда, для зарядов чрезвычайно малого калибра, может достигать 10-50мм на грамм ВВ. Для зарядов большого калибра, используемых в настоящее время в конструкции современных РПГ, глубина пробития составляет 1200мм, но отнесенная к весу заряда составляет всего 0,7-5мм на грамм ВВ.

2. Результаты оценки бронепробивной способности заряда малого калибра принятого за эталон. Влияние фокусного расстояния

Для эталонных зарядов выбранной конструкции экспериментально определена глубина пробития по мягкой стали (Ст3). С помощью методов математической статистики построены кривые пробития с вероятностью 95%, 50%

и 5%, в зависимости от расстояния до преграды (рис 4). Установлено, что заряд данной конструкции калибра 32,7 мм с воронкой из меди диаметром в основании 30,7 мм с углом раствора конуса 75° при весе боевой части 23 г из флегматизированного октогена имеет фокусное расстояние 50 мм. Он способен пробить сталь на глубину 110мм с вероятностью 50%. Глубина пробития с вероятностью 95% при серийном изготовлении заряда составила 95мм и 125мм с вероятностью 5%.



Результаты испытаний позволяют заключить, что в случае зарядов малого калибра, разброс в глубине бронепробития, в основном, зависит от степени совершенства боевого заряда и в основном определяется изменением его плотности. Контроль плотности прессованных кумулятивных зарядов методом гидростатического взвешивания показал, что глубина пробития в значительно меньшей степени зависит от несовершенства конструкции (несоосность воронки, различие по толщине...) а в основном определяется относительной плотностью заряда. При плотности заряда $1,77 \text{ г/см}^3$ (относительная плотность 0,96) глубина пробития составляет 122мм, диапазон возможных изменений последней в результате влияния остальных конструктивных факторов составляет ± 5 мм (4%) (рис. 5).

3. Влияние детонационных характеристик ВВ на относительную глубину пробития при заданном калибре. Оценка эффективности взрывчатых веществ

Особое значение имеет поиск связи между детонационными

характеристиками взрывчатого вещества и эффективностью бронепробивного действия кумулятивного заряда. Решение этой задачи позволяет производить обоснованный выбор взрывчатых веществ пригодных для снаряжения кумулятивных боевых частей и вести целенаправленный синтез новых мощных взрывчатых веществ с требуемыми характеристиками.

Следует иметь в виду, что теория предсказывает наличие прямой зависимости между скоростью детонации (D) и скоростью движения головного элемента кумулятивной струи (U_c), однако прямой связи между скоростью детонации и глубиной пробития преграды нет. Известно, что для разрушения стальной преграды достаточно обеспечить умеренную скорость кумулятивной струи ~ 2500 м/с. Чрезмерно высокая скорость, до 8000-12000 м/с, легко достижимая при взрыве кумулятивного заряда, обеспечивает интенсивное развитие эффектов послетечения, но для эффективного бронепробивного действия не нужна.

Таким образом, связь бронепробивного действия кумулятивного заряда с параметрами детонации взрывчатых веществ оказывается достаточно сложной. Следует принять во внимание некоторые общие теоретические соображения о работе взрыва, развитые ранее в работах А.Ф. Беляева. При этом следует учесть, что процесс отбора энергии на разгон тонкой металлической облицовки кумулятивной полости при детонации характеризуется крайне малым временем.

Кумулятивное действие можно охарактеризовать, как крайний случай проявления бризантного действия взрыва. Поэтому следует ожидать наличия связи между эффективностью бронепробивного действия и такими детонационными характеристиками взрывчатого вещества, как скорость детонации (D), давление на фронте детонационной волны (P), скорость движения продуктов взрыва (U), показатель политропы продуктов взрыва (k), начальная плотность заряда (ρ_0), и некоторыми показателями работоспособности взрывчатого вещества, такими как Q_v и удельный импульс контактного взрыва ($I_{отн}$).

Дубновым, Ерёменко, Струковым, Пепекиным величину относительного импульса контактного взрыва предлагается использовать в качестве критерия для оценки бронепробивного действия кумулятивных зарядов.

Относительный импульс контактного взрыва предложено рассчитывать по известным детонационным характеристикам взрывчатых веществ.

$$I_{\text{отн}} = 28,0 + 5,57 \rho_0 \sqrt{\frac{\rho_0 (Q_{\text{дет}} - \chi_c \overline{C_{vc}} T_{\text{дет}})}{M}} \quad (2)$$

Где: ρ_0 – плотность заряда $г/см^3$; $Q_{\text{дет}}$ – calorиметрическая теплота взрыва, экспериментально найденная или рассчитанная, $ккал/кг$; M – средний молекулярный вес газообразных продуктов взрыва; χ_c – количество углерода в продуктах взрыва, $г.ат/кг$; $T_{\text{дет}}$ – температура детонации, $К$; $\overline{C_{vc}}$ – средняя теплоемкость углерода, $ккал/г.ат.град$. Значения χ_c , $T_{\text{дет}}$ и M рассчитываются по уравнениям материального и теплового баланса с учетом равновесия реакции водяного газа.

В настоящей работе относительный импульс контактного взрыва рассчитан по соотношению (2), при этом необходимые детонационные характеристики взрывчатых веществ и взрывчатых смесей были определены экспериментально, или с использованием программы “Shock and Detonation” и приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета относительного импульса контактного взрыва и экспериментальные данные, характеризующие относительную глубину пробития стальной преграды кумулятивными зарядами ЗПК-103

Взрывчатые вещества	ρ_0 , $г/см^3$	D , $м/с$	U , $м/с$	P , $ГПа$	$I_{\text{отн}}$, %	$Q_{\text{дет}}$, $КДж/кг$	L/L_{100}
ТГ 50/50	1,660	7969	1891	25,01	103	5719	1,00
ТНТ	1,640	7304	1645	19,7	92,3	5312	0,822
Гексоген фл	1,680	8501	2072	29,59	111,3	5853	1,233
Октоген фл	1,760	8822	2162	33,37	118,1	5959	1,575
Ток 40/60	1,720	8306	1978	28,26	109,0	5814	1,164
НТО/октоген 40/60	1,860	8885	2193	36,24	119,8	5484	1,369

Результаты расчета относительного импульса контактного взрыва позволяют обсудить весьма важный вопрос о влиянии скорости детонации на эффективность разрушающего действия кумулятивных зарядов. Согласно соотношению (2), относительный импульс контактного взрыва пропорционален $Q_{\text{дет}}^{1/2}$ и можно ожидать, что имеется простая зависимость между относительным импульсом контактного взрыва и скоростью детонации. В действительности же, относительный импульс контактного взрыва, лишь в первом приближении, оказывается пропорционален скорости детонации (рис. б). Зависимость построена на основании литературных и оригинальных экспериментальных данных, с использованием массива, состоящего из 37 индивидуальных и смесевых взрывчатых веществ.

Оценку эффективности взрывчатых веществ, предназначенных для снаряжения кумулятивных боеприпасов, обычно проводят по глубине пробития стальной преграды макетом кумулятивного заряда достаточно большого калибра (50 мм) и веса (более 500 г). Это позволяет сравнивать различные взрывчатые вещества в условиях реализации детонационного режима, близкого к идеальному. В таблице 3 эффективность бронепробивного действия изучавшихся составов охарактеризована относительной глубиной пробития стальной преграды кумулятивным зарядом значительно меньшего калибра, и веса (21-23 г), выполненного в габаритах боевой части кумулятивного перфоратора ЗПК-103.

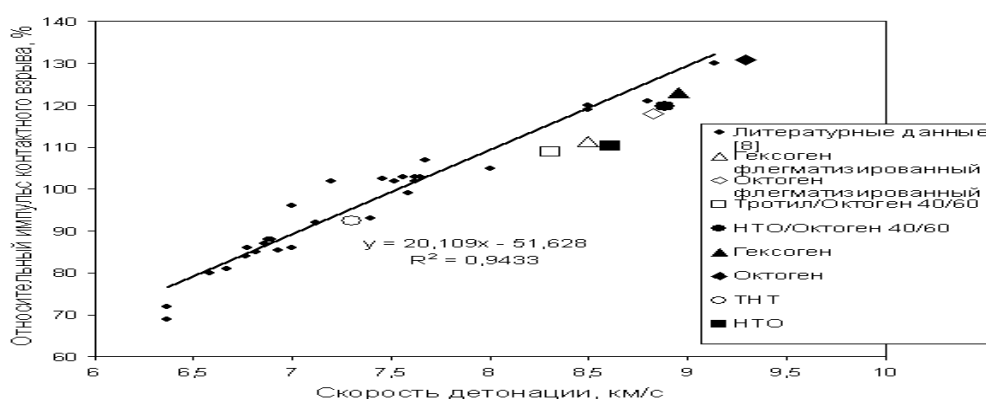


Рис. 6. Сравнение экспериментальных данных с литературными данными для зависимости относительного импульса от скорости детонации

Для сравнения использованы данные, полученные при испытании заряда ЗПК-103, снаряженного смесью ТГ 50/50. На рис.7 сопоставлена относительная глубина пробития с рассчитанным относительным импульсом контактного взрыва смесей приведенных в таблице 3 и найдена зависимость:

$$L/L_{100} = 0,024 I_{\text{отн}} - 1,4 \quad (1)$$

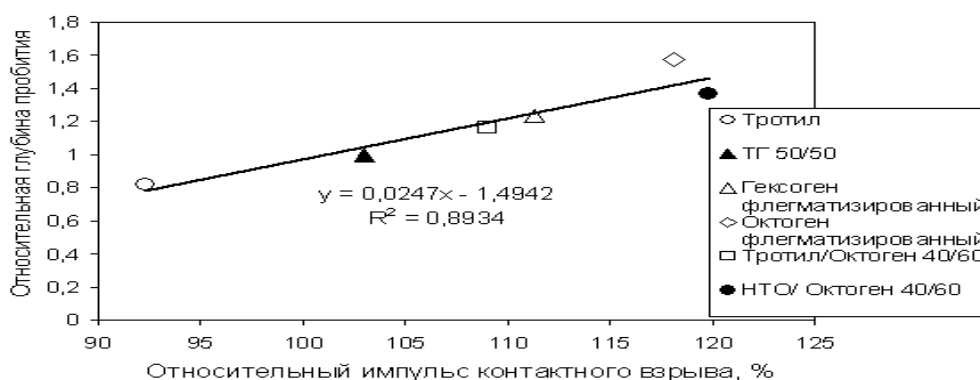


Рис. 7. Зависимость относительной глубины бронепробития от относительного импульса контактного взрыва

Это позволяет производить априорную оценку бронепробития реальных кумулятивных зарядов на основе расчетных параметров детонации взрывчатых смесей, использованных для их снаряжения.

Например, оказалось, что эффективность взрывчатой смеси, в которой 40% октогена заменено на малочувствительное взрывчатое вещество нитротриазолон (НТО), сравнима с эффективностью заряда флегматизированного октогена. Соответственно $I_{отн}=119,8$; $L/L_{100}=1,369$ для смеси октогена с нитротриазолоном 60/40 и $I_{отн}=118,1$; $L/L_{100} = 1,575$ для флегматизированного октогена. При этом глубина пробития пакета пластин из мягкой стали (50% вероятность) перфоратором ЗПК-103, снаряженным флегматизированным октогеном составляет 118,5 мм.

Таблица 4

Результаты расчета относительного импульса контактного взрыва и относительной глубины пробития для кумулятивных зарядов малого калибра и веса, снаряженных новыми перспективными мощными взрывчатыми веществами и взрывчатыми смесями на их основе

Взрывчатые вещества	ρ_0 , г/см ³	$Q_{дет}$, ккал/кг	χ_c , г.ат/кг	$\overline{C_{vc}}$, ккал/г.ат.град	$T_{дет}$, °К	M , г/г.ат	$I_{отн}$, %	L/L_{100}
CL20	2,044	1579,9	1,01	$5,9 \cdot 10^{-3}$	4361	32,2	141,1	1,99
CL20 + 5,5% фл	1,913	1526,3	4,86	$5,8 \cdot 10^{-3}$	4043	31,9	126,1	1,63
CL20/ТНТ 60/40	1,861	1457,0	8,04	$5,8 \cdot 10^{-3}$	4083	34,5	113,7	1,33
CL20/Фох7 60/40	1,977	1439,6	1,69	$5,7 \cdot 10^{-3}$	3844	31,2	131,8	1,76
CL20/НТО 60/40	1,989	1341,1	3,15	$5,7 \cdot 10^{-3}$	3730	32,4	126,0	1,62
CL20/ТНАЗ 60/40	1,957	1586,6	0,93	$5,9 \cdot 10^{-3}$	4397	31,9	134,7	1,83
CL20/ТАТВ 60/40	2,000	1387,1	6,44	$5,7 \cdot 10^{-3}$	3697	33,1	124,9	1,60
Октоген/Фох7 60/40	1,900	1389,7	2,26	$5,6 \cdot 10^{-3}$	3518	29,6	126,4	1,63
Октоген/ТНАЗ 60/40	1,881	1537,9	1,33	$5,8 \cdot 10^{-3}$	4014	30,3	129,3	1,70
Октоген/ТАТВ 60/40	1,921	1337,0	7,06	$5,6 \cdot 10^{-3}$	3384	31,4	119,8	1,48
ОНС	1,980	1824,8	0	$6,54 \cdot 10^{-3}$	6204	38,2	135,3	1,85
ОНС/ТНТ 60/40	1,828	1597,4	6,8	$6,11 \cdot 10^{-3}$	4965	37,3	112,1	1,29
ОНС/Фох7 60/40	1,941	1589,3	0,42	$6,05 \cdot 10^{-3}$	4781	33,7	131,0	1,74
ОНС/НТО 60/40	1,952	1491,4	1,78	$6,02 \cdot 10^{-3}$	4708	35,2	125,2	1,60
ОНС/ТНАЗ 60/40	1,922	1730,5	0	$6,26 \cdot 10^{-3}$	5397	34,4	133,3	1,80
ОНС/ТАТВ 60/40	1,963	1539,1	5,15	$5,99 \cdot 10^{-3}$	4615	36,1	123,3	1,56

Соотношение $L/L_{100} = 0,024 I_{отн} - 1,4$, полученное в работе, не только устанавливает связь между относительной глубиной пробития и рассчитанным относительным импульсом контактного взрыва для известных в настоящее время мощных взрывчатых смесей, но и позволяет, в последующем, прогнозировать достижимую глубину бронепробития для кумулятивных зарядов малого калибра и

веса снаряженных новыми перспективными мощными взрывчатыми веществами и взрывчатыми смесями на их основе (результаты расчета приведены в таблице 4).

Из приведенного графика (рис. 8) видно, что кумулятивные заряды малого калибра и веса, снаряженные новым перспективным мощным взрывчатым веществом – CL20, способны пробить преграду на глубину 2 раза большую, чем ТГ 50/50.

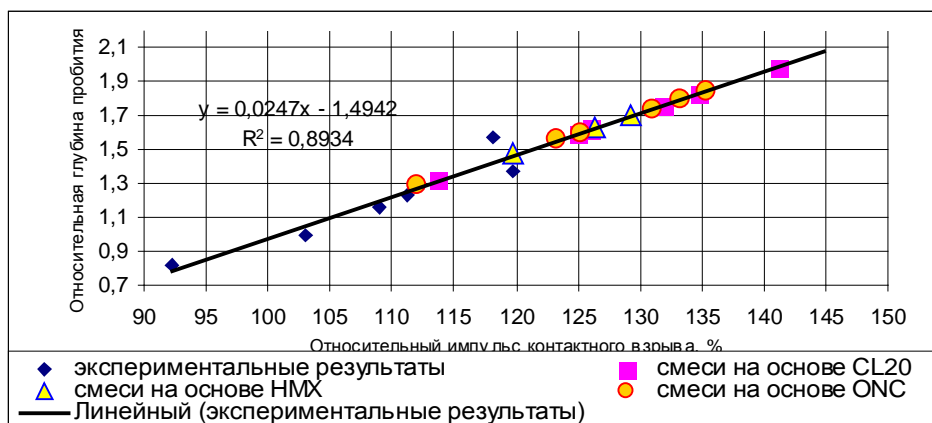


Рис. 8. Прогнозирование бронепробивной способности кумулятивных зарядов малого калибра и веса, снаряженных новыми мощными перспективными взрывчатыми веществами и смесями на их основе

Результаты экспериментов, представленные в таблице 3 позволяют сделать вывод об относительно высокой эффективности кумулятивных зарядов типа ЗПК-103 малого калибра и веса.

Теоретический подход к оценке эффективности кумулятивных боевых частей, предложенный Дубновым, Ерёменко, Струковым, Пепекиным для зарядов большого калибра, сохраняет свое значение и для боеприпасов весьма малого калибра и веса при условии реализации устойчивого детонационного режима.

4. Влияние формы кумулятивной воронки на результаты бронепробития

Изучено бронепробивное действие, определена глубина и форма отверстия пробитого в стали кумулятивными зарядами малого калибра с воронками традиционной формы: конус, сфера, "ударное ядро" – сферический сегмент, парабола.

Показано, что заряды с конической воронкой традиционной формы сохраняют способность пробивать стальную преграду на глубину 3-4 калибра даже при уменьшении диаметра боевой части до 15мм. Этот предел может быть понижен в еще большей степени за счет использования мощных ВВ с высокой детонационной способностью или путем помещения заряда в прочную оболочку. Заброневое

действие, обусловленное откольными явлениями в броне, практически отсутствует, диаметр пробитого отверстия весьма ограничен (рис. 9).

Из рис. 2, сопоставив результаты опытов с бронепробивной способностью



эталонного заряда, можно прийти к заключению, что снижение угла конусности с 75° до 60° приводит к увеличению относительной глубины бронепробития с 3 до 4 калибров, т.е. почти на 25%, что связано, видимо, с относительным увеличением длины образующей конуса, при том же его калибре. Этот результат находится в хорошем согласии с существующей теорией бронепробивного действия кумулятивной струи.

Для зарядов, имевших кумулятивную выемку в форме сферы, отмечено существенное изменение характера

воздействия заряда на преграду. Глубина бронепробития сокращается до 2 калибров, но возрастает диаметр отверстия пробитого в стальной преграде, до 10-15 мм на входе струи в преграду, т.е. почти в 3-4 раза, в основном за счет возросших эффектов послетечения. Откольные эффекты и связанное с ними забронеовое действие выражены слабо (рис. 10 и 11).

Возросшие эффекты послетечения в материале преграды могут быть объяснены увеличением скорости головных участков кумулятивной струи, формирующихся также в результате столкновения элементов кумулятивной облицовки, метаемых с большой скоростью детонационным фронтом, падающим в начальный момент по нормали к поверхности кумулятивной выемки. В последующем, детонационный фронт становится скользящим, что приводит к снижению, почти в 2 раза, скорости метания элементов кумулятивной выемки и, в результате, к уменьшению диаметра пробиваемого отверстия в преграде и снижению эффективной длины кумулятивной струи. В целом же, все наблюдаемые эффекты находят свое непротиворечивое объяснение с позиций существующей теории бронепробития.

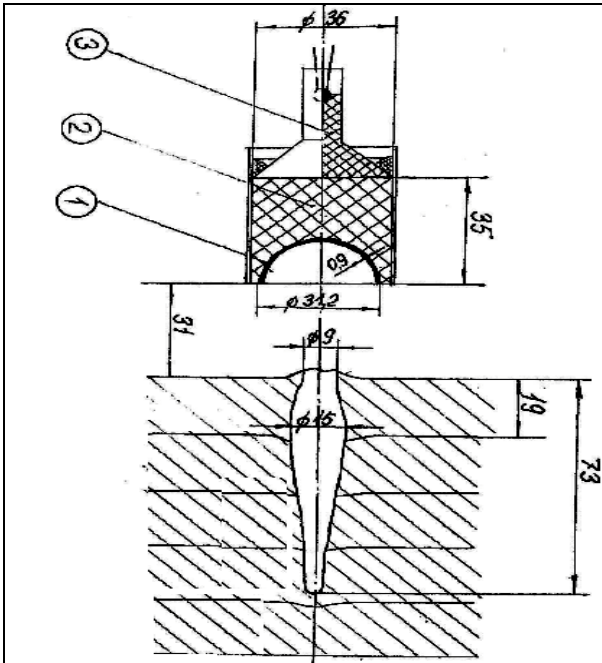


Рис. 10. Боевая часть кумулятивного заряда с воронкой сферической формы калибром 31,2 мм и результат её воздействия на пакет стальных плит

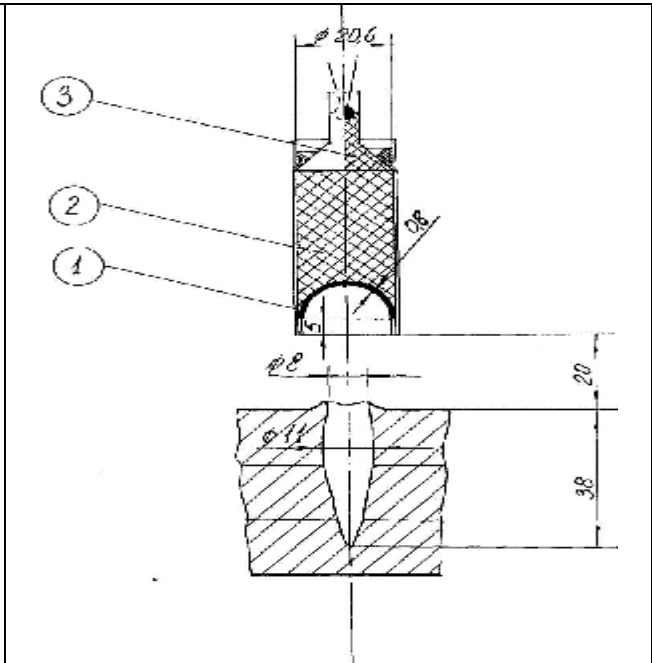


Рис. 11. Боевая часть кумулятивного заряда с воронкой сферической формы калибром 20,6 мм и результат её воздействия на пакет стальных плит

При взрыве кумулятивных зарядов с воронками в виде сегментов сферы большого радиуса, т.н. "ударное ядро", наблюдается дальнейшее увеличение диаметра пробиваемого отверстия, до 0,4-0,6 калибра, при резком сокращении глубины бронепробития (рис 13). Бронепробитие воронок типа "ударное ядро" равноценно действию урезанных до размера сегмента сферических воронок того же радиуса. В этом можно убедиться, сравнив рис 13 и 11.

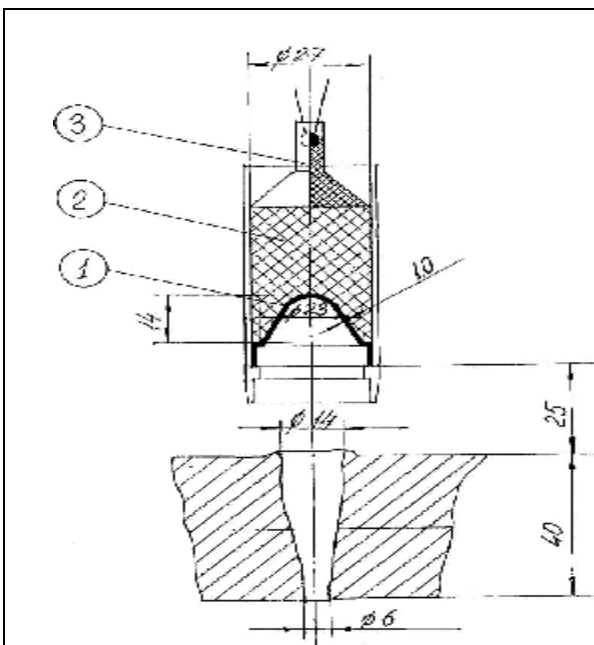


Рис. 12. Боевая часть кумулятивного заряда с воронкой параболической формы калибром 27 мм и результат её воздействия на стальную преграду толщиной 40 мм

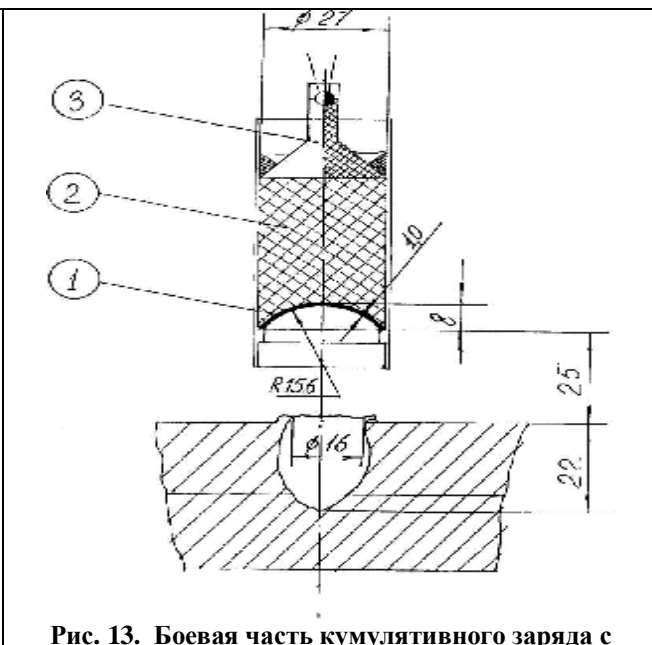


Рис. 13. Боевая часть кумулятивного заряда с воронкой в виде шарового сегмента ("ударное ядро") и результат её воздействия на пакет стальных плит. Калибр воронки 27 мм, прогиб сегмента 8 мм

Использование воронок типа "ударное ядро" целесообразно для формирования высокоскоростных ударных элементов ограниченной длины, но не приводит к увеличению бронепробивной способности в сопоставлении с зарядами, имеющими кумулятивную облицовку в форме сферы того же радиуса. Падает глубина пробития и при сравнении зарядов с боевой частью одинакового калибра.

Кумулятивные воронки в форме параболы обеспечивают наиболее стабильное, хотя и ограниченное по глубине, бронепробивное действие. Глубина отверстия в стали достигает 1,5 калибра. Диаметр отверстия крайне неравномерен и составляет 0,5 калибра на входе струи в металл и, в последующем, с глубиной резко сокращается. Заброневое осколочное действие выражено слабо (рис. 12).

5. Исследование бронепробивной способности кумулятивных зарядов малого калибра, оснащённых воронками «нетрадиционной» формы

Основным критерием оценки эффективности бронепробития кумулятивных зарядов с традиционной формой кумулятивной воронки является глубина бронепробития. Но в ряде случаев, необходимо создавать широкие отверстия при относительно небольшой толщине преграды. Это важно также для перфорации нефтегазовых скважин, т.к. узкое отверстие в обсадной трубе может легко забиться песком. В ряде случаев важен занос материала за преграду и приходится значительно усложнять конструкцию боеприпаса, чтобы обеспечить занос песта за броню. Поэтому значительное внимание уделено зарядам с цилиндрическими облицовками и облицовками «нетрадиционной формы», т.к. они дают пробоину практически равную калибру кумулятивного заряда.



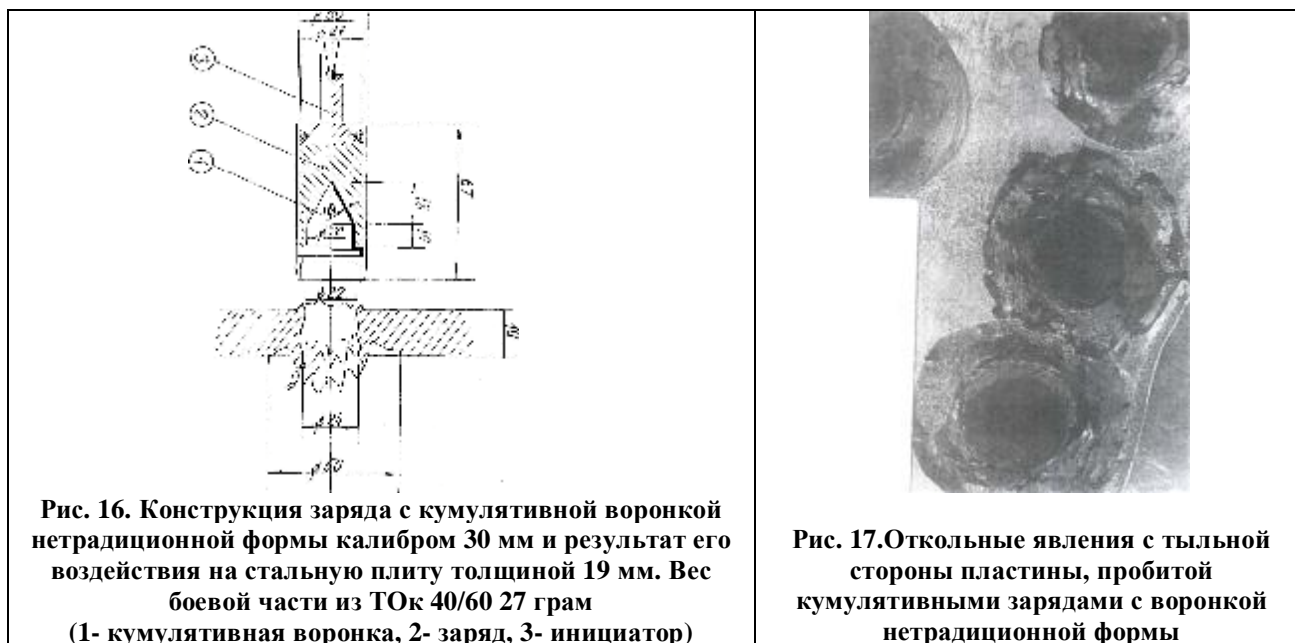
**Рис. 14. Кумулятивные облицовки нетрадиционной формы.
Цилиндрикоконические облицовки**



**Рис. 15. Кумулятивные облицовки нетрадиционной формы.
Цилиндрические облицовки**

К зарядам с «нетрадиционной» формой кумулятивной воронки мы относим заряды с комбинированной формой воронки: конус + цилиндр (рис. 14), сфера + цилиндр, и цилиндрической кумулятивной облицовкой (рис. 15).

Для зарядов с «нетрадиционной» формой кумулятивной воронки впервые обнаружено характерное особое воздействие на преграду, несвойственное зарядам с обычными (например коническими) кумулятивными облицовками. Диаметр пробиваемого в преграде отверстия оказывается равен диаметру кумулятивной облицовки, а на тыльной поверхности преграды развиваются мощные откольные явления. Диаметр отколовшегося слоя достигает до двух диаметров заряда (рис. 16, 17).



Боевые части зарядов в этой серии опытов были выполнены из мощного взрывчатого вещества с высокой скоростью детонации - литого состава ТОк 40/60.

Первая серия опытов устанавливает зависимость между бронепробивной способностью кумулятивных зарядов с цилиндроконической формой кумулятивной выемки и расстоянием до преграды.

Следующие две серии опытов проведены в целях установления зависимости бронепробивного действия от расстояния до преграды и от высоты цилиндрической части облицовки с зарядами, имеющими цилиндрические кумулятивные выемки. На рис. 18, приведены графики зависимостей диаметров входного и выходного отверстий, а также откольной воронки от расстояния до преграды для зарядов первой и второй серии. Видно, что:

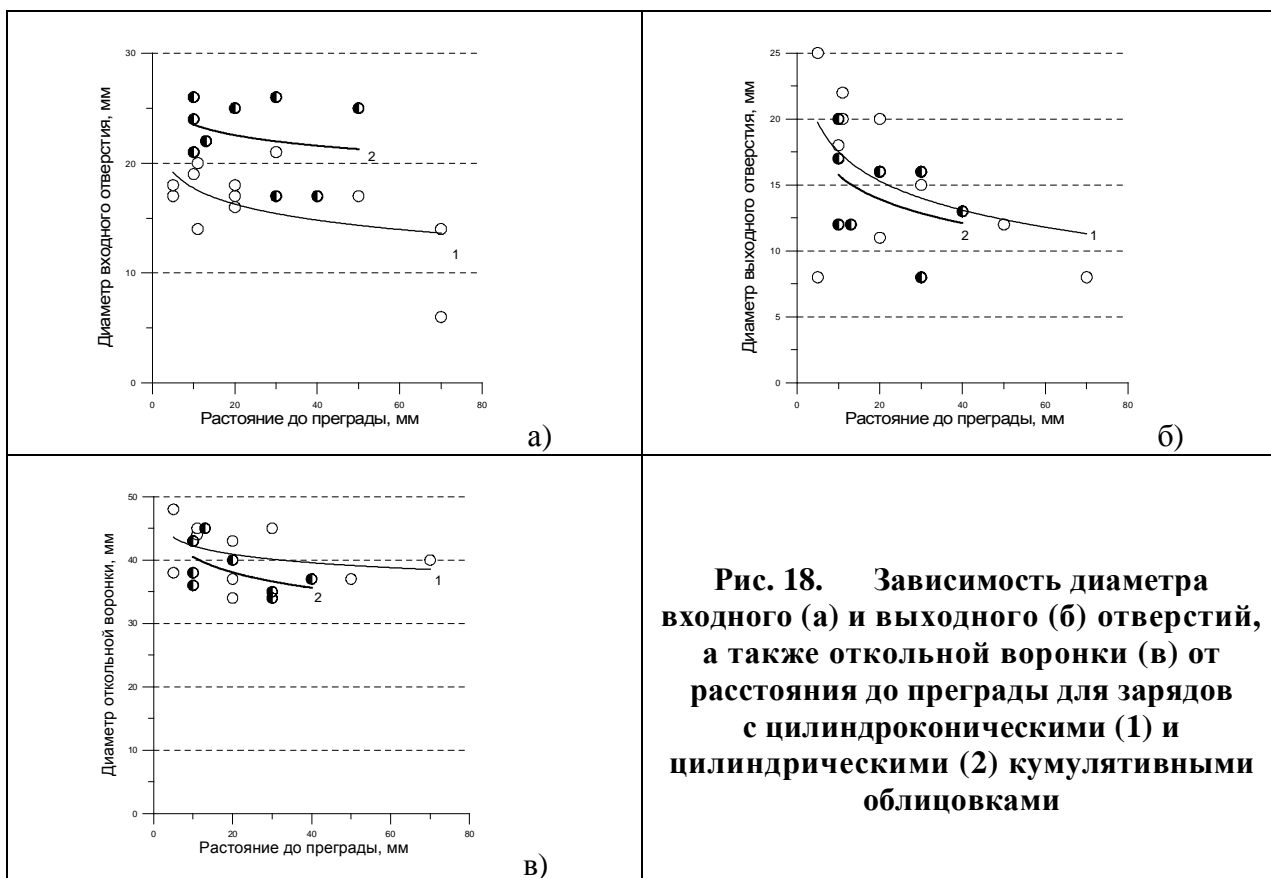


Рис. 18. Зависимость диаметра входного (а) и выходного (б) отверстий, а также откольной воронки (в) от расстояния до преграды для зарядов с цилиндроконическими (1) и цилиндрическими (2) кумулятивными облицовками

- с ростом расстояния до преграды диаметр пробиваемого отверстия медленно уменьшается как для зарядов с цилиндроконическими кумулятивными облицовками, так и для зарядов с цилиндрическими облицовками;
- для зарядов с цилиндроконическими кумулятивными облицовками пробитие сохраняется на большем расстоянии до преграды, чем для зарядов с цилиндрическими облицовками;
- максимальный диаметр входного отверстия у зарядов с цилиндрическими облицовками;

Следующая, третья серия иллюстрирует зависимость бронепробивной способности кумулятивных зарядов с цилиндрической облицовкой от высоты облицовки при постоянной толщине облицовки и расстоянии до преграды 10 мм.

На рис. 19, приведены зависимости диаметра входного, выходного отверстий и откольной воронки от высоты цилиндрической части облицовки. Установлено, что диаметр входного отверстия постоянен и равен калибру цилиндрической части воронки. Диаметр выходного отверстия быстро нарастает и пробитое отверстие приобретает форму цилиндра с диаметром равным калибру воронки. Диаметр

откольной воронки во всех случаях значительно больше и составляет два диаметра цилиндрической части кумулятивной воронки.

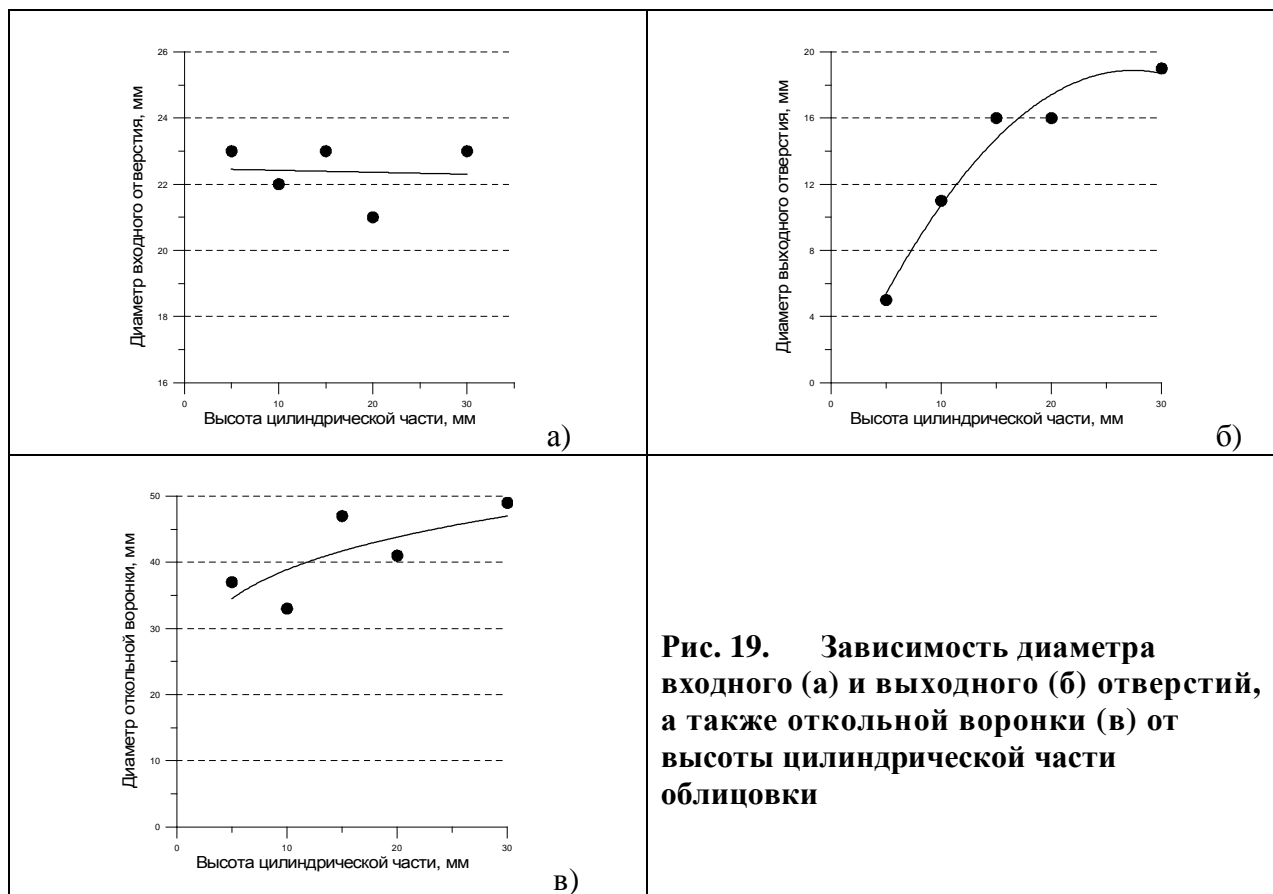


Рис. 19. Зависимость диаметра входного (а) и выходного (б) отверстий, а также откольной воронки (в) от высоты цилиндрической части облицовки

6. Разработка основ теории бронепробивного действия кумулятивных зарядов малого калибра, оснащённых кумулятивными воронками «нетрадиционной» формы

Этим фактам можно дать непротиворечивое объяснение исходя из совместного рассмотрения гидродинамической и феноменологической концепций струеобразования и кратерообразования (рис. 20, 21). Можно предположить, что разрушение преграды в случае воронок "нетрадиционной" формы происходит вследствие двойного удара по преграде.

Теория бронепробивного действия кумулятивного узла с воронкой нетрадиционной формы операется на теорию разрушающего действия заряда с кумулятивной воронкой цилиндрической формы.

Для случая цилиндроконической кумулятивной облицовки струя формируется из конической части облицовки, но на низкоскоростные фрагменты КС обжимается цилиндрическая часть облицовки, формируя низкоскоростной бьющий элемент

большой массы. Высокоскоростная часть струи производит разрушающее действие и осуществляет ударно-волновое нагружение преграды. По нагруженной преграде воздействует низкоскоростной бьющий элемент, обеспечивая тем самым широкие входные отверстия на малых расстояниях. Вследствие большой разницы в скоростях высокоскоростной струи и низкоскоростного элемента (а следовательно и большего времени задержки подхода низкоскоростного элемента к преграде) на больших расстояниях происходит некоторое снижение диаметра входного отверстия.

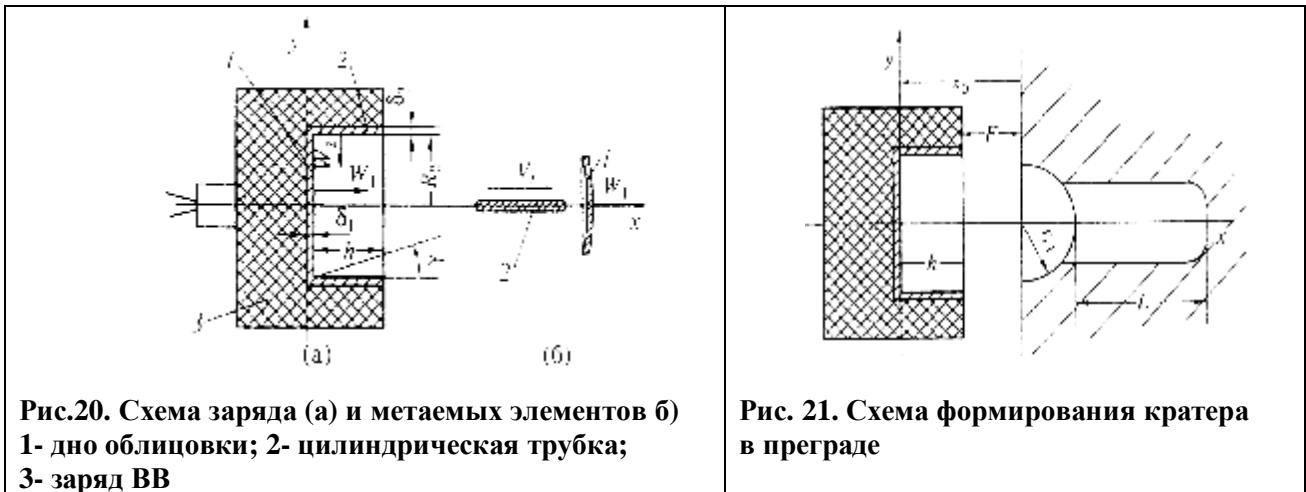


Рис.20. Схема заряда (а) и метаемых элементов б)
 1- дно облицовки; 2- цилиндрическая трубка;
 3- заряд ВВ

Рис. 21. Схема формирования кратера в преграде

В случае цилиндрических кумулятивных облицовок также имеет место похожий механизм воздействия на преграду (см. рис. 21) - двойной удар по преграде. Но сначала воздействие осуществляется низкоскоростным ударником - элементом плоского дна, второй удар производит кумулятивная струя.

Представленная, таким образом, физическая модель процесса пробития, в целом, правильно описывает характер производимых разрушений, диаметр отверстия незначительно превышает расчетный, что связано с влиянием явлений послечения. Обнаруженный эффект позволяет сконструировать боевую часть кумулятивного заряда весьма выгодной формы.

ВЫВОДЫ

1. Анализ основных соотношений теории кумуляции позволяет сделать вывод об отсутствии простой связи между скоростью детонации ВВ и эффективностью кумулятивного заряда. Поэтому предложено использовать в качестве критерия эффективности величину относительного импульса контактного взрыва, как это сделано в работах Дубнова, Пипекина, Ерёменко, и Нестеренко.

2. Показано, что эффективное бронепробитие возможно даже при снаряжении кумулятивных боеприпасов обычными штатными ВВ в калибре боеприпаса до 10мм. Эффективность в зарядах меньшего калибра (до 5мм) может быть обеспечена применением новых современных взрывчатых веществ с повышенной мощностью и высокой детонационной способностью.

3. Разработана методика экспериментальной оценки эффективности кумулятивных зарядов малого калибра. В качестве показателя эффективности предложено использовать относительную глубину пробития по мягкой стали эталонными зарядами, выполненными в габаритах заряда кумулятивного перфоратора ЗПК-103.

4. На примере эталонного заряда малого калибра и веса изучено влияние на бронепробивную способность некоторых важных факторов: состава взрывчатой смеси, плотности боевого заряда и расстояния до преграды.

5. Для зарядов малого калибра установлена связь между относительной глубиной бронепробития и относительным импульсом контактного взрыва в виде соотношения: $L/L_{100} = 0,024I_{отн} - 1,4$. Это позволяет прогнозировать эффективность ВВ, используемых для снаряжения кумулятивных боеприпасов малого калибра.

6. Получены количественные данные о бронепробивной способности, глубине и форме отверстия в стали для кумулятивных зарядов малого калибра, оснащённых воронками традиционной формы: конус, сфера, "ударное ядро" – сферический сегмент, парабола. Изучено влияние конструктивных факторов на эффективность кумулятивного заряда. Полученные результаты позволяют производить обоснованный выбор конструкции кумулятивного узла с заданным характером разрушающего действия.

7. Впервые обнаружен и объяснён качественно новый характер воздействия на преграду кумулятивных зарядов оснащённых воронками «нетрадиционной» формы. При испытании макета заряда в стали формируется отверстие равное калибру боевой части, и мощная воронка откола, не характерная для разрушающего действия кумулятивных зарядов обычной конструкции. При этом вынос металла в запреградное пространство достигает 3 гр. на 1 гр. веса боевого заряда.

8. Результаты проведенных исследований составляют теоретическую основу для создания эффективного боеприпаса малого калибра и веса и могут послужить основой для выполнения в последующем опытно-конструкторских работ.

Основное содержание результатов опубликовано в работах

1. Потапчук С. М., Нгуен Минь Туан, Хотин В. Г., Цвигунов А. Н. Изучение методами физико-химического анализа продуктов взрыва взрывчатых веществ типа $C_aH_bO_cN_d$ // Сборник трудов “Успехи в химии и химической технологии”. М: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005, Том. XIX, № 4, -с.60-63.
2. Нгуен Минь Туан, Устименко В. А., Хотин В. Г. К вопросу о факторах, определяющих эффективность бронепробивного действия кумулятивных зарядов малого калибра // Сборник тезисов XIII международной научно- практической конференции научно-педагогического состава и обучающихся «Предупреждение, спасение, помощь», Академия ГЗМЧС РФ, Химки, 2006, -с. 136-137.
3. Зувев А. В., Нгуен Минь Туан, Хотин В. Г. Использование методов взрывного воздействия в целях дезактивации боеприпасов // Сборник трудов “Успехи в химии и химической технологии”. М: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2006, Том. XX, №4, -с.88- 90.
4. Хотин В. Г., Нгуен Минь Туан, Устименко В. А. Эффективность использования кумулятивных зарядов малого калибра при работах в нефтяных скважинах // Химическая технология, 2007, № 4, -с.182-185.
5. Хотин В. Г., Томашевич И.И., Нгуен Минь Туан., Устименко В. А. Явление кумуляции и его использование во взрывной технике // Под ред. В. Г. Хотина. Учебное пособие. М: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. -88с.

Заказ № 38

Объем 1,2 п.л.

Тираж 100 экз.

Подписано в печать 10 . 5 .07.

Издательский центр РХТУ им. Д. И. Менделеева