

Е. В. Зотов

Электроискровое инициирование жидких взрывчатых веществ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"РФЯЦ – ВНИИЭФ"

Е. В. Зотов

**ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ
ЖИДКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Монография

*Под редакцией доктора технических наук
А. Л. Михайлова*

Саров, 2004

УДК 662.215.4

ББК 35.63

З–88

Е. В. Зотов. Электроискровое инициирование жидких взрывчатых веществ. Монография / Под ред. д-ра техн. наук А. Л. Михайлова. – Саратов: ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ", 2004. – 295 с. – ил.
5-9515-0038-9.

Систематизированы многосторонние экспериментальные исследования явлений в жидких взрывчатых веществах типа окислитель (тетранитрометан, фторнитроформ, азотная кислота) + горючее в результате электрического искрового разряда. Благодаря прозрачности исследованных жидких ВВ с помощью высокоскоростной фоторегистрирующей аппаратуры с наносекундным разрешением удалось проследить последовательные процессы пробоя и развития детонации. Выявлены и исследованы различные механизмы инициирования детонации, зависящие от условий выделения энергии в канале разряда. Продемонстрирована возможность инициирования жидких ВВ незавершенным разрядом. Наибольший интерес представляет ионизационный (высоковольтный) механизм с минимальными энергетическими затратами. Изучено влияние многочисленных начальных факторов на вероятность возбуждения взрыва при пробое, таких как химическое строение компонентов жидких ВВ, их соотношение и химическое взаимодействие, диэлектрические характеристики, температура и давление, тип разряда, параметры инициирующего импульса и т. д.

Монография может быть полезна специалистам, работающим в области физики взрыва, разработки средств инициирования и т. д.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора	6
Перечень сокращений и обозначений	7
Введение	13
Список литературы к введению	24
Глава 1. Физико-химические и детонационные свойства ЖВВ	
и их компонентов.	26
1.1. Литературный обзор	26
1.1.1. Общие замечания по выбору окислителей и горючих	26
1.1.2. Окислители	27
1.1.3. Горючие компоненты	32
1.1.4. Физико-химические свойства ЖВВ	36
1.2. Детонационные характеристики жидких ВВ и других взрывчатых систем на их основе	38
1.2.1. Скорость детонации ЖВВ	38
1.2.1.1. Литературный обзор	38
1.2.1.2. Методики измерений	41
1.2.1.3. Экспериментальные результаты	47
1.2.2. Распространение детонации в тонких слоях ЖВВ	52
1.2.3. Детонация в пористых средах	58
1.2.4. Детонация ЖВВ в порошкообразных инертных средах	61
1.2.5. Некоторые особенности поведения ЖВВ в практических условиях испытаний	68
Список литературы к главе 1	74
Глава 2. Методика эксперимента	78
2.1. Генерирование высоковольтных импульсов	78
2.2. Измерение высоковольтных импульсов	81
2.3. Регистрация оптических процессов, сопровождающих электрический пробой в жидком ВВ	84
2.4. Принципиальные конструкции разрядников	86
2.5. Технология проведения опытов	88
Список литературы к главе 2	89
Глава 3. О механизмах электроискрового инициирования ЖВВ	90
3.1. Обзор механизмов	90
3.2. Ионизационный механизм	91

3.3. Ударно-волновой механизм	92
3.4. Эффект ограничения энергии	96
3.5. О других механизмах	102
Список литературы к главе 3	103
Глава 4. Характеристика ионизационного механизма	
инициирования	104
4.1. Результаты фоторегистрации	104
4.2. Энергетические характеристики ионизационного механизма	112
4.2.1. Выбор критерия электроискрового инициирования ЖВВ	112
4.2.2. Энергетические характеристики ионизационного механизма инициирования	121
4.3. Качественные представления о физике ионизационного механизма инициирования	134
Список литературы к главе 4	140
Глава 5. Иницирование жидких ВВ скользящим разрядом	142
5.1. Особенности скользящего разряда	142
5.2. Влияние диэлектрической подложки и толщины слоя ЖВВ	144
5.2.1. Диэлектрическая проницаемость подложки	144
5.2.2. Толщина слоя ЖВВ	150
5.2.3. Структура подложки	151
5.2.4. Введение дополнительных элементов	154
5.3. Влияние размеров и формы электродов печатных разрядников	158
5.4. Некоторые варианты обеспечения скользящего разряда	166
5.5. Иницирование детонации скользящим разрядом в тонких слоях ЖВВ	170
Список литературы к главе 5	173
Глава 6. Влияние состава ЖВВ на его чувствительность к электроискровому разряду	174
6.1. Соотношение окислитель – горючее	174
6.2. Влияние окислителя	180
6.3. Влияние горючего	182
6.4. Влияние примесей и целевых добавок	188
6.4.1. Общие замечания	188
6.4.2. Качество тетранитрометана	189
6.4.3. Качество нитробензола	191
6.4.4. Качество фторнитроформа	192
6.4.5. Целевые добавки	193

6.5. Химическое взаимодействие компонентов	197
Список литературы к главе 6	201
Глава 7. Влияние внешних условий	202
7.1. Температура	202
7.2. Давление	204
Список литературы к главе 7	212
Глава 8. Электроискровое инициирование тонких слоев ЖВВ ...	213
8.1. Электроискровое инициирование ЖВВ в гетерогенных средах	213
8.2. Щелевой разрядник	217
Список литературы к главе 8	221
Глава 9. Влияние других начальных условий	222
9.1. Межэлектродное расстояние разрядников	222
9.2. Форма и полярность электродов	230
9.3. Длительность фронта импульса	234
Глава 10. Электроискровое инициирование ЖВВ на основе азотной кислоты	237
10.1. Общие замечания	237
10.2. Пробой электролитов. Краткий обзор экспериментальных работ	238
10.3. Проводимость АК и ее растворов	242
10.4. Качественное описание процессов пробоя и возбуждения детонации в ЖВВ на основе азотной кислоты	252
10.5. Влияние конструкции и параметров разрядника на основные характеристики инициирования	257
10.6. Влияние соотношения окислитель/горючее на чувствительность растворов на основе АК к электрическому разряду	266
10.7. Влияние горючего на чувствительность ЖВВ на основе азотной кислоты	268
10.8. Влияние концентрации азотной кислоты на основные характеристики электроискрового инициирования ее растворов с тротилом	270
10.9. Инициирование ЖВВ незавершенным электрическим разрядом (лидерное инициирование)	280
Список литературы к главе 10	290
Заключение	292

емого по границе раздела твердый диэлектрик – жидкое ВВ, в том числе при различном вкладе в энергетику инициирования обеих диэлектрических сред. Для систематического проведения исследований по инициированию ЖВВ целесообразно применение печатных разрядников, изготовленных по методу фотолитографии из фольгированных или напыленных материалов.

Проведенный комплекс исследований электроискрового инициирования разнообразных жидких ВВ в целом расширяет представления о чувствительности энергетических материалов к внешним импульсным воздействиям.

Закономерен вопрос, насколько полны полученные знания о процессе электроискрового инициирования жидких ВВ. По существу, по мнению автора, проведенная работа по целому ряду вопросов только наметила пути развития исследований. Перечислим некоторые из них.

Химическая реакция, переходящая в детонационный процесс, развивается в отдельных, наиболее горячих областях (точках) искрового канала, т. е. температура канала неравномерна как по сечению канала, так и по его длине. Для получения данных о температуре канала (его отдельных участков) необходимо получение спектральных характеристик. Поскольку задержки возбуждения детонации составляют единицы, десятки наносекунд, требуются или электронно-оптические преобразователи с большим коэффициентом усиления по яркости, или фотоэлектронные умножители с большим коэффициентом умножения, имеющие определенную спектральную чувствительность. По-видимому, на современном этапе изучение столь тонких эффектов (имеющих статистический характер, проходящих за столь короткие времена, в таких микроскопических областях и в столь сложной химической среде, которой является жидкое ВВ) пока вряд ли возможно из-за отсутствия соответствующей техники.

Дальнейший шаг в углублении понимания процесса электроискрового инициирования жидких ВВ может быть сделан путем выяснения влияния на инициирование интенсивности энерговода на разных этапах развития разряда, в том числе и к моменту финального скачка лидера. Поскольку речь идет о субнаносекундных экспозициях (временах), синхронизация процесса энерговыделения с финальным скачком может быть обеспечена соответствующей геометрией электродов с учетом скорости распространения электромагнитной волны для выбранного состава. То есть процесс может быть как ослаблен, так и усилен. Определенные выводы могут быть сделаны на основании решения двухмерной задачи замыкания двух электродов ионизированным столбом. Основные трудности при этом, наверное, будут заключаться в выборе коэффициентов потерь энергии на ионизацию и на другие виды взаимодействия электронов

с молекулами и атомами, входящими в состав сложной жидкости. Оптимизация инициирования, по-видимому, возможна и для разрядников со скользящим разрядом (в том числе для печатных разрядников), однако она будет усложнена целым рядом факторов: соотношением нормальной и тангенциальной составляющих электрического поля, формой сечения канала разряда, наличием в области разряда твердого диэлектрика с различной электрической прочностью и т. д. Задача при этом становится сугубо трехмерной. Вопросы электроискрового инициирования жидких ВВ в тонких слоях, заключенных между двумя слоями диэлектрика, в научном плане являются еще более сложными, чем при скользящем разряде по одной границе раздела, поскольку связаны с электрофизическими процессами в многослойной диэлектрической среде и с газодинамическими процессами в многослойной среде в общем случае с различными акустическими импедансами.

Совершенно очевидно, что многие исследования необходимо проводить в тесном сотрудничестве со специалистами – химиками. Об этом свидетельствуют экспериментальные результаты, в которых фиксировались зависимости от времени как электропрочности приготовленных жидких ВВ, так и их чувствительности (причем и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения). Исключительно тонким является вопрос влияния примесей, он вообще требует специального рассмотрения с использованием точных средств химического анализа.

Нами намечены только вопросы электроискрового инициирования при повышенных давлениях, когда были зафиксированы взрывы с очень большими задержками (сотни микросекунд). Для развития этих исследований редакция первых опытов очевидна: заполнение бронекамеры высокого давления другими газами (аргон, азот и т. д.), введение дополнительной фоторегистрации, изменение состава ЖВВ и т. д. Полностью в стороне остались исследования чувствительности к электроискровому разряду индивидуальных ЖВВ, и здесь также могут быть получены весьма интересные и неожиданные результаты.

Таким образом, для развития представлений о поведении жидких ВВ при приложении к ним электрического импульса напряжения возможностей очень и очень много.

Абсолютно темной областью является инициирование жидких ВВ при их лазерном пробое. По мнению автора, при этом могут быть получены результаты, часть которых будет значительно совпадать с результатами, приведенными в настоящей монографии.

Евгений Владимирович Зотов

Электроискровое инициирование жидких взрывчатых веществ

Монография

Редактор *В. М. Тагирова*

Корректор *М. В. Кривова*

Компьютерная подготовка оригинала-макета *С. Н. Фролова*

Подписано в печать 25.06.94 Формат 60х84/16 Печать офсетная

Уч. изд. л. 17 Усл. печ. л. 17,7 Тираж 250 экз.

Зак. тип. 326-2004 ПД № 00568 от 22.05.2000

Отпечатано в ИПК ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ"
607190, г. Саров Нижегородской обл.