

**Фрейман А.**

# **Краткий курс пиротехники**

**Москва**  
**«Книга по Требованию»**

УДК 62-63  
ББК 30.6  
Ф86

Ф86      **Фрейман А.**  
Краткий курс пиротехники / Фрейман А. – М.: Книга по Требованию, 2013. – 151 с.

**ISBN 978-5-458-24978-2**

В книге кратко изложена теория пиротехники, описаны пиротехнические составы сырье и вспомогательные материалы, а также приведены основные сведения об устройстве, действиях и технологии пиротехнических средств. В издаваемой книге собраны и систематизированы все основные материалы по пиротехнике, что дает возможность использовать ее в качестве учебного пособия для слушателей техникумов сети рабочего образования.

**ISBN 978-5-458-24978-2**

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## ГЛАВА I

### ВВЕДЕНИЕ

#### § 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Пиротехника — специальная отрасль техники, к области которой относятся производство и изучение различных веществ и смесей веществ, образующих при сгорании цветной или яркий белый огонь, дым или дающих звуковые эффекты и зажигательное действие.

Слово «пиротехника» происходит от греческих слов «пир» (огонь) и «техне» (искусство, ремесло) и означает умение изготавливать горючие изделия.

Эта отрасль техники получила быстрое развитие сравнительно недавно. Бурное развитие военной промышленности во всех странах в начале XX века вызвало и быстрое развитие пиротехники.

Пиротехнические изделия делятся на две основные группы: 1) изделия военной пиротехники, 2) изделия мирной пиротехники.

Военная пиротехника занимается изучением и изготовлением осветительных, зажигательных, сигнальных, трассирующих и имитационных средств. Мирная пиротехника занимается изучением и изготовлением средств для фейерверков.

#### § 2. КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Огнем как средством защиты и нападения люди пользовались еще в глубокой древности. Огневые средства в военных целях применялись задолго до нашей эры. Впервые их использовали китайцы, войска которых были снабжены «огненными повозками». Эти повозки представляли собой метательные машины, которые выбирали горшки с горящим зажигательным составом и горящие шары.

Огонь служил также и для целей сигнализации. Дикари пользовались кострами для передачи сообщений на большие расстояния. Древние персы создали систему сигнализации при помощи факелов; эта система положила начало развитию современных методов оптической сигнализации, которая применяется и до настоящего времени.

Более подробные сведения о древней пиротехнике можно найти в описаниях Энея, жившего за 360 лет до нашей эры. Он описывает зажигательный состав из смолы, серы, ладана, пакли и стружек, который подожженным в горшках выбрасывали на войска неприятеля.

В литературе, относящейся к концу IV в. нашей эры, встречаются описания зажигательных стрел с оболочками, наполненными горючими веществами (смолой, серой, паклей, нефтью). Нефть как горючее и зажигательное средство применяли еще во времена Александра Македонского.

Начиная приблизительно с VII в. появляются сообщения о «греческом» и «морском» огне.

Греки готовили составы для этого огня из смеси различных легковоспламеняющихся веществ. Рецепты таких составов ранились в глубокой тайне, — они обеспечивали византийцам победы над врагами. В эти составы входили сера, винный камень, клей, смола, нефть и другие горючие вещества. Иногда в эти составы входила негашеная известь, вызывавшая самовоспламенение состава при соприкосновении его с водой. Составы с негашеной известью обычно имели удельный вес меньше единицы и могли держаться на воде. Самовоспламенение этих составов при соприкосновении с водой объясняется тем, что под действием тепла, выделяющегося при гашении извести, воспламеняются легко горючие компоненты состава, в частности, легкие углеводороды, находящиеся в сырой нефти.

«Морской» огонь состоял из перемешанных в спирте порошкообразной серы, винного камня, поваренной соли. Горящим «морским» огнем обливали корабли противника с помощью «сифонов».

Твердые горящие составы в глиняных сосудах выбрасывались на противника метательными машинами.

Однако метание зажигательных составов на большие расстояния было затруднительно. Позднее для этой цели использовали животных и птиц. К ним привязывали сосуды с зажигательными составами, составы поджигали и животных или птиц направляли во враждебные укрепления. Но использование животных и птиц было небезопасно: они могли занести пламя и в войска или строения той стороны, которая их использовала для нанесения ущерба противнику. Например, в 1422 г. лагерь гуситов сгорел от своих птиц с горящими сосудами, пущенными во враждебный стан.

Для поджогов на территории противника применяли также зажигательные движущиеся пиротехнические изделия (типа ракеты), снаряженные зажигательным составом.

Однако горение известных в то время зажигательных средств на воздухе не давало достаточного эффекта: пламя можно было сравнительно легко потушить. Применение веществ, содержащих кислород, например селитры, значительно увеличило возможности пиротехники. По литературным данным, селитра из Китая была завезена приблизительно в XIII в. в магометанские страны. Ко второй половине XIII в. относятся сообщения о появлении нового состава из серы, селитры и угля, т. е. черного пороха, который, очевидно, вначале использовался как зажигательное средство. В XIV в. в Германии появились первые орудия, основанные на балистическом применении черного пороха.

Развитие пиротехнических средств шло по пути подбора составов и регулирования их действия на основе, главным образом,

опытных данных. Появились такие средства воспламенения, как фитили, стопин и др.; зажигательные средства выбрасывались с помощью пороха. Позднее применялись специальные ракеты (зажигательные, системы Конгрэва) и другие изделия боевой пиротехники.

Развитие пиротехники шло и по линии фейерверков. Индусы издавна устраивали фейерверки в дни религиозных праздников. Первый в Европе фейерверк был сожжен в Италии в конце XIV в. В XV—XVII вв. фейерверки применяли в европейских странах в качестве народного увеселения. Они имели большой успех. В те времена для фейерверков употребляли селитро-серные составы, которые давали очень слабо окрашенные огни. Только в XIX в., после открытия хлорноватокалиевой соли, стали появляться яркие фейерверочные огни различных цветов. Во второй половине XIX в. для фейерверков начали применять магний.

В России устройство фейерверков началось с XVIII в.

### § 3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПИРОТЕХНИКИ

К началу империалистической войны 1914 г. на вооружении уже было немало различных пиротехнических изделий. Например, в Германии в 1918 г. было выработано около 6 млн. осветительных и сигнальных патронов 4-го калибра. Во время войны выявилось большое значение различных средств военной пиротехники. По силе морального воздействия на людей и по своему разрушительному действию зажигательные средства представляют собой очень мощное и грозное оружие.

С развитием авиации большое значение приобрели зажигательные авиабомбы, которые позволяют устраивать пожары в тылу противника. В 1917—1918 гг. город Реймс был бомбардирован зажигательными бомбами; от них Реймс пострадал больше, чем за все время войны. Зажигательные средства вызывают массовые пожары в крупных городах.

Ведение современного боя в ночное время вызывает необходимость в различных осветительных средствах; из них наиболее важны осветительные снаряды. Имеются специальные пиротехнические осветительные составы, дающие настолько мощные источники света, что при них возможно производить ночью фотосъемку.

Трассирующие средства, оставляющие на траектории своего полета видимый след, огненный или дымовой, имеют также большое применение в современной войне. Развитие боевой авиации и автоброневых и мотомеханизированных боевых средств вызывает необходимость в специальных средствах для пристрелки по движущимся целям.

Пиротехнические средства связи (сигнальные) незаменимы в боевых условиях для передачи условных сообщений на расстояние.

Пиротехника имеет очень большое значение и для научно-исследовательских работ. При изучении стратосферы используются дымовые шашки, поднимаемые на специальных шарах-зондах; на

определенной секунде времени подъема догорает замедлитель дымовой шашки, и она образует облако дыма. Наблюдения за этим облаком дают ценные научные данные о многих явлениях в стрatosфере. Пиротехнические сигнальные средства используются с большим успехом в дальних арктических экспедициях.

Во время учебных маневров армии и при войсковом обучении большую роль играют пиротехнические имитационные средства, которые употребляются взамен боевых; например, разрывы шрапнельных и фугасных снарядов имитируются так называемыми взрывпакетами.

Современное пиротехническое производство основывается теперь не только на опытных данных о приготовлении составов и конструкции изделий. Современная пиротехника основывается на всех достижениях химических, физических и специальных военных наук. Основное внимание современных пиротехников направлено на изучение физико-химических процессов, происходящих при действии составов, свойств компонентов, на научно обоснованный выбор новых зажигательных средств и конструкций пиротехнических изделий.

#### **§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Все пиротехнические изделия, как было сказано, можно разделить по характеру их применения на две основные группы: изделия военной пиротехники и изделия мирной пиротехники.

Изделия военной пиротехники можно отнести к следующим подгруппам: 1) осветительные; 2) сигнальные: а) ночного действия, б) дневного действия; 3) зажигательные; 4) трассирующие; 5) имитационные.

В каждую из перечисленных групп входят различные изделия.

## ГЛАВА II

### ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПИРОТЕХНИКИ

#### § 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВАХ И ИХ КОМПОНЕНТАХ

Пиротехнический эффект достигается в результате химической реакции горения. Горение представляет собой реакцию соединения горючего вещества с кислородом. При этой реакции обычно происходит значительное повышение температуры и образование пламени или выделение дыма.

Горючие вещества отличаются друг от друга способностью с той или иной активностью соединяться с кислородом; от их активности зависят сила света пламени и количество выделяемого тепла. Количество газообразных и твердых продуктов, получающихся в результате реакции, зависит от свойств реагирующих веществ. Для горения необходим кислород. Следовательно, для получения требуемого эффекта пиротехнические изделия следует сжигать на открытом воздухе или вводить в смесь с горючим вещество, богатое кислородом и способное легко его отдавать. Кислорода воздуха обычно бывает недостаточно для получения требуемого эффекта, поэтому в составы для пиротехнических изделий вводят вещества, богатые кислородом — окислители.

В качестве горючих веществ применяются некоторые металлы, сернистые соединения, органические соединения и др. В качестве окислителей применяются соли хлорноватой, азотной и других кислот, некоторые окислы металлов и пр. При взаимодействии горючего и окислителя, применяя различные компоненты, т. е. составные части смеси, и меняя их количественные соотношения, можно изменять течение реакции в соответствии с теми требованиями, которые предъявляются к изделию.

Смесь из окислителя и горючего называется основнойвойной смесью. Для получения различных по действию составов к основной смеси добавляются различные компоненты или смешиваются различные основные смеси.

Таким образом можно получить очень много разнообразных по свойствам смесей, или так называемых пиротехнических составов.

## § 2. РЕАКЦИИ ГОРЕНИЯ

Для начала горения необходимо нагреть часть горючего вещества, а затем выделяющееся в процессе горения тепло будет поддерживать температуру, необходимую для продолжения горения. Реакции горения сопровождаются, как было сказано, выделением тепловой и световой энергии. Пиротехника использует реакции горения специальных составов для получения тепловых и световых эффектов.

Если при реакции горения пиротехнических составов получаются горящие и накаленные от горения пары и газы или происходит свечение накаленных твердых или жидкых частиц, то такие пиротехнические составы дают пламенное горение.

Для пиротехники наиболее интересны реакции соединения и реакции обмена, особенно экзотермические реакции, в которых участвуют твердые вещества. Если реакция происходит в смеси веществ без участия воздуха, она называется реакцией внутреннего горения. Действие пиротехнических составов в большинстве случаев основывается именно на внутренней реакции обмена кислородом между окислителем и горючим, находящимися в порошкообразной смеси. Применяя окислители в качестве основных компонентов реакции горения, необходимо учитывать следующие их характеристики, влияющие на горение: а) температуру разложения окислителя; б) теплоту образования; в) стойкость по отношению к воздействию атмосферы.

Применяя горючие вещества в качестве основных компонентов, следует учитывать: а) температуру их воспламенения; б) тепловой эффект соединения с кислородом; в) стойкость.

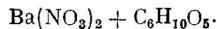
Реакция горения характеризуется: а) скоростью горения; б) тепловым эффектом реакции; в) агрегатным состоянием и свойствами продуктов реакции; г) величиной начального импульса, требуемого для возникновения реакции горения.

## § 3. СОСТАВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ

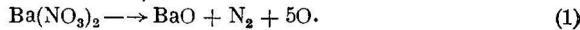
Основа каждого пиротехнического состава — смесь из окислителя и горючего — обладает способностью сгорать за счет кислорода, выделяемого при разложении окислителя. Активность такой смеси объясняется химическим взаимодействием между окислителем и горючим. Поэтому для определения количественных соотношений между компонентами смеси нужно знать ход химической реакции между ними.

Для составления уравнения реакции горения нужно: 1) написать реакцию разложения окислителя; 2) написать реакцию горения взятого горючего в чистом кислороде; 3) уравнить коэффициенты у атомов кислорода; 4) сложить написанные уравнения.

П р и м е р 1. Нужно составить двойную основную смесь из азотнокислого бария и крахмала



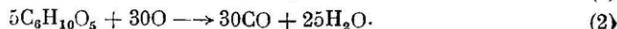
Во-первых, напишем реакцию разложения окислителя, т. е. азотнокислого бария:



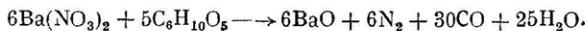
Реакция окисления крахмала в чистом кислороде до сгорания крахмала в CO (неполное сгорание) будет иметь вид:



Для уравнения коэффициентов у кислорода нужно увеличить в 6 раз коэффициенты уравнения (1) и в 5 раз коэффициенты уравнения (2). Получим:



Сложив оба уравнения по частям и сократив кислород, получим общее уравнение реакции:



Исходя из этого уравнения, можно подсчитать рецепт смеси. Беря эти вещества в количествах, соответствующих граммолекулам, получим:

для  $Ba(NO_3)_2$

$$6 \cdot 261 = 1566 \text{ г},$$

где 261 — молекулярный вес  $Ba(NO_3)_2$ ;

для  $C_6H_{10}O_5$

$$5 \cdot 162 = 810 \text{ г},$$

где 162 — молекулярный вес крахмала.

Всего смеси 2376 г.

Или, переведя в проценты:

для  $Ba(NO_3)_2$

$$\frac{1566 \cdot 100}{2376} = 66\%;$$

для  $C_6H_{10}O_5$

$$\frac{810 \cdot 100}{2376} = 34\%$$

(точность подсчета до целых чисел).

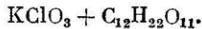
Как видно из этого примера, при разложении окислителя — азотнокислого бария  $Ba(NO_3)_2$  — выделяется кислород; 1 молекула его содержит 6 атомов кислорода, а в свободном виде выделяется лишь 5 атомов; 1 атом кислорода остается в соединении с барием в виде окиси бария  $BaO$  и окисляющего действия не обнаруживает.

Так же, как нитрат бария, действуют и другие соли азотной кислоты, давая при своем разложении свободный кислород и окислы металлов. Кроме нитратов другие окислители также не всегда выделяют весь свой запас кислорода в свободное состояние. Но существуют окислители, выделяющие весь свой кислород в виде свободного, например, бертолетова соль, или хлорат калия  $KClO_3$ , который разлагается по схеме:

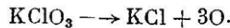


Кислород, выделяющийся в свободном состоянии при разложении вещества, называется активным, а все количество кислорода, содержащееся в веществе, называется общим содержанием кислорода.

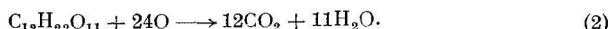
Пример 2. Составить двойную смесь из хлората калия (окислитель) и сахара (горючее):



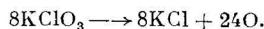
Аналогично предыдущему примеру реакция разложения хлората калия:



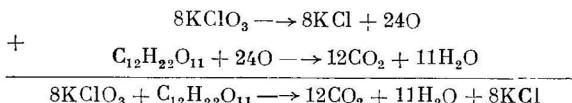
Реакция полного сгорания сахара в кислороде до образования  $\text{CO}_2$ :



Для уравнения коэффициентов кислорода умножаем уравнение (1) на 8. Получим:



Складываем уравнения (1) и (2):



Взяв граммолекулярные соотношения веществ, получим:

для хлората калия  $8 \cdot 122,56 = 980,5$  г, где 122,56 — молекулярный вес  $\text{KClO}_3$ ; для сахара 342 г, где 342 — молекулярный вес сахара. Итого смеси 1322,5 г.

Переводя в проценты, получим:

для хлората калия

$$\frac{980,5 \cdot 100}{1322,5} = 74,2\%;$$

для сахара

$$\frac{342 \cdot 100}{1322,5} = 25,8\%$$

Кроме основных смесей из двух компонентов (двойных) могут применяться тройные смеси. Они состоят из двух двойных смесей, имеющих одинаковые окислители, но разные горючие, т. е. состоят из трех веществ: одного окислителя и двух горючих. Тройные смеси могут состоять также из двух различных окислителей и одного горючего.

Мы разобрали в первом примере случай составления пиротехнической смеси, в которой активного кислорода окислителя нехватает для полного сгорания углерода, содержащегося в горючем. Углерод в этом случае сгорает только до образования  $\text{CO}$ .

Пиротехнические смеси, в которых кислорода, получаемого при разложении окислителя, нехватает для полного сгорания горючего, имеют так называемый отрицательный кислородный баланс. Смеси с избытком активного кислорода обладают положительным кислородным балансом.

В пиротехнике применяются большей частью смеси, имеющие небольшой недостаток кислорода для полного сгорания горючего, т. е. составы с отрицательным кислородным балансом.

#### § 4. ОБРАЗОВАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

На базе основной двойной смеси из окислителя и горючего строится более сложный пиротехнический состав.

В зависимости от требований, предъявляемых к составу, к основной смеси примешиваются различные компоненты. Например, для получения пламени, окрашенного в определенный цвет, в состав вводится соль соответствующего металла: для получения зеленого цвета — соли бария, красного — соли стронция, желтого — соли натрия.

Для придания составу механической прочности добавляются особые вещества, обладающие способностью склеивать (или связывать) состав при уплотнении или прессовании его. Такие вещества называются цементаторами, или связывающими веществами. Обычно они одновременно являются и горючими; это — готовые лаки, олифа, смолы (с добавлением в составы растворителей) и др.

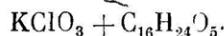
Иногда для уменьшения активности состава или уменьшения чувствительности отдельных компонентов к механическим и тепловым импульсам к составам прибавляют вещества, способные замедлять процессы горения; такие вещества называются флегматизаторами. К их числу относятся парафин, канифоль, некоторые масла и др.

Разберем пример составления сигнального состава, дающего пламя красного цвета. Для окрашивания пламени возьмем в состав 20% (от веса смеси) углекислого стронция  $\text{SrCO}_3$ . В качестве окислителя возьмем хлорат калия  $\text{KClO}_3$ ; в качестве горючего — шеллак  $\text{C}_{16}\text{H}_{24}\text{O}_5$ , который одновременно служит цементатором.

При температуре разложения углекислый стронций разлагается по уравнению:



Продукты разложения  $\text{SrCO}_3$  вполне окислены и поэтому не нуждаются в окислителе. Следовательно, окислитель требуется только для того, чтобы дать кислород на сгорание шеллака (горючего), т. е. имеется двойная смесь из хлората калия и шеллака:



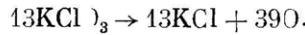
Напишем уравнение разложения хлората калия:



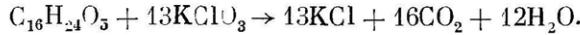
Напишем уравнение горения шеллака в кислороде до полного сгорания углерода в углекислый газ:



Уравняем коэффициенты кислорода в уравнениях (1) и (2), для чего умножим уравнение (1) на 13. Получим:



Сложив полученное уравнение с уравнением (2), получим:



Из этого уравнения найдем количества  $\text{KClO}_3$  и  $\text{C}_{16}\text{H}_{24}\text{O}_5$  в двойной смеси.

1 граммолекула  $\text{C}_{16}\text{H}_{24}\text{O}_5$  составляет 296,2 г; 13 граммолекулы  $\text{KClO}_3$  составляют  $13 \cdot 122,56$  г = 1593,8 г. Всего смеси 1890 г.

Переводя в проценты, получим:  
для хлората калия

$$\frac{1593,8 \cdot 100}{1890} = 84,3\%;$$

для шеллака

$$\frac{296.2 \cdot 100}{1890} = 15,7\%.$$

Но в состав входит 20% углекислого стронция и только 80% рассчитанной нами двойной смеси. Следовательно, каждого компонента двойной смеси тоже будет по 80% от полученных нами величин, а именно: хлората калия  $84,3 \cdot 0,8 = 67,44\%$ ; шеллака  $15,7 \cdot 0,8 = 12,56\%$ .

Общий рецепт будет таким (проц.):

<chem>SrCO3</chem>	20
<chem>KClO4</chem>	67,44
<chem>C16H24O5</chem>	12,56

## § 5. НАЧАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС И ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Для воспламенения пиротехнического состава необходимо затратить какое-то количество энергии, которое обычно называется начальным импульсом.

Во многих случаях от характера начального импульса зависит характер реакции горения пиротехнического состава.

В качестве начального импульса могут быть использованы: механическая энергия (удар, трение), лучистая (ультрафиолетовые лучи, свет), тепловая, химическая энергия.

Часто действие различных видов энергии сводится к воздействию тепловой энергии, например, при ударе и трении развивается повышенная температура; то же происходит и при воздействии крепкой серной кислоты на состав: при химической реакции между кислотой и отдельными компонентами состава тоже выделяется тепло.

Иногда один и тот же состав при воспламенении его от искры а при более мощном начальном взрывом.

Каждый состав или основная смесь воспламеняются при определенной температуре. Эта температура — очень важная характеристика состава; знание ее позволяет установить безопасный режим работы при производстве и применении данного состава.

Рис. 1. Прибор для определения температуры самовоспламенения.

1 — железная баня; 2 — испытуемый состав; 3 — сплав Вуда; 4 — электронагрев; 5 — латунный футляр; 6 — термометр.

сгорает сравнительно медленно, импульс реакции протекает со

Каждый состав или основная смесь воспламеняются при определенной температуре. Эта температура — очень важная характеристика состава; знание ее позволяет установить безопасный режим работы при производстве и применении данного состава.