МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра химии и технологии органических соединений азота

Л.А. Лоскутова, А.С. Козлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНИЦИИРУЮЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ К УДАРУ И ЛУЧУ ОГНЯ

методические указания

Санкт-Петербург

-2002-

УДК 541.427.6

Лоскутова Л.А., Козлов А.С. Определение чувствительности инициирующих ВВ к удару и лучу огня.: Методические указания. СПбГТИ(ТУ): СПб, 2002-13 с.

Изложены теоретические основы возбуждения взрывного процесса энергоемких систем в условиях механических и тепловых воздействий; приведены факторы, влияющие на уровень чувствительности ЭМ.

Рассмотрены стандартные методы определения чувствительности ИВВ к удару и лучу огня.

Методические указания предназначены для студентов IV курса и соответствуют программе курса “Химическая физика энергоемких материалов”.

Ил. 7, библиогр. 4 назв.

Рецензент:

Королев Д.В. канд. техн. наук, ст. преп. каф. высокоэнергетических процессов СПбГТИ(ТУ)

Утверждено на заседании учебно-методической комиссии факультета тонкого органического и микробиологического синтеза СПбГТИ(ТУ), протокол № 7 от 28 мая 2002 г.

Рекомендовано к изданию РИСо СПбГТИ(ТУ)

Содержание

Введение..... 4
1. Чувствительность взрывчатых систем к внешним воздействиям ……... 4
1.1 Виды начальных импульсов……... 4
1.2 Чувствительность ВВ к механическим воздействиям.....…… 5
1.2.1 Механизм возбуждения взрывного процесса в условиях механических воздействий ……... 5
1.2.2 Механизм образования локальных очагов разогрева ……... 6
1.2.3 Зависимость чувствительности к механическим воздействиям от различных факторов …….. 7
1.3 Чувствительность ВВ к тепловым воздействиям …… 8
2. Экспериментальное определение чувствительности ИВВ к удару и лучу огня …… 8
2.1 Определение чувствительности ИВВ к удару на копре Велера …… 8
2.1.1 Подготовка навесок ИВВ к испытаниям ……. 9
2.1.2 Проведение испытаний на копре Велера …… 10
2.2 Определение чувствительности ИВВ к лучу огня ……. 11
Литература …… 12

Введение

Инициирующие взрывчатые вещества (ИВВ) являются основой средств инициирования. Одними из основных параметров ИВВ являются чувствительность к механическим воздействиям и чувствительность к лучу огня.

В работе рассмотрены современные методы определения чувствительности ИВВ к механическим воздействиям и к лучу огня.

1. Чувствительность взрывчатых систем к внешним воздействиям

Наличие у взрывчатых веществ (ВВ) взрывчатых свойств определяет лишь потенциальную возможность их взрывчатого превращения. Чтобы эта возможность реализовалась, необходимо произвести на ВВ воздействие, способное вызвать в нем горение или взрывчатое превращение. Такие воздействия называются начальными или инициирующими импульсами. Способность ВВ реагировать на внешние воздействия возникновением химического превращения в форме горения или взрыва называется чувствительностью ВВ к внешним воздействиям.

Чувствительность ВВ - важнейшая характеристика, нередко определяющая как принципиальную возможность технического применения ВВ, так и области применения. К оценке чувствительности подходят с двух позиций:

- с точки зрения безотказности возбуждения ВВ конкретным начальным импульсом, в случаях, когда возбуждение носит преднамеренный характер;
- с точки зрения оценки степени опасности обращения с конкретной ВС в случаях, когда внешнее воздействие носит случайный характер.

Требования по чувствительности ВС с позиций безотказности и безопасности прямо противоположны, поэтому требования по чувствительности, предъявляемые к различным ВВ с учетом их назначения, различны. Таким образом ВС должны обладать оптимальной чувствительностью к внешним воздействиям.

1.1 Виды начальных импульсов

В качестве начальных импульсов могут выступать различные виды воздействий, т.е. различные формы энергии:

- тепловая (контактный нагрев, открытый огонь)
- механическая (статический удар, трение, накол)
- электрическая
- энергия излучения (лазерное, инфракрасное, рентгеновское)
- детонационный импульс, т.е. энергия взрыва ВВ
- ударно-волновое воздействие
- ультразвуковые волны
- энергия ядерных частиц
- механические динамические воздействия (сверхзвуковой удар)
- и др.

Любое внешнее воздействие сводится к тому, что ВВ получает извне энергию. Вероятность возбуждения взрывного процесса под воздействием того или иного начального импульса зависит от свойств взрывчатой системы, а также от общего количества энергии, полученной взрывчатой системой, характера распределения этой энергии в заряде, времени подведения энергии. Иными словами, вероятность возбуждения определяется как природой ВВ и свойствами заряда, так и характером и условиями воздействия начального импульса. ВВ

обладают избирательной чувствительностью к различным начальным импульсам, например, азид свинца более чувствителен к механическим воздействиям, чем гексоген, но менее чувствителен к контактному нагреву по сравнению с гексогеном. Поэтому чувствительность к внешним воздействиям классифицируют по видам начального импульса т.е. рассматривают чувствительность к удару, лучу огня, ударной волне и т.д.

1.2 Чувствительность ВВ к механическим воздействиям

Одним из самых распространенных в практике видов начального импульса является механическое воздействие (удар, трение, накол).

Чувствительность к удару и трению порохов, смесевых твердых ракетных топлив, бризантных ВВ (БВВ) исследуется только с целью оценки степени опасности обращения с ними в условиях производства, переработки, снаряжения, транспортировки и т.п., где избежать механического воздействия практически невозможно.

Чувствительность инициирующих ВВ (ИВВ) к механическим воздействиям исследуется как для оценки уровня их опасности, так и для оценки безотказности их срабатывания от удара, трения, накола.

При разработке методов и выборе критериев оценки чувствительности к механическим воздействиям, как правило, руководствуются существующими представлениями о механизме возбуждения и развития взрывного процесса в условиях конкретных механических воздействий, а также учитывают факторы, способные оказать заметное влияние на уровень чувствительности ВС к механическим воздействиям.

1.2.1 Механизм возбуждения взрывного процесса в условиях механических воздействий

Существует тепловая и нетепловая теории возбуждения взрыва при механических воздействиях.

Согласно **нетепловой** теории (Г. Каст, В. Тейлор, А. Уиль, А. Убеллоде и др) взрыв происходит в результате активации молекул ВВ без тепловой стадии. По одной модели активация происходит под влиянием критических напряжений всестороннего сжатия, за счет которого разрушаются молекулы ВВ - теория критических напряжений. По другой модели активация молекул происходит на поверхностях трения, где в условиях механических воздействий за счет возникающих сдвиговых напряжений происходит разрушение внутримолекулярных связей - трибохимическая гипотеза.

По современным представлениям, невозможность реализации трибохимических реакций обусловлена тем, что внутримолекулярные связи значительно прочнее межмолекулярных. Поэтому при возникновении в заряде сдвиговых напряжений в первую очередь разрушатся межмолекулярные связи.

Что касается теории критических напряжений, то по данным Бриджмена ВВ могут выдерживать колоссальные статические давления всестороннего сжатия (до сотен тысяч атмосфер) не возбуждаясь при этом, а при ударе и трении взрываются от давлений не превышающих десятка тысяч атмосфер.

Согласно **тепловой** теории (Бертло, Харитон, Беляев, Боуден, Иоффе и др.) под влиянием механических воздействия происходит разогрев ВВ, вызывающий его химическое превращение. Тепловая теория опирается на теорию локальных разогревов, или, что то же самое, теорию "горячих точек”. Последняя основывается на том, что заряд ВВ по своей структуре неоднороден. В нем имеются пустоты, области повышенной плотности, частицы ВВ различной формы и размера, примеси, добавки и т.п. В условиях механических воздействий из-за неоднородности заряда возникает неоднородное поле напряжений, в результате чего энергия распределяется не равномерно по всему заряду, а концентрируется в отдельных

его точках, в которых и возникают локальные очаги разогрева ВВ. В этих "горячих точках" происходит термическое разложение ВВ, которое по достижении критических условий завершается тепловым взрывом.

По оценкам Боудена и Иоффе размер “горячих точек", приводящих к взрыву, составляет 10^{-3} -10^{-5} см, а температура соответственно T = 700 - 900^0 К. При этом продолжительность воздействия должна быть больше времени задержки воспламенения в "горячей точке".

1.2.2 Механизм образования локальных очагов разогрева

В зависимости от природы ВВ и условий деформации заряда при механических воздействиях возможна реализация различных механизмов образования "горячих точек".

Механизм адиабатического сжатия газовых включений

Этот механизм может реализоваться в жидких, пластичных и эластичных ВВ, в литых зарядах поликристаллических ВВ, т.е. в ВС, которые могут содержать внутри заряда замкнутые газовые включения, нередко заполненные парами ВВ.

При ударе по заряду ВВ происходит адиабатическое сжатие газовых включений, их разогрев и, по достижении критических условий теплового взрыва, возбуждение взрывного процесса.

Механизм разогрева при вязком истечении ВВ

Этот механизм может реализоваться в жидких, пластичных и низкоплавких ВС при их быстром истечении через узкие зазоры между поверхностями, или через узкие фильеры в процессе ударного воздействия.

Механизм сухого трения между кристаллами ВВ

Этот механизм наиболее вероятен для поликристаллических ВС. При механических воздействиях происходит прочностное разрушение заряда. При этом на поверхности разрыва в результате сухого трения образуются локальные очаги разогрева. Возбуждение взрывного процесса может произойти лишь в том случае, если среднее давление всестороннего сжатия $(\overline{P})$ в заряде достигает некоторого критического значения $(\overline{P}_{кр})$, при котором температура плавления ВВ будет равна или больше критической температуры возбуждения взрыва в локальном очаге.

Температура плавления, как известно, является функцией давления

$$T_{пл\ p} = T_{пл\ p=1} + a*P \quad , \ (1.1)$$

где $a \approx 2 \cdot 10^{-2}\ {}^{град}\!/_{атм}$.

В условиях механических воздействий за счет развивающегося давления температура плавления существенно возрастает и вспышка наступает раньше, чем плавление вещества. Поэтому первое критическое условие возбуждения взрыва записывается в виде неравенства

$$\overline{P} \geq \overline{P}_{крит} \ , (1.2)$$

это соотношение называется "условием критических напряжений".

Если это условие не выполняется, то происходит прочностное разрушение заряда ВВ, без вспышки.

Кроме того, давление $\overline{P}$, развивающееся в заряде при механическом воздействии, должно быть, по крайней мере, равным давлению разрушения заряда, $\overline{P}_{пр}$, таким образом

вторым критическим условием возбуждения взрыва является неравенство:

$$\overline{P} \geq \overline{P}_{пр.} \quad , (1.3)$$

$$P_{прочн} = \sigma_{пр} \cdot \left(1 + \frac{D}{3\sqrt{3} \cdot h}\right) \quad , \quad (1.4)$$

где $\sigma_{пр}$ -предел прочности заряда;

h - высота заряда;

D -диаметр заряда.

Неравенство (1.3) называется “условием прочности”. Если не выполняется условие прочности, при ударе происходит упругое сжатие заряда без разогрева. Взрыв при ударе по заряду ВВ возникает только при одновременном выполнении обоих условий: $\overline{P} \geq \overline{P}_{крит}$ и $\overline{P} \geq \overline{P}_{пр}$.

При любом механизме образования локальных очагов разогрева возбуждение взрывного процесса может произойти только при условии деформации заряда ВВ, причем деформация должна протекать за сравнительно короткий промежуток времени, $\tau = 10^{-3}$ –и менее.

1.2.3 Зависимость чувствительности к механическим воздействиям от различных факторов

Чувствительность ВВ к механическим воздействиям зависит от их состава и строения, кинетических характеристик ВВ, теплофизических и механических характеристик заряда, размера и дефектности кристаллов, в некоторых случаях от кристаллической модификации и др.

Чрезвычайно значительную роль при этом могут играть случайные примеси и различного рода технологические добавки. Примеси и добавки в зависимости от их природы могут повышать или понижать чувствительность ВС к механическим воздействиям. Вещества, повышающие чувствительность, принято называть сенсибилизаторами, а понижающие чувствительность – флегматизаторами.

Сенсибилизаторами, как правило, являются вещества с высокой температурой плавления и большой твердостью (кварцевый песок, битое стекло, металлические порошки, опилки, стружки и т.п.). Важную роль при этом играют размер и форма такого рода частиц: особую опасность представляют частицы с острыми рваными краями. Подобные примеси способствуют увеличению неоднородности структуры заряда, повышают коэффициент трения, тем самым способствуют увеличению числа "горячих точек" с критическими параметрами, т.е. увеличивают вероятность возникновения взрыва.

Необходимо иметь ввиду, что особую опасность представляют инертные примеси, которые в условиях локального очага разогрева химически взаимодействуют с ВВ со значительным тепловыделением. К числу таких примесей относятся порошки химически активных металлов, таких, например, как цирконий, гафний, а также окислители, вводимые в состав БВВ.

Флегматизаторы - это мягкие вещества с низкой температурой плавления, такие, как парафин, церезин, воски, каучуки, масла, ПАВы и т.п.

Обволакивая частицы ВВ тонкой пленкой, они снижают коэффициент трения между частицами ВВ, делают заряд более однородным, отбирают на себя часть тепла, тем самым снижая вероятность образования локальных очагов разогрева с критическими параметрами.

Существует направление химической флегматизации, когда в состав ВВ вводятся добавки, химически связывающие активные центры в "горячих точках".

1.3 Чувствительность ВВ к тепловым воздействиям

Тепловое воздействие на ВВ может проявляться либо в форме контактного нагрева, либо в форме действия открытого пламени. В последнем случае воспламеняющими агентами, в зависимости от источника пламени могут быть либо раскаленные газы, либо раскаленные конденсированные частицы. В области практического применения энергоемких материалов, а также в исследовательской практике, связанной с испытаниями ВВ широко применяются огневой способ инициирования капсюлей детонаторов, в котором инициирование КД производится лучом огня от огнепроводного шнура (ОПШ), а также электрический способ взрывания, в котором чаще всего, в качестве воспламеняющего агента ИВВ используется пламя от горящего пиротехнического состава (ПС). Для создания безотказно действующих средств инициирования необходимо знать чувствительность ИВВ к лучу огня. Практика показывает, что в случае инициирования лучом огня от ОПШ или ПС основным воспламеняющим агентом являются раскаленные частицы черного пороха или ПС. Для оценки относительной чувствительности к лучу огня ИВВ существует стандартный метод, в котором инициирование ИВВ производится лучом огня от ОПШ. Вероятность воспламенения при действии луча огня на заряд ИВВ зависит от большого числа различных факторов: химическая природа ИВВ, теплофизические характеристики заряда (теплоемкость, теплопроводность), характер поверхности заряда ИВВ, размер горящих частиц пороха, влажность, температура и т.д.

Если теория зажигания таких систем как пороха, ракетные топлива разработана достаточно глубоко, то теория зажигания зарядов ИВВ разработана крайне слабо. Однако по аналогии с зажиганием твердых ракетных топлив пировоспламенителями можно утверждать, что воспламенение зарядов ИВВ – это нестационарный процесс протекающий при интенсивном подводе энергии от внешнего источника – продуктов горения воспламенителя. При этом процесс теплообмена происходит в результате излучения и соударения горячих конденсированных частиц, содержащихся в продуктах горения воспламенителя с поверхностью заряда ИВВ. При этом наиболее вероятна тепловая теория воспламенения, согласно которой скорость процесса воспламенения определяется температурой твердой фазы []. Что касается количественной теории зажигания, она разработана я рядом допущения и упрощений и учитывает специфику и условия воспламенения только твердых ракетных топлив.

С учетом всего вышеизложенного методика определения к лучу огня ИВВ - это упрощенный статистический метод, применяющийся для характеристики относительной чувствительности нового вещества по сравнению с чувствительностью к лучу огня штатных ИВВ.

2. Экспериментальное определение чувствительности ИВВ к удару и лучу огня

2.1 Определение чувствительности ИВВ к удару на копре Велера

Чувствительность к удару ИВВ определяется в соответствии с ОСТ на копрах двух типов – на копре К-44-1 или на копре Велера, масса грузов 0.2-0.5 кг. В данных методических указаниях излагается вариант определения чувствительности к удару на копре Велера.

Общий вид копра Велера приведен на рис.1. Копер Велера состоит из плиты (1), стальной наковальни (2), измерительной дуги с делениями для установки высоты сбрасывания груза (3) и вращающегося на шарнире рычага с грузом закрепленным на дуге (4), направляющей вилки (5), защитной скобы с направляющим отверстием для бойка (6).

2.1.1 Подготовка навесок ИВВ к испытаниям

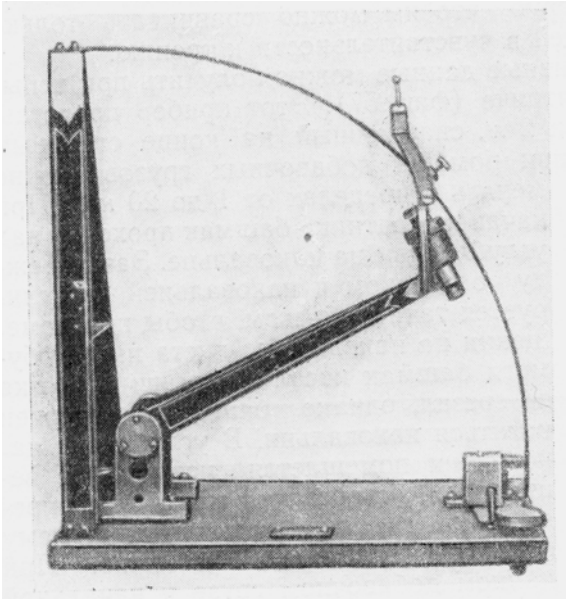

Рис. 1. Общий вид копра Велера

Испытания зарядов ИВВ на копре Велера проводятся в колпачках от капсюля воспламенителя в запрессованном виде, масса навески ИВВ 0.02 г. Навески берутся объемным методом с помощью калиброванной мерочки из оргстекла или фторопласта.

Прессование ИВВ производят на рычажном прессе в специальной сборке, состоящей из: поддона, матрицы, направляющей муфты, пуансона. Порядок прессования: ИВВ в количестве 0.02 г насыпается в колпачок; снаряженный колпачок помещается в матрицу, поставленную на поддон; поверхность ИВВ накрывают кружком из фольги; сборка накрывается направляющей муфтой, после чего вводится пуансон. Перед прессованием необходимо произвести внешний осмотр сборки. При наличии заусениц, царапин или других механических повреждений на трущихся поверхностях сборку необходимо заменить. Прессование производится на рычажном прессе, схема которого приведена на рис 2. Пресс состоит из рычага для подвешивания груза, верхней и нижней цилиндрических опорных втулок между которыми производится прессование заряда и рычага-рукоятки для приведения пресса в действие. Пресс снабжен защитным приспособлением, обеспечивающим безопасность в работе.

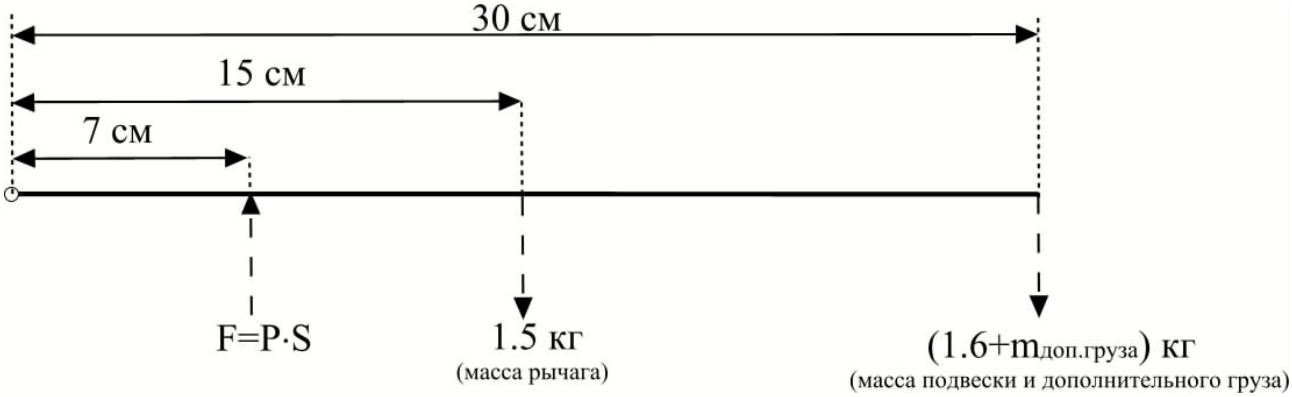

Рис. 2. Схема рычажного пресса

Для достижения нужного давления прессования на рычаг для груза крепится подвеска, на которую помещается груз определенной массы. Прежде чем приступить к прессованию, необходимо рассчитать удельное давление прессования, соответствующее данной массе груза. При прессовании ИВВ удельное давление прессования не должно превышать 500 кг/см^2. Чтобы запрессовать ВВ под давлением Р кг/см^2, нужно приложить к пуансону силу F, равную:

$$F = P \cdot S \quad (2.1)$$

где S - площадь пуансона в см^2.

Эта сила обеспечивается давлением, производимым массой рычага для груза, массой подвески и массой дополнительного груза.

Масса рычага равна 1.5 кг, а центр его тяжести находится на расстоянии 15 см от оси

крепления рычага; подвеска, масса которой равена 1.6 кг, и дополнительный груз (10 кг; 5 кг; 2 кг: 1 кг) находятся на расстоянии 30 см, а пуансон, к которому приложена сила F = P.S, - на расстоянии 7 см от крепления рычага. Из равенства моментов следует, что

$$1.5 \cdot 15 + (1.6 + m_{доп.груза}) \cdot 30 = P \cdot S \cdot 7\,, \quad (2.2)$$

следовательно

$$P = \frac{1.5 \cdot 15 + (1.6 + m_{доп.груза}) \cdot 30}{S \cdot 7} \ {}^{кг}/_{см^2}\,, \quad (2.3)$$

или, для достижения необходимого удельного давления прессования P ($^{кг}/_{см^2}$) необходима масса дополнительного груза (в кг):

$$m_{доп.груза} = 0.233 \cdot P \cdot S - 2.35\,. \quad (2.4)$$

После того, как груз рассчитан и подвешен на рычаг, снаряженный прессинструмент ставится на площадку нижней втулки пресса, после чего плавно нажимается рукоятка пресса, до тех пор, пока рычаг с грузом не начнет подниматься. Для снятия давления рукоятка плавно отпускается. Во время прессования исполнитель должен находиться за защитой пресса. После прессования сборка снимается с пресса и разбирается на специальном приспособлении, укрепленном на столе рычажного пресса.

2.1.2 Проведение испытаний на копре Велера.

Рис. 3. Схема определения чувствительности ИВВ в ударе

Снаряженный колпачок с помощью центрующей вилки вдвигается на наковальню копра, накрывается сверху защитной скобой и после чего в гнездо направляющей осторожно вводится боек. Груз копра с помощью фиксатора устанавливается на необходимой высоте и сбрасывается на боек. В процессе испытаний может разрушиться жало бойка, поэтому после каждого опыта необходимо проверять рабочую поверхность бойка, и если она или деформирована, боек заменить новым.

В процессе проведения испытаний либо снимают кривую чувствительности: зависимость % взрывов от высоты падения груза (H), либо непосредственно находят верхний (H_{100}) и нижний пределы чувствительности (H_0) находя каждую точку на кривой чувствительности из определенного числа испытаний (не менее 10).

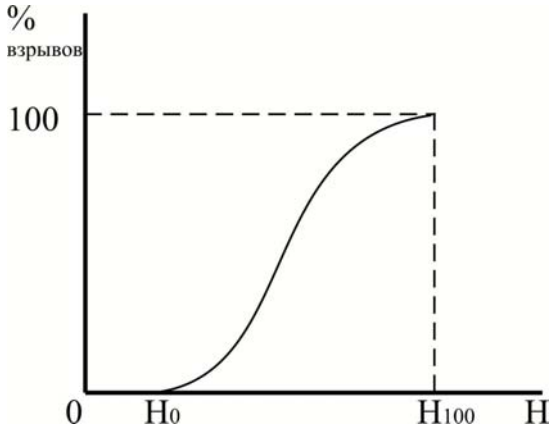

Рис. 4. Общий вид кривой чувствительности ИВВ к наколу

Нижний предел чувствительности, предел безопасности, H_0 – максимальная высота сбрасывания груза при которой ни одна проба ВВ, взятая для испытаний, не возбуждается.

Верхний предел чувствительности, предел безотказности, (H_{100}) – минимальная высота падения груза, при которой все пробы, взятые для испытаний, возбуждаются

Для оценки относительной чувствительности к удару новых ИВВ найденные пределы чувствительности ИВВ сравниваются с таковыми для штатных ИВВ.

2.2 Определение чувствительности ИВВ к лучу огня

При изучении чувствительности к лучу огня инициирующее ВВ испытывают, в зависимости от поставленной задачи, в запрессованном или насыпном виде. Технология прессования изложена в разделе 2.1.1. Испытания проводятся на специальном приборе, общий вид которого приведен на рис. 5, а схема рабочего узла на рис. 6.

Испытания проводятся в стандартных колпачках от капсюля воспламенителя. Масса одной навески 0.02 г., навески берутся объемным методом с помощью калиброванных мерочек из огрстекла или фторопласта. Для проведения испытаний снаряжается 20-30 колпачков. При необходимости подпрессовки заряда операция проводится без применения фольги. При проведении испытания ОПШ закрепляется в держателе с помощью прижимного винта, при этом необходимо следить, чтобы нижний его срез совпадал с нижним уровнем держателя, а верхний, косой, срез шнура для удобства поджигания был обращен в сторону исполнителя.

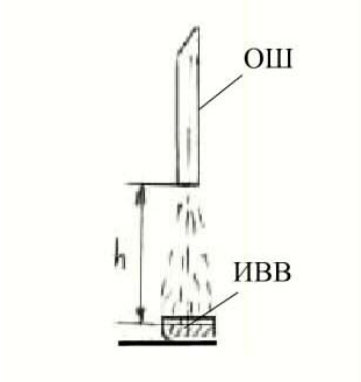

Рис. 6. Схема рабочего узла установки для определения ЧЛО

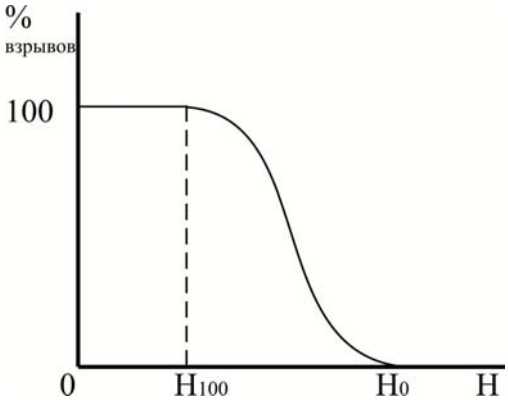

Рис. 7. Общий вид кривой чувствительности ИВВ к лучу огня

Рис. 5 Общий вид прибоа для определения ЧЛО

При проведении испытаний в углубление столика прибора помещается снаряженный колпачок, после чего производится поджигание ОПШ. Первые опыты рекомендуется начинать с высоты 2-3 см. В процессе испытаний снимается кривая чувствительности, зависимость % взрывов от расстояния между поверхностью заряда ИВВ и нижним срезом ОПШ (Н) или непосредственно находят нижний и верхний пределы чувствительности. Количество параллельных опытов на каждой высоте – не менее десяти. Общий вид кривой чувствительности приведен на рис. 7.

Оценка чувствительности проводится путем сравнения соответствующего предела с таковым для штатного ИВВ.

Литература

1. Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. М. Наука, 1975. – 704 с.
2. Челышев В.П.Основы теории взрыва и горения. М.:МО СССР,1981
3. Андреев С.Г., Соловьев В.С. Основы теории чувствительности энергетических материалов.М.: ЦНИИТИ,1985
4. Лоскутова Л.А., Егоров А.П. Химическая физика взрывчатых систем.СПб:СПбГТИ(ТУ), 2001

Кафедра химии и технологии органических соединений азота

методические указания

Определение чувствительности инициирующих
взрывчатых веществ к удару и лучу огня

Лариса Алексеевна Лоскутова
Анатолий Сергеевич Козлов

Подготовка оригинал-макета Козлов А.С., Лоскутова Л.А.

Отпечатано с оригинал-макета
Формат 60 X 90 $^{1}/_{16}$ Печ. л. Тираж экз. Зак. №

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(Технический университет), РТП ИК “Синтез”

198013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26