

А. И. ДЕМИДОВ

ВВЕДЕНИЕ В ПИРОТЕХНИКУ

(пиротехнические составы)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАРКОМАТА ОБОРОНЫ ССРСР

Москва — 1939

А. Н. Декидов. «Введение в пиротехнику (пиротехнические составы)». Книга предназначается в качестве учебного пособия для курсантов артиллерийских технических училищ РККА и содержит основные начальные сведения, необходимые каждому пиротехнику.

149.а

1063



Редактор военный инженер 3 ранга Чернышев
Технический редактор Галайко
Корректоры Галайко, Себрякова

Сдано в производство 11.7.39

Подписано к печати 26.9.39

Формат бумаги 84x108^{1/2}

Объем 6^{1/2} л. печ. з., 5 уч.-зв. л.

Уч. изд. Тираж 10 000 экз.

Изд. № 449. Зак. № 499

Отпечатано в 1-й типографии Государственного военного изд-ва НКВД СССР,
Москва, ул. Оксфордская-Степанова, д. 3.

ВВЕДЕНИЕ

Современная военная пиротехника является самостоятельной отраслью прикладной химии и занимается вопросами производства и исследования осветительных, сигнальных, зажигательных, трассирующих и дымовых средств. Эти средства применяются для освещения местности, подачи цветных сигналов, зажигания горючих материалов, обозначения пути полета пули и снаряда для корректирования стрельбы, или, наконец, для создания дымового облака.

Решение подобного рода задач требует применения специальных пиротехнических составов, дающих при своем горении самые разнообразные огненно-световые и дымовые эффекты.

Под термином „пиротехнический состав“ обыкновенно подразумевается всякая механическая смесь веществ, способная загораться и гореть самостоятельно с образованием пламени, дымового облака или с выделением большого количества газов.

Область техники, занимающаяся изучением этого рода составов и применением их, называется пиротехникой, а в переводе на русский язык означает — техника огня. Огонь, которым выражается действие пиротехнических составов, является следствием быстро протекающих экзотермических реакций, сопровождающихся образованием нагретых продуктов. Примерами таких реакций являются соединения многих веществ с кислородом.

В зависимости от свойств веществ мы имеем ряд различных по их интенсивности окислительных процессов. Многие из них сопровождаются образованием пламени, т. е. непрерывным потоком раскаленных газов, образующихся в сфере реакции. Для образования пламени нужны кислород и вещества, горящие в нем, или, как будем впрямь называть их, вещества горючие.

Источниками кислорода могут быть воздух или химические соединения, содержащие в своем составе кислород. Пользоваться атмосферным кислородом неудобно из-за его сильной разбавленности азотом и потому малой концентрации в единице объема.

Для пиротехнических целей нельзя пользоваться атмосферным кислородом (ввиду его разреженности), а потому приходится брать его только из химических соединений. Но не все вещества, в которых он находится, пригодны для пиротехники, годятся только те, которые содержат его в большом количестве и сравнительно легко его отдают. Эти вещества называются окислителями. Из всех многочисленных кислородных соединений, изученных в настоящее время, лишь очень небольшое число их можно с успехом применять для указанных целей.

При нагревании окислителей выделяется кислород. От степени нагрева зависит интенсивность выделения кислорода. В свою очередь, в зависимости от свойств веществ окислительные процессы будут совершаться с различной скоростью. Поэтому знание свойств окислителя необходимо для умелого пользования им при изготовлении пиротехнических составов. Скорость разложения окислителя зависит также и от его химической природы.

Процесс разложения у окислителей бывает экзотермическим (с выделением тепла) или эндотермическим (с поглощением тепла). В первом случае теплота, выделяющаяся при разложении и нагревающая прилегающие слои вещества, способствует дальнейшему распаду его и тем быстрее, чем больше выделяется теплоты.

Реакция разложения, имея вначале некоторую скорость, в зависимости от количества притекающей и выделяющейся теплоты, может проходить медленно без всякого ускорения или приобретать все большую скорость, прогрессивно увеличивающуюся и могущую дойти до предела, возможного для данного окислителя (реакция взрывчатого превращения). Примером такого прогрессивно-ускоряющегося разложения служит разложение хлората калия ($KClO_3$), теплота разложения которого равна 11,9 б. кал.

При эндотермическом превращении вещества процесс распада не может приобрести ускоренно-прогрессивного разложения, так как фактор ускорения (теплота разложения) отсутствует, и потому процесс совершается лишь тогда, когда имеется поступление энергии извне. В этом

случае количество теплоты, поступающей для разложения, будет создавать различные степени нагревания вещества: медленное при малом поступлении теплоты и более быстрое — при большем количестве теплоты.

Пользуясь этой возможностью, можно создать любую скорость разложения окислителя, что весьма ценно для получения необходимого пиротехнического эффекта — быстрого или, наоборот, медленного горения состава.

Теплота, необходимая для разложения окислителя, находящегося в смеси с горючим, возникает при реакции соединения кислорода с горючим веществом. Химическая природа последнего обуславливает характер горения. Чем больше химического сродства у горючего с кислородом, тем легче возникает горение и тем энергичнее оно проходит. Поэтому, выбирая соответствующее горючее в зависимости от его химического сродства с кислородом и теплотворной способности, можно образовывать различные смеси окислителя с горючим, которые будут гореть с желаемым результатом по скорости горения, по газообразованию и по температуре процесса.

Наиболее подходящими для пиротехнических целей являются следующие окислители:

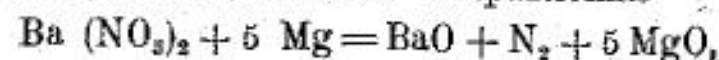
1. Нитраты калия, бария, стронция и свинца — KNO_3 , $Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$ и $Pb(NO_3)_2$.
2. Хлораты калия и бария — $KClO_3$ и $Ba(ClO_3)_2$.
3. Перхлораты калия и бария — $KClO_4$ и $Ba(ClO_4)_2$.
4. Перманганат калия — $KMnO_4$.
5. Хромат и бихромат калия — K_2CrO_4 и $K_2Cr_2O_7$.
6. Окислы металлов бария, марганца и свинца — BaO_2 , MnO_2 , PbO_2 и Pb_2O_4 .

Ниже приводится список окислителей с указанием содержания в них кислорода и реакцией взрывчатого разложения.

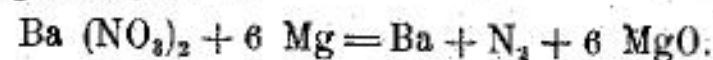
№ по порядку	Наименование окислителя	Процент содержания кислорода		Реакция взрывчатого превращения
		по массе	по объему	
1	Нитрат калия — KNO_3	47,5	39,6	$4 KNO_3 = 2 K_2O + 2 N_2 + 5 O_2$
2	Перхлорат калия — $KClO_4$	46,2	46,2	$KClO_4 = KCl + 2 O_2$
3	Нитрат стронция — $Sr(NO_3)_2$	45,4	37,8	$2 Sr(NO_3)_2 = 2 SrO + 4 N_2 + 5 O_2$

№ по пор.	Наименование окислителя	Процент со- держания кислорода	Процент со- держания активного кислорода	Реакция взрывчатого превращения
4	Перманганат калия — KMnO_4	40,5	25,3	$2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$ $4\text{KMnO}_4 = 2\text{K}_2\text{O} +$ $4\text{MnO} + 5\text{O}_2$
5	Хлорат калия — KClO_3 . .	39,2	39,2	$2\text{KClO}_3 = 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$
6	Перхлорат бария — $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	38,1	38,1	$\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2 = \text{BaCl}_2 + 4\text{O}_2$
7	Двуокись марганца — MnO_2	36,8	18,4	$2\text{MnO}_2 = 2\text{MnO} + \text{O}_2$
8	Нитрат бария — $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.	36,7	30,6	$2\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{BaO} +$ $+ 2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$
9	Хлорат бария — $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$.	31,5	31,5	$\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2 = \text{BaCl}_2 + 3\text{O}_2$
10	Нитрат свинца — $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	29,0	24,2	$2\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{PbO} +$ $+ \text{N}_2 + 6\text{O}_2$
11	Перекись бария — BaO_2 .	18,9	9,4	$2\text{BaO}_2 = 2\text{BaO} + \text{O}_2$
12	Двуокись свинца — PbO_2 .	13,4	6,7	$2\text{PbO}_2 = 2\text{PbO} + \text{O}_2$

Реакции разложения окислителей, приведенные в таблице, в присутствии высокотеплотворных веществ, как магний, алюминий и некоторые другие, будут иными. В этом случае эти вещества отнимут весь кислород окислителя и выделят металл его в свободном состоянии, например, разложение смеси нитрата бария с порошком магния пойдет не по направлению



а по направлению



Восстановление BaO магнием не проходит на практике гладко, так как при этом сначала получается недокись бария, Ba_2O , которая, в зависимости от температуры, обуславливает с магнием различные состояния равновесия:



но для расчетов пиротехнических смесей можно воспользоваться указанной выше реакцией.

Понимание действия пиротехнических смесей является результатом знания природы окислителя и горючего, употребляемых в данной смеси, а потому, рассматривая теорию образования составов, необходимо знать исходные материалы.

ОКИСЛИТЕЛИ

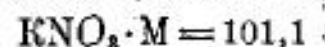
СОЛИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ (НИТРАТЫ)

Из многочисленных представителей этого рода солей употребляются главным образом только нитрат калия и нитрат бария; другие нитраты, ввиду их большой гигроскопичности или недостаточной химической стойкости в смеси с горючим, употребляются мало. Нитраты являются сильными окислителями. Отщепление же кислорода от нитратов является процессом эндотермическим. Этот процесс продолжается только в том случае, если в результате взаимодействия выделяющегося из окислителя кислорода с горючим, прибавленным к нитрату, одновременно возникает процесс, образующий столько тепла, что оно с избытком покрывает теплоту, потребляемую на разложение нитрата. По такой реакции происходит горение дымного (черного) пороха. Условия особенно благоприятны, когда в самой молекуле нитрата имеются составные части, вступающие в реакцию с подлежащим отщеплению кислородом. Такое сочетание наблюдается у нитрата аммония NH_4NO_3 , аммиак которого можно окислить кислородом нитрата, так что разложение этого нитрата в общем протекает экзотермично.

Поэтому нитрат аммония применяется широко в качестве взрывчатого вещества в смеси с окисляющимися веществами.

Способы получения окислителей здесь не рассматриваются, так как они имеются в любом учебнике химии, здесь же приводятся лишь свойства их, определяющие характерные особенности каждого.

Нитрат калия (калиевая селитра)



Нитрат калия имеет вид кристаллического порошка, который состоит из безводных, бесцветных шестигранных призм, уд. вес — 2,1.

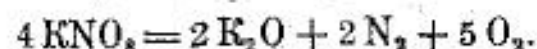
На воздухе он не изменяется. Имеет горьковатый вкус. При медленном выпаривании водного раствора кристаллы выделяются в виде ромбоэдров.

Растворимость в 100 вес. частях воды:

Температура	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	114°
KNO_3 (вес. частей)	13,3	21,1	31,2	44,5	64,0	86,0	111,0	139,0	172,0	206,0	247,0	327,4

В безводном спирте калиевая селитра не растворяется. Плавится при 339°, а при красном калении (400°) теряет кислород, превращаясь в нитрит: $2\text{KNO}_3 = 2\text{KNO}_2 + \text{O}_2$.

Брошенная на раскаленные угли селитра дает вспышку с пламенем, окрашенным в фиолетовый цвет. Взрывчатое разложение соли протекает по реакции:

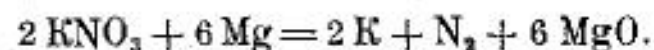


Для пиротехнических составов допускается нитрат калия только в чистом виде, не содержащий нерастворимых в воде примесей, особенно песка. Также не должно быть в нем кальциевых, натриевых и магниевых солей, делающих нитрат гигроскопичным. Сернистых и хлористых солей допускается не более 0,03%.

По своей негигроскопичности и химической стойкости калиевая селитра заняла одно из первых мест среди окислителей, применяемых в пиротехнических составах. Селитра с горючими, по интенсивности горения, дает ряд разнообразнейших смесей, начиная со смесей, не горящих на воздухе при поджигании (с серой, сахаром, канифолью), и кончая смесями, сгорающими со вспышкой (с магнием, алюминием).

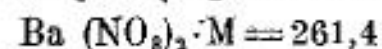
Смесь нитрата калия с древесным углем хорошо горит, образуя пламя, причем смеси, рассчитанные на неполное окисление (до CO), горят быстрее смесей, рассчитанных на полное сгорание (до CO₂). Большинство смесей мало чувствительно к жарению, исключение состав-

ляют смеси с антимонием Sb₂S₃, магнием Mg и алюминием Al. С порошком магния реакция разложения выражается уравнением:



Нитрат калия применяется главным образом в тройной смеси, называемой пороховой смесью (селитра, сера, уголь).

Нитрат бария (бариевая селитра)



По внешнему виду нитрат бария представляет собой бесцветные кристаллы в форме октаэдра, уд. вес — 3,23. На воздухе он не изменяется. Имеет острый и горький вкус. В спирте нерастворим и почти не растворяется в крепкой азотной кислоте.

Растворимость в 100 вес. частях раствора:

Температура	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	120°
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (вес. частей)	4,8	6,5	7,9	10,4	12,4	14,6	16,9	19,1	21,3	23,4	25,5	29,3

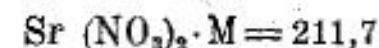
Плавится при 592°.

Взрывчатое разложение соли протекает по реакции:



Смеси нитрата бария с горючими по характеру горения аналогичны подобным смесям нитрата калия. Применяется нитрат бария в цветнопламенных, осветительных, трассирующих и других составах.

Нитрат стронция (азотностронциевая соль)



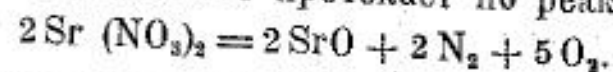
Нитрат стронция, подобно нитрату бария, представляет собой по внешнему виду бесцветные кристаллы в форме прозрачных октаэдров. Выделяются они при выпаривании водного раствора выше 31,3°С без кристаллизационной воды, а при медленном испарении раствора ниже этой температуры — с 4 H₂O.

На сухом воздухе водный нитрат теряет кристаллизационную воду, происходит выветривание кристаллов, а во влажном — сильно отсыревает. Уд. вес — 2,93. Температура плавления — 645°C .

Растворимость в 100 вес. частях раствора:

Температура	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	$107,9^{\circ}$
$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ (вес. частей)	28,3	35,5	41,5	46,7	47,7	48,1	48,5	48,9	49,3	49,7	50,3	50,7

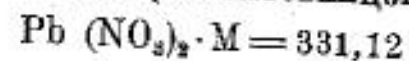
В спирте и в крепкой азотной кислоте не растворяется. Взрывчатое разложение протекает по реакции:



Двойная смесь с шеллаком сгорает медленно, почти без образования дыма, давая красное пламя; аналогичная смесь с нитратом бария сгорает также без дыма, но дает светлосинее пламя.

Употребляется нитрат в составах красного огня. Цвет пламени сильно зависит от примесей, находящихся в нитрате, а потому нитрат применяется только в химически чистом виде.

Нитрат свинца (азотносвинцовая соль)

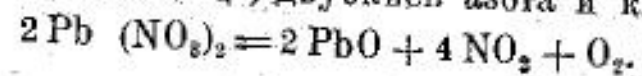


Из кислого раствора нитрат свинца кристаллизуется довольно большими прозрачными, безводными и бесцветными октаэдрами, а из среднего раствора — непрозрачными, белыми и небольшими кристалликами. На вкус — сладковатый, вязкий. Ядовит. Уд. вес — 4,41.

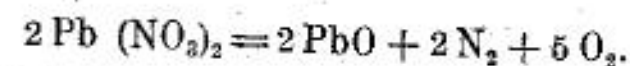
В спирте и в крепкой азотной кислоте нерастворим. Растворимость в 100 вес. частях воды:

Температура	0°	10°	20°	30°	40°	50°	70°	100°
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (вес. частей)	38,7	48,3	56,4	65,5	75,2	85,1	105,8	138,9

При накаливании выше 200° нитрат свинца распадается на окись свинца, двуокись азота и кислород:



Нитрат свинца, брошенный на раскаленные угли, слабо вспыхивает; то же происходит при растирании его с серой. Взрывчатое разложение соли протекает по реакции:



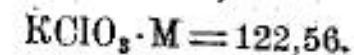
На воздухе нитрат не отсыревает. При нагревании с сульфатом аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ выделяется закись азота N_2O .

Употребление его ограничивается такими составами, которые при горении дают много мелких и красивых искр.

Соли хлорноватой и хлорной кислот (хлораты и перхлораты)

Из солей хлорноватой кислоты наиболее изучено применение только солей калия и бария. Они являются трудно заменимыми окислителями при образовании цветных пламенных составов, так как наиболее яркие окраски пламени получаются при употреблении хлоратов. Смеси горючих веществ с хлоратами являются весьма чувствительными к механическим воздействиям. При небольших сравнительно ударах или при трении эти смеси загораются и даже взрываются. Поэтому они и называются смесями ударными и фрикционными, или терочными. Помимо высокой чувствительности к механическим воздействиям хлоратных смесей, сами хлораты весьма чувствительны к примесям кислого характера. Присутствие даже следов кислоты вызывает разложение их. И при наличии хлората, в виде смеси с каким-либо горючим, начавшееся разложение кончается самовозгоранием этой смеси. Вот почему работа с хлоратами требует большого внимания и осторожности в обращении с ними во избежание взрыва или воспламенения.

Хлорат калия (хлорноватокалиевая соль, бертолетова соль)



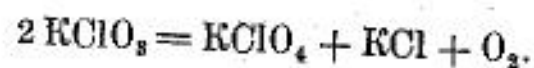
По внешнему виду хлорат калия представляет собой бесцветные, безводные, прозрачные листовидные кристаллы. Уд. вес кристаллов — 2,34. Горьковато-соленый на вкус. Негигроскопичен и на воздухе не изменяется.

Растворимость в 100 вес. частях воды:

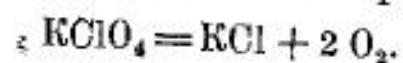
Температура	0°	15°	35°	50°	75°	101,8°
KClO ₃ (вес частей)	3,3	6,0	12,0	19,0	36,0	60,0

В безводном спирте почти не растворяется (100 частей спирта при 15°С растворяют 0,833 г). При нагревании до 357°С плавится (не разлагаясь).

Дальнейшее повышение температуры влечет уже разложение соли, начинающееся при 364°С. Расплавленная соль пенится, выделяя кислород, и около 2/3 ее превращается в хлорно-калиевую соль и хлористый калий:

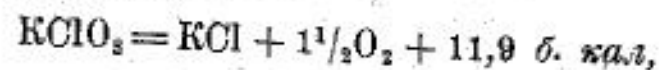


При нагревании же выше 400° соль полностью разлагается на хлористый калий и кислород:



При нагревании бертолетовой соли в присутствии катализаторов (CuO, MnO₂, PbO₂ или Fe₂O₃) разложение ее протекает при более низкой температуре (ниже точки плавления) спокойно. При разложении выделяется незначительное количество хлора.

Разложение хлората калия сопровождается значительным выделением теплоты:



что характеризует хлорат как вещество взрывчатое. В чистом виде бертолетова соль весьма устойчива, зато смеси ее с углем, серой, фосфором и порошкообразными металлами (алюминием, магнием, сурьмой, цинком и др.), а также со многими сернистыми соединениями металлов (например, Sb₂S₃, As₂S₃, As₂S₅, Cu₂S), обладают очень большой чувствительностью к механическим воздействиям.

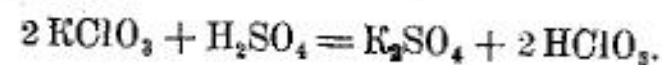
От удара или трения эти смеси дают вспышку или взрыв.

От искры они легко загораются, и некоторые смеси сгорают чрезвычайно быстро. Этим свойством отличаются смеси хлората с порошкообразными и сернистыми металлами.

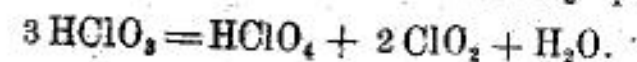
При растирании самых незначительных количеств таких смесей в фарфоровой ступке слышен треск, а иногда происходит взрыв.

Смеси хлората калия с органическими горючими веществами имеют такие же свойства. Некоторые из них, например, смесь хлората с сахаром легко загорается от капли серной кислоты H₂SO₄.

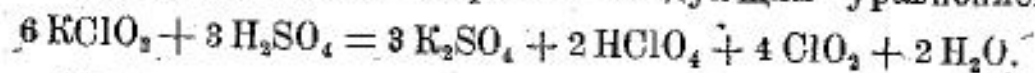
Крепкая серная кислота, приведенная в соприкосновение с хлоратом, разлагает его, выделяя свободную хлорноватую кислоту, которая сейчас же разлагается с образованием двуокиси хлора ClO₂, так как в свободном состоянии при обычных условиях HClO₂ существовать не может:



В концентрированном состоянии HClO₂ распадается:



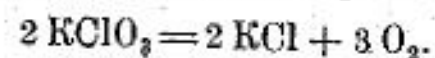
В конечном результате действие серной кислоты на хлорат калия можно выразить следующим уравнением:



Двуокись хлора — газ темнокжелтого цвета — имеет острый запах, похожий на запах хлора. Этот газ легко взрывается при нагревании и от соприкосновения с органическими веществами. В случае действия капли серной кислоты на смесь бертолетовой соли с сахаром выделяющаяся двуокись хлора (ClO₂) от соприкосновения с сахаром мгновенно разлагается на хлор и кислород, которые в момент выделения, являясь энергичнейшими окислителями, окисляют сахар, загорающийся от выделяющейся при этом теплоты.

Другие кислоты действуют аналогично серной, но не так энергично, как последняя. Поэтому кислотность в смесях с KClO₃ служит причиной их самовозгорания и ни в коем случае не допускается.

Взрывчатое разложение соли протекает по реакции:

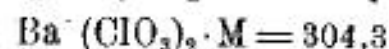


По легкости разложения и большому количеству активного кислорода KClO₃ занимает одно из первых мест в ряду окислителей, применяемых в пламенных цветных составах.

При обращении с хлоратом, особенно приготавливая с ним смеси, следует соблюдать особую осторожность. Растирание KClO_3 с каким-либо горючим веществом в ступках абсолютно недопустимо.

Для приготовления составов хлорат применяется только в химически чистом виде, потому что малейшее загрязнение его органическими веществами, например пылью, при работе может дать весьма тяжелые по своим последствиям взрывы.

Хлорат бария (хлорноватобариевая соль)



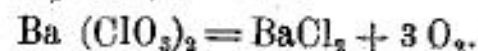
По внешнему виду хлорат бария представляет собой кристаллический порошок белого цвета, по вкусу напоминающий бертолетову соль. Кристаллы имеют призматическую форму, негигроскопичны.

Растворимость в 100 вес. частях раствора:

Температура	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	99,1°	104,6°
$\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$ (вес. частей)	14,46	17,52	20,83	22,75	24,5	26,84	28,6	30,1	31,46	32,75	33,84	34,5

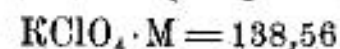
В безводном спирте нерастворим.

При нагревании до 300—310°С начинает разлагаться и при более высокой температуре взрывается. Свойства хлората бария подобны свойствам бертолетовой соли, и потому при работе с ним нужно принимать те же меры предосторожности. Взрывчатое разложение соли характеризуется реакцией:



Основные смеси с этим окислителем горят хорошим зеленым пламенем.

Перхлорат калия (хлорнокальевая соль)



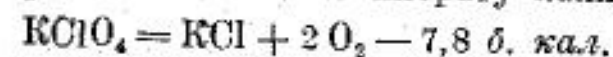
Белый, очень мелкий кристаллический порошок. Уд. вес кристаллов — 2,54. Негигроскопичен, плавится при 610°С и заметно распадается при 420°С.

Растворимость в 100 вес. частях раствора:

Температура	0°	15°	50°	100°
KClO_4 (вес. частей)	0,70	1,52	5,07	15,80

В спирте растворяется еще меньше, чем в воде. В химическом отношении он устойчивее хлората. Не разлагается ни соляной, ни азотной кислотами, ни разбавленной серной кислотой. Концентрированная H_2SO_4 вытесняет хлорную кислоту, которая улетучивается при нагревании. Обычные восстановители не действуют на растворы перхлората калия. Восстанавливается он только фосфорноватистой и муравьиной кислотами.

Разложение перхлората калия носит эндотермический характер в противоположность хлорату калия:



Поэтому смеси его с горючими веществами по своим свойствам похожи на смеси с калиевой селитрой.

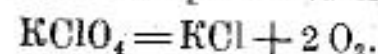
Относительно высокое содержание в нем кислорода допускает приготовление таких смесей, которые дают большие количества газообразных продуктов, чем смеси с другими окислителями. Меньшая чувствительность смесей к механическим воздействиям представляет несомненные преимущества при обращении с перхлоратом калия.

Температуры воспламенения перхлоратных смесей значительно выше хлоратных, что можно видеть из следующей таблицы:

Горючее	Серя, 40 и 39%	Антимоний, 46 и 52%	Уголь древесный, 13 и 15%	Шеллак, 23 и 17%	Идиол, 23 и 19%	Капифоль, 18 и 14%	Декстрин, 40 и 25%	Молочный сахар, 37 и 20%
KClO_3	Ок. 180°	Ок. 335°	Ок. 315°	Ок. 245°	Ок. 335°	Ок. 330°	Ок. 215°	Ок. 165°
KClO_4	> 420°	> 425°	> 440°	> 385°	> 440°	> 430°	> 310°	> 300°

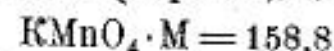
¹ Первая цифра в графе „Горючее“ показывает процент содержания горючего в смеси с KClO_3 и вторая цифра — в смеси с KClO_4 .

Взрывчатое разложение протекает по реакции:



ДРУГИЕ ОКИСЛИТЕЛИ

Перманганат калия (марганцевокалиевая соль)

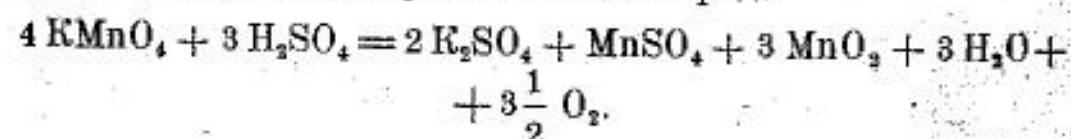


Перманганат по внешнему виду представляет собой ромбические кристаллы темнофиолетового, почти черного цвета с зеленоватым металлическим отблеском, уд. вес—2,7. Вкус терпкий, неприятный, порошок соли—краевого цвета. На воздухе не изменяется, негигроскопичен.

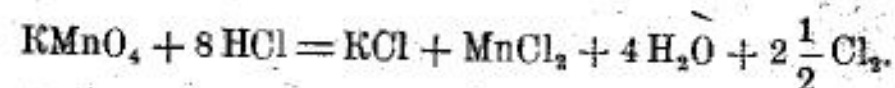
Растворимость в 100 вес. частях раствора:

Температура	0°	10°	15°	25°	34,8°	40°	50°	55°	65°
KMnO ₄ (вес. частей)	2,75	4,01	4,95	7,60	9,64	10,4	14,35	16,2	20,02

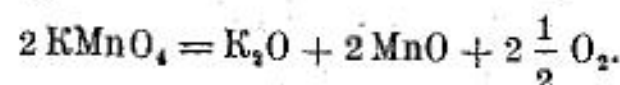
Растворяется в ледяной уксусной кислоте, пиридине, ацетоне, метиловом спирте. Крепкая H₂SO₄ разлагает соль, выделяя озонированный кислород:



Крепкая HCl разлагает перманганат с выделением хлора:



При нагревании соли выше 200° С происходит отщепление кислорода. Взрывчатое разложение соли протекает по реакции:



KMnO₄ является сильнейшим окислителем. Смеси его с горючими веществами обладают очень большой чувствительностью к механическим и тепловым воздействиям. Например, смесь с серой при слабом растирании, даже

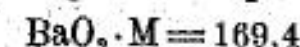
корковой пробкой, загорается. От искры, пламени и нагревания смеси легко загораются, что также происходит и от смачивания их каплями крепкой серной кислоты.

Из-за этих свойств смесей перманганата нельзя пользоваться ими в больших количествах, так как они могут воспламениться или взорваться.

Окислы металлов

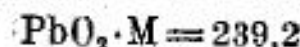
В пиротехнике имеют значение только те окислы металлов, которые при нагревании разлагаются, выделяя свободный кислород. Наиболее употребительными из них являются перекись бария BaO₂, двуокись свинца PbO₂ и двуокись марганца MnO₂, а также свинцовый сурик Pb₃O₄. Эти окислители находят широкое применение для смесей термитного характера, смесей с алюминием или магнием.

Перекись бария

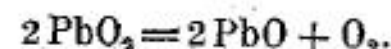


Перекись бария—белый тяжелый порошок, не растворимый в воде. При нагревании выше 700° С разлагается на окись бария и кислород. При нагревании с горючими веществами является сильным окислителем. Рыхлая или свободно насыпанная BaO₂ способна воспламенить стружки, тряпки, солому и тому подобные горючие вещества. При смешении BaO₂ с холодной водой образуется гидрат перекиси бария BaO₂·8H₂O, который при кипячении с водой разлагается, выделяя гидрат окиси бария Ba(OH)₂ и кислород. Разведенные кислоты разлагают BaO₂ с образованием H₂O₂.

Двуокись свинца



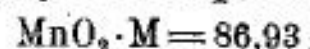
Двуокись свинца—аморфный порошок темного цвета, без запаха и вкуса. Уд. вес—9,19—9,36. В воде не растворяется. При нагревании распадается на PbO и O₂:



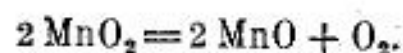
Является сильным окислителем. При растирании смесей PbO₂ с горючими веществами некоторые из них воспламеняются, как, например, смесь с серой. Главным образом применяется в спичечных составах.

613322
592185

Двуокись марганца



По внешнему виду лучисто-кристаллические куски, неровного излома, уд. вес — 4,7—5,0. Куски — стального или черно-серого цвета, а в порошке — черно-серого, графитового. При нагревании до 530° С двуокись марганца распадается:



Смеси ее с порошкообразными магнием и алюминием обладают большой чувствительностью к механическим воздействиям и при поджигании сгорают со вспышкой. Иногда применяется в зажигательных составах.

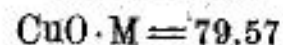
Свинцовый сурик



Сурик представляет собой яркокрасный порошок, уд. вес — 8,62—9,08. Вначале при нагревании сурик принимает красный, затем фиолетовый оттенок, наконец, чернеет, но при остывании вновь принимает прежнюю окраску. Плавится при температуре 830° С. Выделение кислорода начинается при нагревании выше 500° С.

В смесях с горючими аналогичен PbO_2 . Находит применение в зажигательных составах.

Окись меди



Окись меди — черный порошок, без запаха и вкуса, не растворим в воде и спирте, но легко растворяется в кислотах, образуя соответствующие соли. Уд. вес — 6,4. Плавится при температуре 1148° С. При нагревании в атмосфере водорода, окиси углерода или углеводородного газа окись меди восстанавливается до металлической меди. Так же легко восстанавливают окись меди и органические вещества при нагревании с ней, на чем и основан элементарный анализ органических веществ. Может служить для образования синих и зеленых огней.

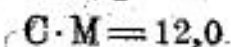
ГОРЮЧИЕ ВЕЩЕСТВА

Горючие вещества, употребляемые в пиротехнических составах, должны обладать большим сродством к кислороду, в этом случае можно получить хорошо действующие смеси.

К числу наиболее распространенных и доступных горючих веществ следует отнести следующие:

- уголь древесный, сажа, сера;
- металлы в порошкообразном состоянии — магний, алюминий, железо, цинк, сурьма;
- сернистые металлы — антимоний (сернистая сурьма), полусернистая медь, реальгар (сернистый мышьяк);
- углеводороды — парафин, нафталин, антрацен;
- углеводы — сахар молочный и пищевой, крахмал, декстрин;
- смолы — шеллак, канифоль, идитол;
- склеивающие вещества — аравийская камедь (гумми-арабик), перечисленные выше смолы, а также декстрин, льняной клей, олифа.

Уголь древесный



Для пиротехнических целей признается лучшим углем — черный, получаемый при высоких температурах обжига мягких древесных пород, как, например, ольха, черемуха, ива, крушина.

Хорошо выжженный уголь бывает тверд; без всякого блеска, в кусках — синевато-черного цвета, в порошке — черный; хрупок, легко размельчается и размалывается. При ударах звонит. Горит без пламени. Плотность 1,5—1,84. Содержание углерода 80—85%. Температура воспламенения — около 385° С. Степень горючести угля различна и зависит от разных причин. Например, сильно

прокаленный уголь загорается труднее и горит медленнее, чем уголь, слабо прокаленный. Уголь из твердой породы дерева также труднее загорается и горит медленнее угля из мягких и легких пород. В зависимости от этого для составов, которые должны гореть быстро, без искр, берут уголь слабо прокаленный, а для составов, которые должны образовать при сгорании искры, уголь берет твердых пород и сильно прокаленный.

Окислители легко раскисляются углем, потому что количество тепла, выделяющегося при этом процессе, вполне достаточно для разложения еще не раскисленного окислителя. Это свойство обуславливает хорошее горение всех углевых двойных основных смесей. Вследствие большой адсорбирующей способности порошкообразного угля хранение его в больших количествах сопряжено с опасностью самовозгорания. Хранить его следует в железной, плотно закрывающейся укупорке, в количестве не более 10—20 кг.

Сажа

S·M=12,0

Сажей называют копоть, которая выделяется при горении органических веществ с большим содержанием углерода, как, например, смолы, нафталина, керосина, скипидара и т. п. Собранный сажа имеет вид порошка, жирного наощупь, черного цвета. Водой она плохо смывается вследствие содержания пригорелых веществ, которыми и обуславливается ее запах.

Для составов, имеющих окислителями хлораты, такую сажу не следует употреблять из-за опасности получения непрочных по химической стойкости смесей.

Для удаления пригорелых примесей сажу хорошо прокалывают без доступа воздуха в закрытых тиглях или горшках и там же дают ей охладиться до обыкновенной температуры, не открывая крышки.

Применяется сажа главным образом в цветнопламенных составах вместо угля во избежание получения мелких искр.

Сера

S·M=32,07

По внешнему виду сера представляет плотное, крупное вещество желтого цвета, без запаха и вкуса. Точка

плавления 113° С (моноклинической 119° С), точка кипения 446,6° С, точка воспламенения 260° С. Уд. вес — 1,97—1,99 (черенковая сера) и 2,04—2,07 (октаэдрическая, неочищенная сера). Нерастворима в воде, спирте, эфире.

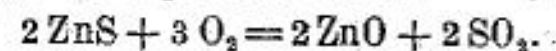
Растворяется во многих органических растворителях, в жирных маслах, в хлороформе и особенно в сероуглероде и хлористой сере, а также в щелочах.

В продаже встречается в виде черенковой серы и тонкого порошка, называемого серным цветом. Для пиротехнических составов употребляется исключительно черенковая сера, как наиболее чистое вещество, освобожденное от посторонних примесей.

Серный цвет, получаемый в виде мелкого порошка, при быстром охлаждении паров кипящей серы, всегда имеет нежелательные для составов примеси кислого характера: сернистый ангидрид и серную кислоту. Сера по своей природе для некоторых составов является незаменимым горючим, особенно в составах цветных огней, способствуя образованию чистых оттенков цвета пламени.

Существует мнение, что сера во влажной среде под действием воздуха заметно окисляется, вследствие чего употребление ее в хлоратных смесях становится недопустимым без принятия мер, устраняющих возможность образования кислотности (SO_2 , H_2SO_4). Сера хорошо соединяется со многими элементами, особенно при нагревании.

Сернистые металлы при накаливании в воздухе разлагаются, выделяя сернистый газ:



При соединении серы с кислородом выделяется тепла почти в два раза меньше, чем при соединении кислорода с чистым углеродом (на 1 атом кислорода), что сказывается на горении серных двойных основных смесей.

Смесь серы с таким окислителем, у которого процесс отщепления кислорода является эндотермическим процессом, будет гореть самостоятельно только тогда, когда количество теплоты сгорания серы в кислороде будет избыточным в сравнении с количеством теплоты, потребной для отщепления кислорода у окислителя. Вот почему серно-селитренные смеси при поджигании не горят и начинают гореть самостоятельно только при сильном предварительном подогреве их.

Магний

$Mg \cdot M = 24,32$

Магний представляет собой порошок белого цвета, имеет металлический блеск, подобно серебру. Уд. вес—1,75. Температура плавления— $650^{\circ}C$ и кипения— $1\ 120^{\circ}C$.

При нагревании на воздухе магний в порошке воспламеняется около $550^{\circ}C$ и сгорает, образуя окись (MgO). Магний в порошке уже при комнатной температуре действует на воду, выделяя из нее водород. При $100^{\circ}C$ разложение воды идет менее энергично, повидимому, вследствие образования на поверхности металла слоя окиси. В разбавленных соляной, серной и азотной кислотах энергично растворяется, при этом выделяется водород.

При тушении горящего порошка магния водой происходит взрыв, потому что при высокой температуре горения магния вода разлагается на составные части. Магний является одним из наиболее теплотворных элементов. Он стоит почти на первом месте в ряде теплообразующих элементов.

Большое химическое сродство к кислороду и громадное количество тепла, выделяемое при сгорании магния, производят такое расщепление окислителя, при котором магний отнимает весь кислород у окислителя и выделяет металл из окислов и нитратов в свободном состоянии. Следствием этого является весьма энергичное горение двойных основных магниевых смесей. Такие смеси, в виде порошка, сгорают со вспышкой. Ими пользуются в фотографии для моментальных снимков при недостаточном освещении, так как в процессе сгорания они дают много актиничного света.

Алюминий

$Al \cdot M = 26,97$

Алюминий — металл белого цвета, напоминающий цвет олова. Уд. вес—2,7. Температура плавления— $658^{\circ}C$, а кипения—выше $1\ 800^{\circ}C$.

Горит в чистом кислороде в виде тонкого листа, а на воздухе—в виде мелкого порошка при попадании в пламя газовой горелки. По опытам Меца, в пылаобразной форме он выделяет, при комнатной температуре,

водород из воды; более значительное выделение наблюдается при $100^{\circ}C$. В амальгмированном состоянии энергично разлагает воду. Хорошо растворяется в соляной кислоте и растворах щелочей.

Соляная и серная кислоты как в разбавленном, так и в концентрированном состоянии при повышенной температуре растворяют алюминий. Крепкая же азотная кислота (95%) почти не оказывает на него влияния. Обычными примесями в алюминии являются кремний и железо, в незначительном же количестве могут быть: медь, свинец, марганец, цинк. Иногда в большом количестве в алюминиевом порошке находятся масла и жиры, легко удаляемые бензином или эфиром.

Алюминий по теплотворной способности стоит рядом с магнием и потому аналогично ему действует на окислы металлов и окислители. Двойные смеси его с окислами металлов и окислителями в порошке также сгорают со вспышкой. Запрессованные смеси алюминия горят медленнее, чем такие же смеси магния.

В пиротехнике алюминий употребляется в виде порошка, измельченного в различной степени. При сгорании дает яркий белый свет, подобный магниевому. Применяется в осветительных, зажигательных и трассирующих средствах.

Железо

$Fe \cdot M = 55,84$

Порошок железа имеет темный цвет, уд. вес—7,85. Температура плавления— $1\ 520^{\circ}C$, кипения— $2\ 450^{\circ}C$.

Железо употребляется в виде опилок различной величины для получения искр в динамических составах или в виде порошка, который получается при восстановлении окиси железа водородом для зажигательных смесей.

Цинк

$Zn \cdot M = 65,38$

Цинк—металл белого цвета с голубоватым оттенком, цинк в виде порошка—темносерого цвета, уд. вес—7,12. Температура плавления— $419^{\circ}C$, кипения— $929^{\circ}C$.

Цинк, нагретый до $200^{\circ}C$, делается хрупким. Пары цинка на воздухе сгорают ярким голубовато-белым пла-

менем. При накаливании стружки цинка воспламеняются и сгорают.

Во влажном воздухе или воде, содержащей воздух, цинк покрывается плотным беловатым или серым налетом основной углекислой соли $2\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2$. Этот налет служит защитным слоем от дальнейшего действия воды и углекислого газа. Раскаленный цинк разлагает пары воды, при этом выделяется водород.

Порошкообразные Zn и S, смешанные между собой, реагируют при наличии влажности.

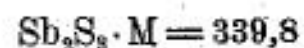
Для образования искр цинк применяется в виде крупных опилок или в виде порошка.

Сурьма



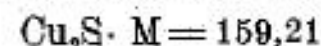
Сурьма имеет серебристый или серо-белый цвет, сильный блеск, уд. вес—8,6. Температура плавления— 630°C , температура кипения 1440°C . Она хрупка и легко превращается в порошок. При обыкновенной температуре сурьма не изменяется на воздухе. При накаливании выше температуры плавления горит белым с синеватым оттенком пламенем. Смеси порошка сурьмы с нитратами и хлоратами сгорают со вспышкой. Применяется для составов белого огня.

Антимоний (трехсернистая сурьма)



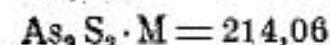
Антимоний имеет вид кристаллических кусков черно-серого цвета, как графит, с металлическим блеском, уд. вес—4,62. Антимоний хрупок и легко превращается в мелкий порошок серо-черного цвета. Температура плавления— 546°C . В воде нерастворим, а растворяется в щелочах и соляной кислоте. В смеси с хлоратами образует весьма энергично горящие двойные смеси, обладающие большой чувствительностью к удару и трению. С нитратами двойные смеси не имеют той энергии горения, которая наблюдается у хлоратных смесей, эти смеси горят медленно, а в некоторых случаях как будто только тлеют. Применяется в составах белого огня и для ударных и терочных (фрикционных) составов, воспламеняющихся от удара или трения.

Полусернистая медь



Полусернистая медь в кусках имеет темносерый блестящий цвет, подобно антимонию. В воде нерастворима, уд. вес—5,6. Плавится при температуре 1135°C без разложения. В смеси с окислителями ведет себя аналогично антимонию. Применяется для составов синего огня.

Реальгар (двусернистый мышьяк, красный мышьяк)



Реальгар имеет вид аморфных красных или бурокрасных стеклоподобных масс с просвечивающими краями. Уд. вес—3,5. В воздухе при нагревании разлагается с образованием As_2O_3 и SO_2 . Применяется для образования составов белого огня, но по ядовитости продуктов сгорания очень опасен при употреблении.

Парафин

Белое воскоподобное вещество, представляющее смесь твердых насыщенных углеводородов метанового ряда $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ с содержанием в молекуле около 27 углеродных атомов.

В технике различают „мягкий“ парафин, имеющий температуру плавления $38-48^\circ\text{C}$, и „твердый“—с температурой плавления $52-62^\circ\text{C}$.

По внешнему виду представляет собой белую кристаллическую просвечивающую массу (крупные чешуйки), без запаха и вкуса, уд. вес—0,88—0,92.

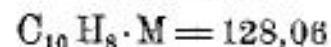
Растворяется в эфире, бензине и сероуглероде. Кислоты и щелочи на него не действуют. Оценка парафина производится по его температуре плавления: чем она выше, тем продукт ценнее. В природе встречаются отдельные залежи твердых парафиновых углеводородов в виде горного воска или озокерита, известного в очищенном состоянии под названием церезина, плавящегося при более высокой температуре, чем парафин.

Церезин

Церезин—воскообразное вещество желтого или белого цвета, без запаха, пластичен. Уд. вес—0,92, температура плавления— $60-75^\circ\text{C}$. С энергичными окислителями церезин

зин образует хорошо горящие двойные смеси, а с менее энергичными — едва горящие смеси.

Нафталин

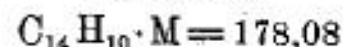


Нафталин представляет собой моноклинические белые кристаллы с особым запахом. Имеет температуру застывания $79,8^{\circ}C$ и температуру плавления $80,06^{\circ}C$. Точка кипения — $218^{\circ}C$, уд. вес — 1,145—1,510. Легко сублимируется (возгоняется) при обыкновенной температуре. В воде нерастворим, но легко растворяется в бензине, бензоле, толуоле, спирте, хлороформе, сероуглероде, парафиновом масле, фенолах и уксусной кислоте.

Чистый нафталин, будучи сжатым между фильтровальной бумагой, не дает жирного пятна.

Применяется в составах черного и белого дыма.

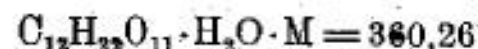
Антрацен



Антрацен — ароматический углеводород, находится в каменноугольной смоле. При повторных очистках получается очищенный антрацен — рыхлая снегообразная масса желтовато-белого цвета с содержанием антрацена до 90%. Совершенно чистый продукт образует бесцветные кристаллы, имеющие температуру плавления $217^{\circ}C$ и кипящие при $351^{\circ}C$. В воде нерастворим. В спирте и эфире растворяется плохо.

Применяется как заменитель нафталена в дымовых составах.

Молочный сахар (лактоза)

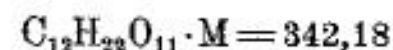


По внешнему виду молочный сахар представляет собой чисто белый порошок, растворяющийся на холоде в 6 вес. частях воды и при нагревании — в 2,5 вес. частях.

Нерастворим в спирте, эфире и хлороформе. Вкус слабо-сладкий. Температура плавления — $200^{\circ}C$. Применяется для составов как легко горючее органическое вещество. Молочный сахар — наиболее подходящее горючее для дымовых составов, образованных на принципе

возгонки органического красителя, вероятно, потому, что в продуктах сгорания образуется много водяных паров, способствующих улучшению возгонки красителя.

Тростниковый пищевой сахар (сахароза)

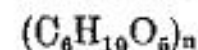


Сахароза по внешнему виду представляет собой кристаллическое вещество белого цвета, без запаха, очень сладкого вкуса.

Плавится при $185^{\circ}C$ с небольшим разложением, при охлаждении застывает в виде аморфной стекловидной массы.

Сахар хорошо растворим в воде, особенно в горячей, и легко дает густые пересыщенные растворы — сиропы. Находит применение наравне с молочным сахаром для дымовых составов.

Крахмал



По внешнему виду крахмал является массой белого цвета, состоящей из мелких зернышек, уд. вес — около 1,5. Крахмал нерастворим в холодной воде, в горячей же сильно разбухает, давая густой коллоидальный раствор, известный под названием крахмального клейстера. Обыкновенно крахмал в воздушно-сухом виде содержит 10—20% воды.

При кипячении с разбавленными кислотами крахмал полностью превращается в глюкозу. При осторожном гидролизе кислотами или при нагревании воздушно-сухого крахмала происходит неполный его гидролиз с образованием менее сложных, чем крахмал, но все же довольно сложных полисахаридов, называемых декстрином.

От силы гидратации декстринов зависит цвет окрашивания их с иодом; при сильной гидратации получается окрашивание фиолетовое, еще более сильной — бурое, наконец, наиболее сильно гидролизованные продукты не дают с иодом никакого окрашивания.

Декстрины — это смеси различных полисахаридов. Для составов применяются крахмал и декстрины, образующие с окислителями смеси, подобные смесям с сахаром.

Шеллак

Шеллаком называется смолообразная масса, получаемая из гуммилака, который представляет собой смолу, образующуюся из сока растений различных видов фикуса и гуммилакового дерева.

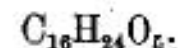
От укулов молодых ветвей насекомыми вытекает смолистый сок и, стекая на более толстые ветви, застывает слоями толщиной до нескольких сантиметров. Сюда насекомые кладут свои яички. Засохший сок с выделениями насекомых (красящие и воскообразные вещества), подвергнутый измельчению и промыванию для извлечения красящего вещества, называется гуммилаком в зернах. Для получения шеллака зерна гуммилака измельчают в порошок и нагреванием с водным щелоком освобождают от красящего вещества, а затем сплавляют. Смолу в расплавленном состоянии наносят тонким слоем на металлическую поверхность; этим достигается образование тонких пластинок, которые измельчают в тонкие пластинки — чешуйки. По внешнему виду шеллак представляет собой хрупкие, острогранные, тонкие просвечивающие пластинки от оранжево-желтого до буроватого цвета.

Химический состав шеллака еще хорошо не выяснен. Шеллак состоит из шеллаковой смолы и шеллакового воска. Уд. вес—1,009—1,036 и температура плавления—115—120°C. В воде нерастворим. Растворимость в спирте достигает 95%, в эфире—18%, в петролейном эфире—6%, в хлороформе—15%, в бензине—20%.

Шеллак трудно измельчается в порошок растиранием в ступке. Для облегчения измельчения шеллака рекомендуется применять его в виде сплава с селитрами при осторожном нагревании не выше 130°. Хорошо перемешанная селитра с расплавленным шеллаком по охлаждению легко измельчается в тонкий порошок, который, после выщелачивания из него горячей водой селитры, дает мелкий порошок шеллака.

Двойные смеси его с нитратами горят медленно, почти без дыма, с пламенем, окрашенным в красный цвет от стронция, в бледнозеленый—от бария. С хлоратами образует более энергично горящие смеси, тоже с окраской пламени, считающейся стандартной по своей чистоте и яркости. Шеллак является одним из лучших органических цементаторов и горючих для образования

пламенных цветных составов. Приписываемая ему формула:



Канифоль

Канифоль является продуктом перегонки живицы — смолы, добываемой путем подсочки (искусственного поранения) коры хвойных деревьев. При перегонке живицы с паром отгоняется скипидар, а твердый остаток после очистки представляет собой канифоль. Куски канифоли имеют цвет от светложелтого до светлокорицевого. Масса хрупкая, полупрозрачная, стекловидная, со своеобразным запахом. Уд. вес—1,07—1,08.

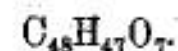
При нагревании канифоль начинает размягчаться при температуре около 70°C и плавиться при 107—135°C. Растворяется в спирте, эфирных маслах и жирах. В воде нерастворима. На воздухе изменяется вследствие окисления.

С окислителями образует смеси, медленно горящие или вовсе не горящие, в зависимости от энергии взятого окислителя. Условно канифоли приписывается формула $C_{20}H_{30}O_2$.

Идитол

Идитол представляет собой искусственную смолу, получаемую конденсацией фенола с формалином в присутствии катализатора, и относится к группе плавких смол, которые при нагревании размягчаются и плавятся, а по охлаждении вновь затвердевают. Идитол по внешнему виду напоминает канифоль. Куски идитола прозрачны, стекловидны, хрупки и легко измельчаются в мелкий порошок. Цвет—от светложелтого до темножелтого оттенка. Температура плавления—80—110°C. Начало размягчения хороших сортов смолы при нагревании—около 90°C. Содержание фенола, отгоняемого паром, доходит до 4%. Нерастворим в воде. Хорошо растворяется в спирте и ацетоне.

Имеет формулу:



В составах с успехом заменяет собою шеллак. Составы с ним горят энергичнее шеллачных составов.

Аравийская камедь (гуммиарабик)

Аравийская камедь имеет вид неправильных, округленных или угловатых кусков, цвета от желтоватого до бурого.

Поверхность кусков неровная, со стеклянным блеском. Как на поверхности кусков, так и в изломе замечаются многие тонкие трещинки, характеризующие аравийскую камедь. Гуммиарабиком, или аравийской камедью, называют застывший на стволах и ветвях сок акаций, растущих в Северной Африке. В жаркое время года сок выделяется из трещин коры и затвердевает на воздухе. Без запаха. Уд. вес—1,316—1,482. На воздухе не изменяется. В тепле куски крошатся и потом легко превращаются в порошок белого цвета.

Аравийская камедь медленно растворяется в равном по весу количестве воды, образуя густую слизистую жидкость. Раствор в холодной воде прозрачен, а в горячей мутноват. Имеет кислую реакцию. В спирте, эфире, жирных и эфирных маслах аравийская камедь не растворима. Спирт, бура, соли окиси железа вызывают загустевание водного раствора гуммиарабика в виде плотного студня. Применяется как склеивающее вещество в составах.

Олифа

Олифами называются окисленные высыхающие масла, полученные продолжительной варкой жидких растительных масел, преимущественно с сиккативами или сушками, способные в тонком слое быстро затвердевать в твердый, упругий, блестящий, непроницаемый для воды и воздуха покров или пленку.

Олифы готовятся из масел: льняного, конопляного, макового, орехового, подсолнечного, но главным образом из льняного. Варка и прибавка сушек имеют целью повысить способность высыхания масла главным образом из-за окисления его кислородом воздуха и полимеризации, причем сиккативы действуют как катализаторы, способствуя поглощению маслом кислорода из воздуха.

В тонком слое олифа имеет темножелтый или желто-коричневый цвет. Уд. вес—0,935—0,948. Оценкой ее является время высыхания, которое для хороших сортов составляет 8—15 час. и не превышает 24 час.

Образующаяся пленка должна быть твердой, блестящей, эластичной и не липкой. В пиротехнических составах олифа употребляется как хорошее склеивающее вещество, но сравнительно долгое высыхание ее является нежелательным явлением. Состав, склеенный олифой, после высыхания представляет собой прочную монолитную массу, трудно раздавливаемую и неспособную крошиться.

ОБРАЗОВАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Существующие принципы образования составов основаны на реакциях горения. Умело и обоснованно сочетая окислитель с горючими веществами, образуем первичную смесь, состоящую из двух компонентов.

Определенный вид горения создается в зависимости от природы взятых веществ при взаимодействии их между собой.

Горение может быть медленным, быстрым и очень быстрым. Оно может давать объемистое пламя, высокий термический эффект, дым или давление газообразных продуктов. Эта первичная двойная смесь и является основой всякого состава и называется основной смесью. Она может быть названа составом, если создает нужный эффект, но в большинстве случаев составы получаются в результате соединения нескольких первичных двойных смесей в одну общую смесь.

Основные смеси

Как было сказано выше, основную смесь образуют перемешиванием двух веществ между собой. Эта смесь называется двойной основной смесью.

Помимо сочетания двух веществ для образования смеси, можно получить основную смесь и из трех компонентов, состоящую из одного окислителя и двух горючих веществ. Такие смеси называются тройными основными смесями.

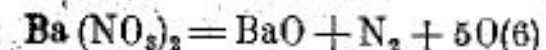
Из сочетания трех веществ можно получить смесь наиболее быстро горящую. Количественное соотношение веществ смеси определяется реакцией горения смеси. Для облегчения написания уравнения реакции взаимо-

действия окислителя с горючим следует придерживаться следующих правил:

- 1) представить реакцию взрывчатого разложения взятого окислителя;
- 2) написать реакцию горения взятого горючего в чистом кислороде;
- 3) уравнивать коэффициенты у атомов кислорода и
- 4) сложить написанные равенства.

Такой порядок устраняет трудность подбора числа молекул веществ, вступающих во взаимодействие. Для более ясного представления о сказанном рассмотрим пример. Нужно определить количественное отношение смеси из нитрата бария $Ba(NO_3)_2$ и крахмала $C_6H_{10}O_5$.

При составлении этой смеси пишется предположительная реакция взаимодействия взятых компонентов следующим образом. Реакция взрывчатого разложения окислителя может быть такая:

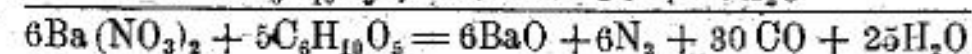
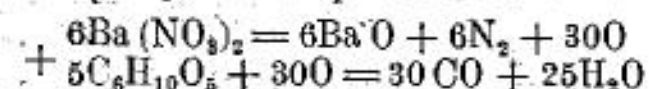


Кислород пишется в атомном виде, но не в молекулярном, что гораздо удобнее для подсчета. Реакция окисления крахмала в чистом кислороде в случае недостатка последнего примет следующий вид:



Для того чтобы уравнивать коэффициенты у кислорода, необходимо коэффициенты первой реакции увеличить в 6 раз, а второй — в 5 раз (в скобках указаны эти множители).

Складываем полученные равенства:



получаем реакцию взаимодействия между взятыми веществами.

Числа молекул, участвующих в реакции, вполне определяют количественные соотношения веществ и позволяют легко определить рецепт смеси. Эти вещества в граммолекулярных количествах получаются:

для бариевой селитры	$6 \cdot 261 = 1566 \text{ г}$
„ крахмала	$5 \cdot 162 = 810 \text{ „}$
Всего смеси	2376 г

или в процентах:
бариевой селитры

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

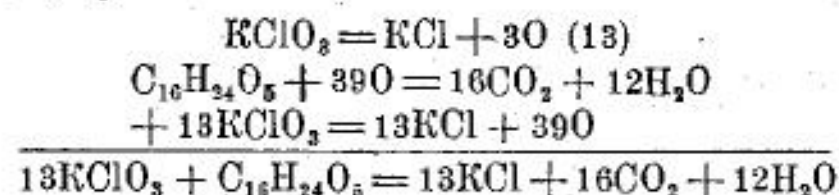
крахмала

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

с точностью подсчета до целых чисел.

Если смесь рассчитывается на полное сгорание углерода горючего вещества, то в продуктах горения будет находиться не CO , а CO_2 ; например, нужно определить количественное соотношение веществ основной смеси хлорат калия — шеллак, или, как говорят, определить рецептуру этой смеси.

Определение соотношения основных веществ совершается указанным выше способом:



Реакция горения смеси указывает, что соотношение компонентов выражается 13 граммолекулами окислителя и 1 граммолекулой горючего, а отсюда рецепт смеси:

$$\begin{aligned} \text{для бертолетовой соли} & \dots 13 \cdot 122,6 = 1593,8 \text{ г} \\ \text{„ шеллака} & \dots 1 \cdot 296,2 = 296,2 \text{ „} \\ \hline \text{Всего смеси} & 1890 \text{ г} \end{aligned}$$

или в процентах:
бертолетовой соли

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

шеллака

$$\frac{296,2}{1890} \cdot 100 = 15,7\%.$$

В конце книги приведены таблицы для быстрого определения рецепта основной смеси. Пользоваться ими весьма просто, например для только что указанной смеси

рецептуру по таблицам находят следующим образом. В табл. I „окислители“ против хлората калия стоит в графе 3 „2,55“, а в табл. II „горючие вещества“ в графе 4 против названия горючего вещества — шеллак — стоит „0,47“.

Этим цифрами указывается количество вещества, которое должно входить в смесь; цифры определяют рецептуру этого состава:

$$\begin{aligned} \text{бертолетовой соли} & \dots 2,55 \text{ г} \\ \text{шеллака} & \dots 0,47 \text{ „} \\ \hline \text{Всего смеси} & 3,02 \text{ г} \end{aligned}$$

или в процентах:

$$\begin{aligned} \text{бертолетовой соли} & \dots \frac{2,55}{3,02} \cdot 100 = 84,4\%; \\ \text{шеллака} & \dots \frac{0,47}{3,02} \cdot 100 = 15,6\%. \end{aligned}$$

Обычно же рецепт смеси выражается в целых числах, и потому для нашей хлоратно-шеллачной смеси он будет:

$$\begin{aligned} \text{бертолетовой соли} & \dots 84\% \\ \text{шеллака} & \dots 16\% \end{aligned}$$

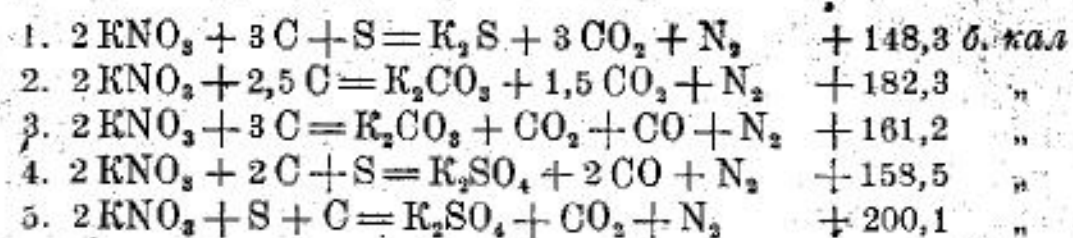
К двойным основным смесям примыкают тройные смеси, которые можно рассматривать как происходящие от смешения двух двойных, имеющих один и тот же окислитель, но разные горючие. При сравнении свойств тройной смеси со свойствами составляющих ее двойных смесей обращается внимание на следующее обстоятельство. Казалось бы, что скорость сгорания тройной смеси должна была находиться между пределами скоростей сгорания двойных смесей, а на самом деле практика показывает, что скорость сгорания тройной смеси далеко выходит за пределы наиболее быстро горящей двойной смеси.

Причину происходящего явления нужно искать в сопряженности реакции. При возникновении реакции горения в первую очередь начинает сжигаться горючее с большим химическим сродством к кислороду. Выделяющаяся теплота создает улучшенные условия для сжигания второго горючего. Начавшееся горение его в свою очередь способствует более энергичному горению первого, и процесс, быстро нарастая, доходит в скорости до

возможного предела. Происходит концентрация теплоты сгорания, что способствует усилению энергии горения, отчего увеличивается скорость. Каждое из горючих в отношении друг друга служит своеобразным побудителем, ускоряющим начавшуюся реакцию; каждое улучшает условия горения другого.

Следствие этих явлений: скорость горения тройной смеси превышает скорость горения двойных смесей. Горение тройных смесей совершается по иному пути — по пути, не обусловливаемому горением составляющих смесей.

Иллюстрацией сказанного может служить обычная тройная пороховая смесь из селитры, серы и угля. Состав ее можно рассматривать как смесь двух двойных смесей: селитра + уголь и селитра + сера. Каждая из этих смесей имеет свою предельную скорость, которая для первой смеси будет равна 2 мм в секунду, между тем как вторая в обыкновенных условиях при поджигании совсем не горит и горит слабо только в нагретом до 100°С состоянии. Пороховая же тройная смесь сгорает уже со скоростью от 15 до 10 мм в секунду. Реакция горения тройной смеси имеет несколько видов и зависит от условий, при которых горение происходит. Большое значение в этом вопросе имеет давление, при котором совершается горение. Вообще же процесс горения этих смесей весьма сложен. Для примера можно указать заключение Бертелло по исследованию им процессов горения дымного пороха. Он находит, что этот процесс представляет собой комбинацию следующих основных реакций:



Все основные смеси можно расположить в три группы по характеру их горения: быстро горящие, медленно горящие, совсем не горящие при обычных условиях.

Смеси первой группы при горении образуют много сильно нагретых газов, упругостью которых часто пользуются для приведения в движение разнообразных объектов. Ко второй группе относятся смеси, при медленном горении которых возникает большое пламя.

Третья группа включает смеси, неспособные загораться при обычных условиях, но горящие в соединении со смесями первых двух групп. Служат они для замедления горения и потому носят название замедляющих смесей. В то же время каждая смесь из этих групп может давать окрашенное в один из цветов спектра пламя, и тогда они называются еще окрашивающей смесью.

Как было указано выше, знание свойств смеси позволит быстро ориентироваться в вопросе получения нужного пиротехнического эффекта при образовании состава. Поэтому для начального ориентирования в конце книги приводится список наиболее употребительных основных смесей с указанием скорости горения и окраски¹.

Составы

Всякий пиротехнический состав образуется из основных смесей. Смешивая их, получают сложную смесь — состав. В зависимости от назначения состава берут основные смеси с соответствующими свойствами. Классифицировать составы можно по разным признакам, но целесообразнее всего — по эффекту их действия, а потому все составы можно распределить на группы: 1) составы динамические, 2) составы пламенные, 3) составы дымовые. В свою очередь каждая указанная группа распадается по цели своего назначения на ряд более мелких подгрупп.

Первая группа может быть разделена на составы фороновые, ракетные и фонтанные. Эти составы находят применение лишь в мирной пиротехнике.

Вторая группа является наиболее многочисленной, в нее входят подгруппы: а) осветительные, б) сигнальные, в) зажигательные, г) трассирующие и другие составы.

И, наконец, третья группа включает составы, образующие дым различных цветов.

Динамические составы

Составы этого рода должны удовлетворять следующим основным требованиям: быстро гореть, при горении

¹ Список заимствован из курса „Опыт рациональной пиротехники“ П. Цитовича и дополнен некоторыми новыми смесями. Времена горения состава указаны ориентировочно и требуют проверки.

давать достаточное количество газообразных продуктов для создания необходимого давления. Горение состава должно сопровождаться возможно меньшим образованием твердого состава (шлака). Он должен быть рыхлым. Если же остаток будет получаться плотным и вязким, то при сжигании состава в трубках он будет с трудом выбрасываться и частично оставаться в них, что будет задерживать выход газов и повлечет разрыв трубки от чрезмерного давления.

Перечисленным условиям вполне удовлетворяют тройные основные смеси и немногие из двойных смесей. В чистом виде они являются слишком сильными для многих видов применения вследствие быстрого газообразования при горении в трубках. Последние не выдерживают давления и рвутся. Ослабление составов достигается уменьшением скорости их сгорания, что заметно снижает газообразование в единицу времени и уменьшает давление. Газы успевают удалиться из трубки, не разрывая ее.

Понижение скорости горения достигается следующими мерами:

- 1) введением в смесь горючего вещества, содержащего в составе углерод, сгорающий за счет кислорода тройной смеси;
- 2) введением в смесь вещества индифферентного;
- 3) введением в смесь другой основной смеси, но горящей при обычных условиях на воздухе самостоятельно, и
- 4) увеличением плотности смеси.

Прибавлением к смеси углеродистого горючего вещества достигают замедленного процесса горения; при этом уменьшается количество образующихся газов в единицу времени и уменьшается температура их, что в совокупности создает понижение разрушительного действия смеси. Вводя в смесь индифферентные вещества, отнимают часть теплоты на нагревание прибавленного вещества, отчего температура выделяющихся газов снижается и уменьшается давление. Энергия горения такой смеси также снижается и потому, что составные части ее разъединяются инертным веществом.

Такое же влияние на горение смеси оказывает и прибавка к ней двойной смеси, медленно горящей или не горящей на воздухе при обычных условиях.

И, наконец, замедление горения смеси происходит от увеличения плотности ее. Горение смеси в рыхлом со-

стоянии происходит по всей поверхности отдельных частичек. Горячие газы, образовавшиеся в первый момент при зажигании, быстро проникают в массу смеси и зажигают все отдельные частицы — смесь сгорает со вспышкой.

При сильном же уплотнении смеси прессованием отдельные частички будут сближены между собой настолько, что промежутки между ними сделаются весьма малыми, и горячие газы не смогут проникнуть в глубину массы смеси. Горение смеси будет происходить постепенно, параллельными слоями, и продолжительность времени горения увеличится.

Уменьшение скорости горения смеси путем уплотнения может быть доведено только до некоторого предела, дальше которого скорость делается уже постоянной, несмотря на дальнейшее увеличение плотности смеси.

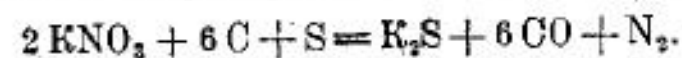
Таким образом, для получения состава необходимой силы, руководствуясь изложенными соображениями, берут подходящую тройную смесь и ослабляют ее указанным выше способом. В зависимости от степени разбавления получается целый ряд составов, отличающихся друг от друга быстротой своего горения.

Одной из сильных тройных основных смесей является обыкновенная пороховая смесь из селитры, серы и угля. Ею обыкновенно и пользуются для получения динамического состава. Этого рода состав употребляется для таких пиротехнических объектов, как форсы, ракеты, фонтаны, саксонское солнце и т. п. Эти объекты, или, как их еще называют, фейерверочные фигуры, могут сами двигаться или сообщать движение целой системе комбинаций из одиночных фигур.

По производимому ими эффекту они носят соответствующие названия.

Форсовые составы являются наиболее сильными из них, так как они предназначены для приведения в движение целой системы одиночных фигур.

Для составления их берется тройная пороховая смесь и разбавляется мелким древесным углем в таком количестве, которое заставляет гореть смесь в направлении образования окиси углерода:



По этой реакции видно, что угля требуется в два раза больше, чем его находится в пороховой смеси, а так как угля по теоретическому составу содержится 13%, то и добавка его выразится в 13 вес. частях на 100 вес. частей пороховой мякоти.

Таким образом, основной форсовый состав будет образован из 100 вес. частей пороховой мякоти и 13 вес. частей мелкого древесного угля. Форсовый состав, приготовленный из заводской пороховой мякоти и весьма тонко измельченного угля, все-таки еще является чересчур сильным для объектов; при горении он большей частью рвет бумажные гильзы. Для получения вполне надежного состава в действии прибегают к другому способу приготовления. Состав готовится не из заводской пороховой мякоти, а из отдельных составных материалов по рецепту:

селитры	75 вес. частей
серы	12 " "
угля древесного	26 " "

Степенью измельчения и смещения их достигается различная сила состава. Чем лучше измельчены и смешаны материалы, тем совершеннее горение состава и сильнее его действие.

Искристость струи получается примешиванием к составу крупных частичек таких веществ, которые могли бы при горении состава сильно накаливаться и, выброшенные газами из объекта, полностью или частично сгорать в воздухе, производя эффект летящих ярких световых точек. Удобными в этом отношении веществами являются крупные частички угля твердой породы дерева и крупные опилки железа, чугуна, стали, меди, цинка, алюминия и некоторых сплавов.

Прибавление к форсовому составу, они придают искристость пламени и еще более ослабляют силу действия состава, потому что на раскаливание их тратится некоторая часть тепла.

Пламенные составы

Пламенными составами называются медленно горящие составы, образующие при горении пламя без искр. Пламя может быть окрашено в любой цвет спектра, а потому составы, дающие такое пламя, называются

составами цветных огней. В зависимости от яркости и цвета пламени, составы имеют различное применение.

Яркое, блестящее, белое пламя служит для освещения, и объекты с этим составом называются осветительными средствами. Изделия же с составами, горящими цветным пламенем, служат для сигнальных целей и называются сигнальными средствами. Помимо военного применения, эти составы используются в увеселительных зрелищах, называемых фейерверками.

Пламя, как известно, представляет собой поток постоянно возобновляющегося раскаленного газа, в сфере которого могут находиться твердые частицы.

Яркость пламени зависит от природы содержащихся в нем веществ, от их температуры и плотности. Главным фактором яркости пламени являются твердые, неплавкие частички веществ, находящиеся в нем. Чем выше температура пламени, тем более благоприятные условия создаются для яркости его. При высокой температуре, начиная с 1500°C , наступает для твердых тел яркое белое каление, усиливающееся с дальнейшим повышением температуры, что обуславливает белый цвет и яркость пламени. Но совершенно иной характер имеет лученоспускание раскаленных газов и паров летучих веществ. Эти вещества характеризуются лученоспусканием света только в известных пределах, содержащих лучи определенной преобладаемости, выражающиеся спектром, который состоит из отдельных световых линий, различных для каждого газа или пара.

Замечено, что наибольшая чистота и интенсивность окраски пламени наблюдаются при горении составов, имеющих своим компонентом хлор.

Для получения цветных огней высокого качества применяют бертолетову соль KClO_3 , или перхлорат калия KClO_4 . Вопросы окраски пламени и силы света в настоящее время находятся еще в стадии начального изучения и для полного выяснения требуют большой опытной работы. В основе образования пламенных составов лежат двойные основные смеси, горение которых при комбинировании друг с другом и создает нужный пламенный эффект.

Осветительные составы

Для получения яркого белого пламени нужно пользоваться двойными смесями, горение которых сопровож-

дается большим выделением тепла, создающим высокую температуру пламени, в котором могли бы сильно накаливаться твердые частички трудноплавких веществ.

До открытия хлоратов в основу бралась двойная смесь — селитра + сера. Хотя эта смесь сама по себе, при обыкновенной температуре, и не горит, но если к ней прибавить небольшое количество двойной смеси — селитра + уголь или тройной пороховой смеси, то получается медленно горящий состав, образующий довольно яркое белое пламя. Яркость его можно увеличить прибавкой двойной смеси — селитра-антимоний.

Подходящий состав выбирается следующим образом: берется постоянное количество основной смеси и к ней прибавляется другая смесь, имеющая свойства, необходимые для требуемого пиротехнического эффекта, в количестве меньшем, чем количество основной смеси, или равном ей. Затем количество это постепенно увеличивают до тех пор, пока получившийся состав не начнет давать худшие результаты.

Для наглядного примера рассмотрим образование состава белого огня, указанного выше. Основной смеси селитра + сера берем 100 вес. частей. К ней прибавляем тройной пороховой смеси 25 вес. частей, а затем прибавку второй смеси увеличиваем постепенно на 25 вес. частей и таким образом получаем ряд составов постепенно меняющейся рецептуры. Приводимая на стр. 43 таблица показывает весь ход вычисления.

Выбрав наиболее удовлетворительный рецепт, для улучшения яркости пламени начнем таким же порядком прибавлять двойную смесь селитра + антимоний и, постоянно пробуя получаемый новый состав, останавливаемся на лучшем из них. Приводимая на стр. 44 таблица иллюстрирует сказанное.

Таким образом, взяв в различных соотношениях те или иные основные смеси, получим состав, обладающий нужными световыми свойствами. Лучшие же световые эффекты получаются при горении магния, алюминия и некоторых редких металлов: церия, тория. Поэтому для получения осветительных составов наибольшей яркости пламени и применяются в составах алюминий и магний как металлы доступные в технике.

Двойные смеси окислителя с порошками этих металлов в незапрессованном состоянии сгорают очень быстро. Сжигаемые в небольших количествах (1—5 г) кучкой,

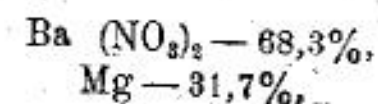
№ смеси	Основные смеси	Кол-во частей, вес. ч.	Состав основных смесей			Остаток образующей смеси			Процентное содержание полученного состава			Рецепт с окружением до целых чисел		
			селитра KNO_3	сера S	уголь	селитра KNO_3	сера S	уголь	селитра KNO_3	сера S	уголь	селитра KNO_3	сера S	уголь
1	Селитра — сера . . .	100	76	24	—	94,75	27,00	3,25	75,8	21,3	2,9	76	21	3
	Пороховая мякоть . .	25	75,4	12,4	13,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Селитра — сера . . .	100	76	24	—	113,5	30	6,5	75,7	20	4,3	76	20	4
	Пороховая мякоть . .	50	75,2	12,2	13,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Селитра — сера . . .	100	76	24	—	132,5	33	9,75	75,6	18,8	5,6	76	19	5
	Пороховая мякоть . .	75	75,4	12,4	13,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Селитра — сера . . .	100	76	24	—	151	36	13	75,5	18	6,5	76	18	6
	Пороховая мякоть . .	100	75	12	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Селитра — сера . . .	100	76	24	—	169,75	39	16,25	75,5	17,3	7,2	76	17	7
	Пороховая мякоть . .	125	75,1	12,1	13,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

№ по порядку	Основные смеси	Количество в вес. частях	Состав основной смеси				Состав образующей смеси				Процентное содержание полученного состава				Рецепт с округлением до целых чисел			
			KNO ₃	S	C	Sb ₂ S ₃	KNO ₃	S	C	Sb ₂ S ₃	KNO ₃	S	C	Sb ₂ S ₃	KNO ₃	S	C	Sb ₂ S ₃
1	Состав белого огня	100	76	20	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Селитра + антимоний	25	52, $\frac{1}{3}$	—	—	48, $\frac{1}{3}$	89	20	4	12	71,2	16	3,2	9,6	71	16	3	10
2	Состав белого огня	100	76	20	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Селитра + антимоний	50	52, $\frac{1}{2}$	—	—	48, $\frac{1}{2}$	102	20	4	24	68	13,32,7	16	68	13	3	16	—
3	Состав белого огня	100	76	20	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Селитра + антимоний	100	52	—	—	48	128	20	4	48	64	10	2	24	64	10	2	24

они дают вспышку, длительностью от 0,1 до 0,03 сек. В количествах, превышающих 10 г, они способны сгорать уже со взрывом, переходящим в детонацию, если сжигание производится в оболочках. Наоборот, в прессованном состоянии, в виде так называемых звездок, эти составы горят уже гораздо медленнее.

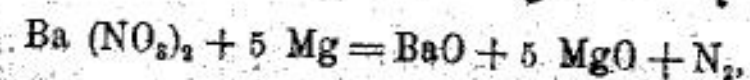
Смесь нитрата бария с магнием $Ba(NO_3)_2 + 5 Mg$, рассчитанная на полное сгорание, при уплотнении ее давлением 3000—3500 кг/см² горит со скоростью 8—10 мм в 1 сек.

Пользуясь различной степенью уплотнения, получают различные составы с большим разнообразием по времени горения и силе света. Разбавляя выбранную смесь с магнием или алюминием другой основной смесью, горящей медленно, мы можем получить ряд составов по убывающей степени яркости и увеличивающемуся времени горения. Нужно заметить, что основная смесь нитрата бария или аналогичного ему окислителя с магнием позволяет при расчете ее далеко отходить от теоретического состава в сторону нагрузки ее магнием. Например, если взять теоретически рассчитанную смесь, весовое соотношение которой выражается числами 3,27:1,52, или

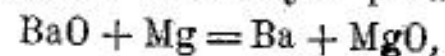


и прибавлять к ней порошок магния, то будут получаться составы все с большим и большим содержанием последнего. Яркость пламени будет возрастать, а скорость горения останется без изменения. Предел такой нагрузки смеси магнием лежит в составе с 70% содержанием магния и 30% нитрата.

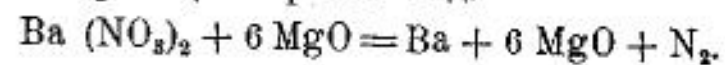
Такой рецепт смеси еще дает состав, способный гореть, но дальнейшее увеличение магния приводит к отказам в горении. Это получается потому, что магний, занимая почти первое место в таблице теплот образования окислов, обладает способностью, при высоких температурах, отнимать кислород от тех окислов, металлы которых стоят по теплообразовательной способности ниже его. Поэтому при горении указанной смеси направление реакции можно представить себе не по уравнению:



т. е. с образованием окиси бария BaO , а, принимая во внимание высказанное соображение, что между магнием и окисью бария может возникнуть реакция



направление реакции примет вид:



В этом случае выделение теплоты будет наибольшим и энергия горения предельной.

Кроме того, образуется до известной степени форсированный состав, который можно нагрузить большим избытком порошкообразного магния, потому что при горении смеси накаленные частички излишка магния и образовавшегося бария выделяющимся газом (N_2) будут выбрасываться в воздух и сгорать за счет кислорода последнего, отчего весьма значительно увеличивается яркость пламени.

При употреблении в составах магния и алюминия необходимо принимать в расчет большую реакционную способность этих металлов, находящуюся в прямой зависимости от измельчения их, особенно магния.

Влажность состава в некоторых случаях приводит не только к порче его, но даже и к самовоспламенению. Мерой устранения или, по крайней мере, наибольшего уменьшения этой способности порошков магния и алюминия может являться изоляция поверхности их от непосредственного соприкосновения с другими компонентами состава. Достигнуть этого можно, покрывая каждую частичку их какой-либо изолирующей пленкой индифферентного вещества, например, парафином, воском, целлулоидом. Поэтому важно во многих, если не во всех, случаях приготовления состава, содержащего магний или алюминий, последние предварительно парафинировать, восковать или лакировать, что одновременно имеет еще одно хорошее качество — уменьшение распыления порошков этих металлов во время приготовления состава.

Осветительные составы употребляются в изделиях обычно в виде звездок — цилиндров спрессованного состава.

Для прочности звездки употребляются склеивающие вещества: шеллак, идитол, канифоль, аравийская камедь (гуммиарабик) и др. Их употребляют в виде растворов, которыми смачивается состав перед прессованием, или

же в виде составной части как горючее; тогда состав перед прессовкой смачивается соответствующим растворителем, и клеящий раствор образуется в самом составе. Последующее высушивание звездок должно проводиться осторожно и не быстро. Раньше наивысшей допустимой температурой считалось — $35-40^\circ C$. В последние годы практика многих пиротехнических лабораторий и мастерских показала, что температуры сушки могут быть значительно превышены без ущерба для качества изделий.

СИГНАЛЬНЫЕ СОСТАВЫ

Сигнальные составы должны давать цветное пламя, хорошо окрашенное в требуемый цвет, с достаточной яркостью, чтобы быть заметным на больших дистанциях. Эта задача разрешается применением солей металлов, обладающих способностью окрашивать пламя в определенный цвет.

К таким красителям относятся металлы: натрий, окрашивающий пламя в желтый цвет, барий и таллий — в зеленый цвет, стронций и литий — в красный цвет, кальций — в розовый цвет, индий и медь — в синий цвет.

Выбор смеси, служащей основой состава, находится в зависимости от желания получить тот или иной цвет пламени.

Наиболее простое разрешение вопроса может быть достигнуто введением соответствующего красителя в виде составной части выбираемой основной смеси. Металл-краситель вводится в виде соли.

Вследствие этого основная смесь одновременно делается и смесью окрашивающей, что создает наилучшие условия для образования цветного пламени, так как состав становится не перегруженным подсобными веществами. В некоторых случаях эти подсобные вещества являются настолько необходимыми, что без них невозможно образовать состав, но по отношению к пламени они являются балластом. В силу этого лучшим составом цветного пламени будет одна основная — окрашивающая смесь.

Лучшим окислителем этой смеси будут хлораты, обладающие хорошим термическим эффектом разложения. Отщепление кислорода от хлората является экзотермическим процессом, который при соответствующих условиях может усилиться до степени взрыва.

Если освобождающийся кислород одновременно вступает в какую-нибудь термическую реакцию окисления, то скорость разложения хлората усиливается, и дальнейшее его разложение начинает протекать все скорее, а в некоторых случаях может закончиться взрывом. Поэтому хлораты сильно взрывают в присутствии горючих, при нагревании и даже при растирании или ударе. После того как взрыв начался в одном месте, в него могут быть вовлечены также и избыточные (не участвующие в самой реакции) количества хлоратов.

В силу этого хлоратные смеси и называются ударными смесями, потому что обладают высокой чувствительностью к механическим воздействиям и требуют самого осторожного обращения с ними.

Из других окислителей больше всего подходят для тех же целей нитраты с соответствующим красителем пламени. Обладая менее энергичным процессом разложения по сравнению с хлоратами, нитраты не могут дать таких же эффектов окраски пламени.

На отдельных примерах рассмотрим случаи образования состава с цветной окраской пламени.

Зеленый огонь

Из металлов, создающих зеленую окраску пламени, известны барий, таллий и медь, но пользуются исключительно только барием, соли которого вырабатываются в химической промышленности в достаточных количествах. На составы, содержащие соли меди, в литературе указаний не имеется. Если окислителем для основной смеси служит хлорат или перхлорат бария с любым горючим, из которых почти всегда на первом месте будут шеллак, нитрол и сера, то получаем состав зеленого огня — один из самых лучших составов по окраске пламени. Он состоит только из двух компонентов и не содержит в себе подсобных веществ, что в технике массового изготовления является весьма ценным качеством.

Рецептура этих составов основана на реакции горения смеси до полного окисления горючих.

При отсутствии бариевых хлората и перхлората вопрос несколько осложняется. При невозможности получить хорошую окраску от нитратных смесей приходится пользоваться, как было ранее сказано, основой состава в виде смеси хлората калия с серой, с шеллаком или с нитролом.

Эти основные смеси при горении дают необходимые термические условия, при которых создается нужная температура пламени, и пламя их легко воспринимает окраску от соответствующего красителя, который вводится второй основной — нитратной смесью.

Таким образом, чтобы образовать состав, необходимо выбрать соответствующую основу его и примешать к ней окрашивающую смесь в количестве, необходимом для получения результата, удовлетворяющего поставленным требованиям.

Отыскание этого рецепта производится так же, как и для осветительного состава. Эти смеси являются сложными составами, состоящими минимум из трех компонентов и более. В них нет тех выгодных условий образования цветного пламени, как у составов, состоящих только из одной основной — окрашивающей смеси. Они имеют излишний, но необходимый балласт, который влияет ослабляющим образом на создание наиболее яркого цвета пламени, и потому от этих составов не удастся получить чистое пламя темных тонов, а получатся светлые тона. Из других красителей пламени в зеленый цвет, кроме бария, имеется металл таллий, но он имеет значение только в лабораторных опытах, а медь в составах, аналогичных только что разобранным, дает сильную окраску пламени. Автору удалось подметить возможность окрашивания пламени в зеленый цвет солями меди.

Это представляет интерес и для составов огня других окрасок пламени, так как, видимо, могут быть благоприятные условия для получения наибольшей густоты и чистоты цвета.

Если взять основную смесь нитрата бария с нитролом или с шеллаком, получается состав, горящий в непресованном виде (россыпью), пламенем бледного зеленого цвета, почти без дыма и с большим твердым остатком. Яркости цвета и некоторого усиления окраски пламени можно достичь прибавлением небольших количеств магния или алюминия.

Совсем другая степень окраски пламени получится, если в эту смесь начнем вводить окрашивающую смесь, состоящую из окиси меди с каким-нибудь полигалоидным органическим соединением, исходя из предположения, что медь в присутствии галоида имеет свойство окрашивать бесцветное пламя в синий и зеленый цвета (реакция на галоид Бельштейна).

При горении образованного таким способом состава в газообразных продуктах получается свободный хлор, который является образователем медных галондных соединений в парах, излучающих зеленые и синие лучи, и, кроме того, усилителем излучения зеленых лучей бариевыми соединениями. Опыты, произведенные в этом отношении, дали хорошие результаты; получился ряд составов, давших при своем горении пламя великолепной окраски по своей яркости и чистоте.

При своих положительных качествах эти составы имеют большой недостаток, выражающийся в том, что при горении получается много шлака, который несколько не влияет на пламя при сжигании состава в виде порошка; насыпанного кучкой, и совершенно портит его при сжигании состава в виде звездки.

В этом случае, при медленности горения, показывающей на малую энергию процесса, шлак остается в форме самой звездки и не разбрасывается по сторонам. Пламя, сгорающее внутри состава, выбивается наружу через шлак, отчего объем его очень сокращается, и, кроме того, пламя теряет свою окраску. Восстановление его цвета зависит от разброса шлака при горении состава, что достигается прибавлением энергично горящей основной смеси, дающей пламя той же окраски или пламя иной окраски, но хорошо перекрашивающееся в зеленый цвет.

Поэтому прибавка смеси хлората бария с шеллаком сразу же улучшает цвет пламени и при небольшом количестве ее создает ряд хороших составов.

Красный огонь

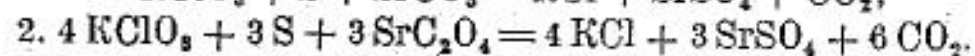
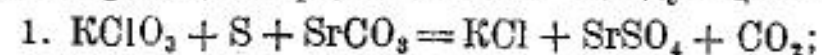
Принципы образования рецептов красного огня те же, что и для зеленого. Для образования пламени красного цвета вместо металла бария берется стронций; соли лития не имеют применения, так как не являются экономичными.

При отсутствии на рынке хлората и перхлората стронция состав красного огня образуется смешиванием двух основных смесей: нитрата стронция с горючим и хлората калия с горючим.

При отсутствии же нитрата стронция окраска пламени может быть создана и другими солями его, не являющимися окислителями, но тогда не удастся получить той

окраски, которая получается от применения нитрата. Пламя приобретает тона, переходящие в розовый цвет, исчезают яркость и чистота его. Такими веществами являются оксалат стронция и карбонат его. Их можно постепенно вводить в основу состава — хлоратную смесь — до получения удовлетворительного результата. Такие составы применяют в виде тройной смеси — хлорат калия + сера + оксалат или карбонат стронция.

Сера также может быть заменена другим горючим. Уравнение реакции представлено в следующем виде:



Карбонат стронция может быть заменен карбонатом кальция, дающим чисто розовую окраску пламени, например состав (в %):

бертолетовой соли	60
серы	20
мрамора или мела	20

Состав с мрамором горит хорошим розовым огнем; от мела окраска получается менее красивой по чистоте цвета. Не следует беспокоиться по поводу ненадежности химической стойкости хлоратно-серных составов, если в них находится карбонат, потому что он является устранителем причины самовозгорания этих составов и их стабилизатором.

Существует взгляд, что сера на воздухе окисляется, и потому смеси ее с хлоратами являются смесями неустойчивыми. С течением времени, под влиянием серной и сернистой кислот, образующихся при окислении серы, хотя бы в самых минимальных количествах, хлорат начнет разлагаться, и процесс обязательно закончится самовоспламенением смеси. Действие серной кислоты на хлорат было указано выше.

Но если в составе имеется карбонат, то появления свободной кислоты от окисления серы можно не опасаться, так как она при образовании сразу же нейтрализуется присутствующим карбонатом, и этим ликвидируется причина самовозгорания состава. Поэтому очень полезно при изготовлении хлоратно-серных составов, если не имеется в них карбоната, прибавлять до 1% карбоната, что стабилизирует весь состав и дает полную уверенность в надежности его при хранении.

Желтый огонь

Пламя окрашивается в желтый цвет солями натрия, которые можно употреблять в составах в виде нитрата, карбоната, оксалата и криолита. От применения нитрата в составе во многих случаях приходится отказываться из-за гигроскопичности его во избежание опасности порчи состава от отсырения.

Карбонат и оксалат натрия служат обычными красителями пламени, причем перед употреблением сода ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) должна быть лишена своей кристаллизационной воды, которую она легко терлет во время сушки в термостате при 120°C . Оксалат натрия хотя и не имеет кристаллизационной воды, но тоже должен быть высушен соответствующим образом. Он имеет преимущества перед содой в том отношении, что не гигроскопичен, между тем как сода способна во влажном воздухе втягивать в себя воду. Кроме того, оксалат разлагается при более низкой температуре, чем карбонат.

Окрашивание пламени можно производить введением в хлоратную основную смесь соли натрия в минимальном количестве, при котором создается необходимая окраска. Эти соли могут быть введены также в виде тройных смесей:

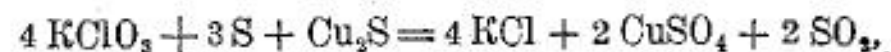
1. $\text{KClO}_3 + \text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{KCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$.
2. $4\text{KClO}_3 + 3\text{S} + 3\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 4\text{KCl} + 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + 6\text{CO}_2$.
3. $40\text{KClO}_3 + 3\text{C}_{16}\text{H}_{24}\text{O}_6 + 3\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 40\text{KCl} + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 51\text{CO}_2 + 36\text{H}_2\text{O}$.

Очень хорошая окраска пламени золотисто-желтого цвета получается при горении составов, образованных окрашивающей смесью с шеллаком и щавелевонатриевой солью. Эти составы горят быстро, с разбрасыванием шлага, отчего состав всегда горит с поверхности, но не из глубины массы, сохраняя поэтому объем пламени и его окраску.

Синий огонь

Пламя синего цвета получается при использовании солей меди, из которых преимущественно употребляется карбонат меди, так как другие соли опасны для хлоратных составов по кислой реакции, которая им присуща, или же обладают малой способностью окрашивания.

Кроме обычной двойной хлоратной смеси — основы для составов цветных огней, в этом случае вместо нее очень подходяща тройная смесь бертолетовой соли, серы и полусернистой меди:



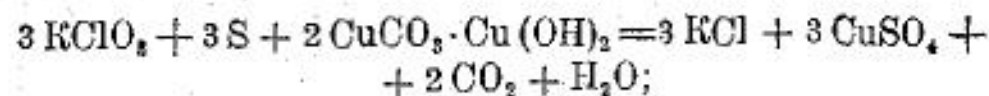
которая может быть составлена по следующему рецепту (в %):

бертолетовой соли	66
серы	13
полусернистой меди	21

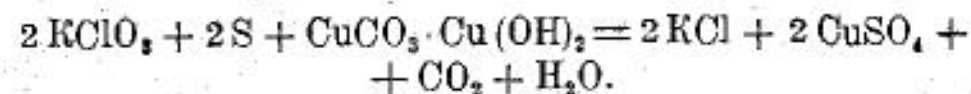
Эта смесь сгорает быстро и дает голубоватое пламя, легко переходящее в синий цвет.

Карбонаты меди берутся в виде малахита $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ или медной лазурь, или сини $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$. С успехом можно применить и основной карбонат меди. Из них образуются составы аналогично составам рассмотренных огней. Скорость горения их довольно велика, при горении образуется много шлага. Тройные окрашивающие смеси образуются по предполагаемой реакции:

с горной синью:



с малахитом:



Огни других цветов

Через смешение основных цветов спектра получают цвета промежуточных красок. Чтобы образовать состав, горящий пламенем оранжевого цвета, необходимо смешать составы огней красного и желтого цветов, в количестве, зависящем от желаемого оттенка. Чтобы получить фиолетовый огонь, необходимо смешать состав синего огня с составом красного огня. Преобладание красного оттенка дает лиловые огни.

Рецептура этих составов определяется опытным путем, как это указано было раньше.

ДЫМОВЫЕ СОСТАВЫ

Пиротехнический состав, образующий при горении обильные облака цветного дыма, называется дымовым составом. При горении всякого пиротехнического состава образуется дым, но в большинстве случаев он бывает не обильным. Для создания плотного облака дыма, имеющего большую кроющую способность, нужны особые составы, которые дают при реакции большое количество твердых частичек, образующих непроницаемый покров.

Дымовые составы могут быть получены в результате:

- а) распыления твердых минеральных красок,
- б) химической реакции,
- в) возгонки органических красителей.

Распыление минеральных красок

Сущность этого метода заключается в разбрасывании цветной минеральной краски газами. Получение хорошего дымового облака затруднено тем, что очень трудно достичь раздробленности твердого вещества до величины частичек дыма. Твердое вещество не удается имеющимися в технике способами превратить в столь мелкий порошок, чтобы каждая частичка по величине своей могла приближаться к величине, которой характеризуются дымовые частицы, полученные другими способами.

Эти частицы всегда получают величиной, во много раз превосходящей величину частичек истинного дыма, и потому при распылении масса их быстро садится вниз и не может держаться долго в воздухе, а кроме того, не может дать той плотности, которую имеют настоящие дымы.

Отсюда ясно, что чем совершеннее становятся способы измельчения, тем ближе становится возможность получения истинных дымов этим способом.

При современных условиях также удается получать довольно хорошие результаты, но для этого необходимо брать большие количества измельченной краски. Как показывает опыт, не все краски способны давать удовлетворительный результат. Многие из них оказываются совершенно негодными для этой цели. Многократными испытаниями обнаружилось, что из всех красок наиболее удовлетворительными оказались лишь синий ультрамарин, свинцовый сурь и киноварь. Они при тонком

измельчении всегда давали хорошие облака цветного дыма, вполне различимые на расстоянии до 2 км и держащиеся в воздухе до 40 сек.

Химическая реакция

Химических реакций, сопровождающихся образованием обильного густого дыма, известно не так много. К ним относятся:

1) реакции неполного сгорания углеродистых веществ, при которых не вступивший в реакцию окисления избыточный углерод разлагающегося вещества выделяется в виде сажи, образующей черный или серый дым;

2) реакции газообразных веществ, при взаимодействии которых образуются твердые вещества, например, аммиак и хлористый водород, ацетилен и хлор, нодистый водород с хлором;

3) реакции, при которых выделяются окрашенные продукты в парообразном состоянии или в виде твердых мельчайших частичек, рассеиваемых газами, образующимися одновременно, например: реакции с иодистыми препаратами, освобождающие свободный иод, который теплотой реакции обращается в пар фиолетового цвета; реакции окисления металлов, образующих цветные окислы с последующим распылением их в воздухе; реакции магния, алюминия и других металлов с такими окислителями, которые при раскислении своим дают окрашенные продукты, например, смесь перманганата калия 6 вес. частей и порошка магния 1 вес. часть, образующая вспышку с зеленым дымом, или смесь кадмия, серы и окислителя, которая дает при горении окрашенный дым, и т. д.

Определение рецептуры этих смесей основывается на реакции получения цветных дымов.

Возгонка органических красителей

Образование цветного дыма может быть осуществлено переводом окрашенных веществ в летучее состояние и рассеиванием их в окружающее пространство. Метод механического распыления красок при помощи взрыва не дает хороших результатов, поэтому перевод вещества в парообразное состояние и рассеивание его в окружающую атмосферу создают настоящие условия для образования истинного дыма.

Пар вещества при своем быстром охлаждении в воздухе, изменяя агрегатное состояние от парообразного до твердого, создает чрезвычайно мелкую раздробленную массу вещества, из которой и образуется то, что называется дымом.

Природа некоторых органических красителей дает возможность исходить из этого принципа и получать хорошие цветные дымы.

Исходя из общих положений получения цветного дыма из органических красителей и большого опытного материала американских источников, можно сказать, что образование состава требует соблюдения следующих условий:

1. Краситель должен быть химически прочным при горении состава; быть способным выдерживать нагревание без разложения при температурах процесса реакции, иметь способность легко возгоняться или обращаться в пар.

2. В случае перехода красителя в жидкое состояние до превращения в пар он должен иметь точки плавления и парообразования, близко лежащие друг от друга, чтобы не скопилось большого количества жидкости, замедляющей, а иногда и совсем прекращающей горение состава, так как она разъединяет частички основной горячей смеси, обволакивая их изолирующей оболочкой.

3. Основная смесь, теплотой горения которой пользуются для возгонки красителя, должна иметь, как показали опыты, в продуктах горения большое количество водяного пара и сравнительно низкую температуру горения.

4. Сжигание дымового состава должно производиться без доступа кислорода воздуха, так как иначе краситель будет разрушаться (сгорать), а не претерпевать изменения своего агрегатного состояния.

Соблюдение этих основных условий способствует получению дыма.

Ориентировочные определения, указывающие на пригодность органического красителя для указанных целей, можно произвести при простом и легком опыте. Небольшое количество красителя нагревается в пробирке. Если краска при этом обнаруживает признаки легкой возгонки или парообразования, то она может оказаться пригодной, если же она плавится задолго до появления

паров или же начинает разлагаться, то это служит указанием на ее непригодность для применения в составе. Таким способом производится отбраковка исследуемого материала.

И в этом случае основой является двойная смесь, и к ней предъявляются требования, указанные выше.

Наиболее подходящей оказывается смесь, содержащая своим окислителем хлорат. Нитраты же являются гораздо менее пригодными для дымовых составов, потому что не могут дать таких же условий для образования дыма.

Из горючих веществ признаны лучшими сахар молочный и тростниковый, при горении которых получается много водяных паров. Поэтому хлоратно-сахарная основная смесь и употребляется почти во всех дымовых составах как создающая наиболее благоприятные условия получения дыма из органических красителей.

Рецептура этих смесей сильно изменяется со свойствами красителя, заставляя увеличивать количество окислителя или сахара, что сообразуется с характером перехода красителя в пар. Количество прибавляемого к основной смеси красителя зависит от образующегося дыма, что определяется опытным порядком — сжиганием в замкнутой оболочке с ограниченным числом отверстий для выхода газов и дыма, чтобы предохранить горящий состав от притока воздуха к нему, потому что при слишком большом притоке воздуха получается только пламя без всякого дыма. Поэтому лучшими оболочками считаются цилиндрические, хорошо закрытые с обоих концов и сделанные из картона или металлические, с достаточной прочностью стенок, чтобы выдерживать давление газов. Газы, выходя из узких отверстий, с большой силой увлекают с собой находящиеся в летучем состоянии красящие вещества.

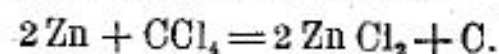
Из многочисленных опытов было выяснено, что если красителю приходится пройти через раскаленный остаток (плак) горящего состава расстояние больше 3,5—4,0 см, то он значительно разлагается. Поэтому число отверстий в оболочке делается с расчетом, чтобы ни одна частица состава не отстояла от выходного отверстия дальше 4 см и диаметр выходного отверстия был около 3 мм, потому что меньшие отверстия пропускают слишком мало дыма. Следовательно, для увеличения объема получаемого дыма можно увеличить длину обо-

лочки, сохраняя диаметр около 7,5—8 см, или, сохраняя длину, равную той же величине, увеличивать диаметр.

Если нужно увеличить скорость образования дыма, можно брать состав основной смеси с полной энергией горения, без уменьшения ее избыточным окислителем, или сделать большее число отверстий в оболочке. Это значит, что каждому данному размеру оболочки соответствуют состав определенного рецепта и определенное число отверстий, от перемены которых может измениться время горения и количество дыма.

Белый дым

Состав для образования дыма белого цвета широко применялся в империалистической войне под названием смеси Бергера. Следует заметить, что белый дым в качестве сигнального средства применения не нашел, и все вопросы, связанные с ним, относятся к области маскировочных дымов. Он давал великолепный маскирующий дым. Для его получения была использована реакция между цинком и четыреххлористым углеродом CCl_4 или, вместо него — гексахлорэтаном C_2Cl_6 :



Выделяющийся углерод, во избежание порчи цвета дыма, может быть сожжен кислородом окислителя, прибавляемого в состав. Хлористый цинк, выделяясь в парообразном состоянии и поглощая жадно влагу воздуха, образует облако белого дыма.

В первом варианте рецепт состоял (в %) из:

четырёххлористого углерода	50
цинковой пыли	25
окисл цинка	20
кизельгура	5

Последние два вещества брались в качестве поглотителей для жидкого CCl_4 .

Во втором варианте эта смесь была изменена для уничтожения выделявшегося углерода, который портил цвет дыма, сообщая ему серый оттенок, а также для усиления плотности и густоты образующегося дыма прибавкой к нему вещества, дающего при возгонке также дым белого цвета.

Рецепт этого состава (в вес. частях) был следующий:

цинковой пыли	32,0
четырёххлористого углерода	41,1
хлората натрия	16,3
хлористого аммония	8,7
кизельгура	1,7

В Америке этот состав был переработан, и получилась смесь, также образующая великолепный белый дым, но не безвредный, а обладающий уже токсичностью, так как в нем содержатся фосген COCl_2 , окись углерода CO , хлористый водород HCl и хлор Cl_2 .

Рецепт этого состава

гексахлорэтана	48%
бертолетовой соли	47%
угля	5%

Цинковая пыль, находящаяся в составе, удорожает его стоимость. У нас в СССР выработан состав на основе возгонки нафталина и хлористого аммония, образующих хорошие облака дыма. Состав называется смесью Ершова и изготавливается по рецепту (в %):

бертолетовой соли	20
угля	10
хлористого аммония	50
нафталина	20

Недостатком этой смеси является сильная ее гигроскопичность.

Черный дым

Черный дым можно получить путем разложения веществ, богатых углеродом, представителями которых являются непредельные углеводороды, вроде нафталина, антрацена и др. Теплотой горения обычной основной смеси эти вещества разлагаются, выделяя углерод в виде сажи, образующей черный дым. Но можно воспользоваться и реакцией, происходящей между цинком и четыреххлористым углеродом или гексахлорэтаном. Медленность горения этих смесей заставила заменить цинк более энергично действующим металлом, как магний или алюминий. От количества нафталина в смеси изменяются оттенки дыма — от серого до густого черного цвета.

В Америке был предложен рецепт состава, горевшего со скоростью 10 см в 24 сек. и дававшего густой черный дым. Он состоял из следующих составных частей (в %):

гексахлорэтана	60,5
магния порошком	18,6
нафталина	20,9

Летучесть нафталина, расстраивавшая состав, и низкая точка плавления смеси нафталина с гексахлорэтаном являлись большими недостатками этой смеси (точка плавления нафталина 80°C, гексахлорэтана 184°C, а смеси 8 частей первого с 20 частями второго — 53,5°C). Поэтому нафталин был заменен антраценом, который в то же время служил и замедлителем скорости горения состава, что позволяло регулировать действие последнего. Антрацена бралось 9 вес. частей вместо 8 вес. частей нафталина.

Размер частиц магния также влияет на скорость горения: чем крупнее порошок, тем медленнее идет реакция. При сжигании этой смеси очень важно, чтобы оно происходило при свободном притоке кислорода. Если приток его хотя сколько-нибудь затруднить, как это обычно устраивается для других дымовых составов, т. е. если дым выпускать через относительно малые отверстия, то он становится серым, а не черным. Антрацен при этом, по всей вероятности, не разлагается, а возгоняется и улетучивается. Запалом состава делается смесь (в вес. частях):

перманганата калия	8
восстановленного железа	7

Дым получается густой и черный, лучший, чем из остальных составов.

Желтый дым

Дым этого цвета получается возгонкой подходящих желтых красителей, из которых хорошие результаты дает желтый аурамин, но дым от него получается с зеленоватым оттенком, который уничтожается добавкой оранжевого хризоидина, образующего отличный оранжевый дым. Проверкой комбинаций этих красителей выработан состав (в %):

бертолетовой соли	33
молочного сахара	24
желтого аурамина	34
оранжевого хризоидина	9

Скорость сгорания 10 см состава равна 72—75 сек. Зажигание производится спрессованными столбиками бертолетовой смеси с углем или пороховой мякоти с декстрином.

Красный дым

Красный дым получается от применения красителя, называемого „красной паранитранилиновой“, выбранного после многих изысканий и признанного наилучшим по получаемому из него дыму.

Рецепт состава (в %):

бертолетовой соли	20
молочного сахара	20
красной паранитранилиновой	60

Скорость сгорания 10 см состава — 100 сек. Уменьшением количества хлората и увеличением на то же количество красителя, при постоянном количестве сахара, можно получать замедление горения и увеличение густоты дыма. Другими красителями, дающими тот же эффект, являются родамин и паратонер, которые можно употреблять в отдельности и в комбинации друг с другом (1 : 3).

Зеленый дым

Зеленый цвет дыма не был получен из зеленых красителей, его удалось получить лишь из смеси синего красителя с желтым. При этом красители, входящие в смесь, должны обладать по возможности одинаковой летучестью, т. е. переходить в летучее состояние при одной и той же температуре и улетучиваться с одинаковой скоростью, иначе цвет дыма не будет постоянным. Изменением количественных соотношений, входящих в смесь красителей, получают различные оттенки дыма.

Темнозеленый дым получается при горении состава (в %):

бертолетовой соли	33
молочного сахара	26
индиго искусственного	28
аурамина желтого	15

Синий дым

Хороший дым получается от применения синих красителей: синтетического индиго, метиленовой синей и др. Лучшие составы дает синтетический индиго, образующий хорошее облако темносинего дыма. Примерный рецепт с этим красителем (в %):

бертолетовой соли	35
молочного сахара	25
индиго	40

Дымовые составы, применяемые в порошкообразном запрессованном состоянии, горят относительно медленно, что дает возможность получать дым на длительный промежуток времени.

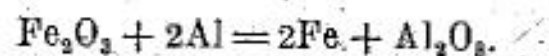
При необходимости же получить мгновенно большое облако дыма составы сжигаются в гранулированном состоянии в мешочках из ткани.

ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ И ТРАССИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ

Зажигательными называются такие составы, которые при горении легко зажигают всякий горючий и даже трудногорючий материал, приведенный с ними в соприкосновение. Эти составы при горении должны выделять очень много теплоты, чтобы могла быть температура примерно свыше 1000°C .

В этом случае происходит легкое зажигание дерева и других легковоспламеняющихся горючих. Удовлетворяющие этой цели составы имеют своими компонентами алюминий, магний или другие металлы, выделяющие при горении большое количество теплоты. Известно, что алюминий может хорошо реагировать с окислами металлов. Он при взаимодействии отнимает кислород у окисла и выделяет металл в чистом состоянии. Эти реакции сопровождаются высоким термическим эффектом, что заставляет продукты горения нагреваться до $2500\text{--}3000^{\circ}\text{C}$. При соприкосновении их с горючими веществами последние легко воспламеняются.

В первом же составе такого рода был применен термит, представляющий собой смесь окиси железа с порошком алюминия, рассчитанную согласно следующей реакции:



Термитная смесь реагирует по скорости различно. Чем мельче компоненты, тем быстрее проходит горение, и наоборот. Температура горения этой смеси доходит до 3000°C .

Восстановленное железо находится в жидком состоянии, оно вместе со шлаком (Al_2O_3) излучает ослепительно яркий свет. Магний в действии аналогичен алюминию. По теплотворной способности магний стоит рядом с алюминием, несколько даже превышая его; однако он не применяется вследствие своей дороговизны. Если алюминий легко разлагает окислы металлов, то разложение при его помощи окислителей происходит еще легче. В этом случае смеси алюминия с окислителями представляют собой взрывчатые смеси.

Все термитные составы с успехом применяются для зажигательных целей. Термит, помещенный в снаряде, при горении легко расплавляет оболочку сегмента, и расплавленная масса, выливаясь наружу, зажигает в этом месте все, что способно гореть. Последнее время стали употреблять для корпусов авиабомб сплавы магния с алюминием. Горящий сплав такого состава обладает большой энергией горения, и тушение его весьма затруднительно.

Вода, горящим сплавом разлагается ($2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$) и продуктами диссоциации улучшает условия горения. Песок, представляя собой в основной массе кремнезем SiO_2 , тоже способствует горению, так как при температуре горения сплава является окислителем: $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} = \text{Si} + 2\text{MgO}$ ¹.

Сплавы магния получили собирательное название „электрон“. Они в основном состоят из магния (90—91%) с прибавлением цинка, алюминия и меди. Имеют температуру плавления около 625°C . Сплавы устойчивы к действию щелочей, но подвержены влиянию кислот.

Термитные составы имеют тот недостаток, что очень трудно зажигаются. Для зажигания таких составов необходимо пользоваться вспомогательными составами.

Вспомогательные переходные составы готовятся из таких горючих смесей, у которых температура вос-

¹ Для тушения электрона и термита может быть применен песок, но лишь в большом количестве, способном охладить горящий электрон. В результате охлаждения горение электрона и термита прекращается.

пламенения постепенно понижается настолько, что начальный состав может свободно зажигаться от любой нитратной, не говоря уже о хлоратной, смеси. Зажженная начальная смесь безотказно передает воспламенение от состава к составу, и последний переходный состав свободно зажигает термитную смесь.

Зажигательные составы применяются не только для авиабомб, но и для зажигательных пуль, главное назначение которых — зажигание жидкого горючего.

Близко подходят по составу к зажигательным смесям трассирующие составы, назначение которых — показывать путь полета пули или снаряда. Горение трассирующего состава, помещенного в дне пули или снаряда, ночью и днем облегчает корректирование огня. Для этой цели состав должен иметь наибольшую яркость пламени, чтобы свет его можно было видеть на расстоянии нескольких километров.

Поэтому главным компонентом трассирующего состава, кроме окислителя, является магний, так как он резко усиливает яркость пламени и скорость горения. Он один среди химических элементов превращает большое количество своей энергии в световые лучи, тогда как в других веществах большая часть энергии превращается в тепловую (инфракрасные лучи).

Окислителями для трассирующих составов берут перекись бария, пираты, хлораты, бихромат калия и др. Из них большее предпочтение отдают перекиси бария как очень активному окислителю.

Третьим компонентом состава является вещество, связывающее составные части. Если окислитель и магний запрессовать в пулю без склеивающего вещества, то столбик смеси при толчке (при выстреле) способен раздробиться и рассыпаться, что вызывает быстрое его сгорание, а потому и малое время его действия или отказ. Однородность массы и значительная связанность ее достигаются только применением цементирующего вещества, в качестве которого могут служить олифа, некоторые смолы, воск.

Так как от состава требуется медленное горение, чтобы действие его продолжалось на большое расстояние полета пули, а указанный выше состав не может гореть медленно, то к трем приведенным компонентам прибавляют еще четвертый. Роль его заключается в замедлении горения и увеличении надежности горения.

К лучшим веществам этого рода относятся некоторые соли органических кислот.

Из этих четырех составных частей и создают трассирующий состав. К составу прибавляется еще пятое вещество, увеличивающее яркость пламени и окраску его. Пламя состава делается двух цветов: зеленого и красного.

Трассирующий состав трудно зажигается, и потому для его воспламенения применяют переходные зажигательные составы, аналогичные составам для термитных смесей.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Вспомогательными средствами в пиротехнике называются те пиротехнические изделия, которые служат в основном для воспламенения составов.

К самым простым средствам воспламенения пиротехнических составов относятся: пороховая подмазка, стопин, бикфордов шнур, фитиль.

Пороховая подмазка

Для воспламенения состава пиротехнических изделий в виде звездок, палительных или фигурных свечей или других фейерверочных изделий применяется легко загорающаяся от пламени и искры пороховая мякоть.

Для прикрепления ее к составу, который легко зажигается горячей пороховой мякотью, необходимо сделать из нее подмазку.

Пороховая мякоть насыпается в фарфоровую посуду, в которую подливают понемногу клеевого раствора, затем размешивается роговой ложечкой до консистенции жидкого теста.

Из клеевых растворов можно употреблять раствор аравийской камеди (гуммиарабика), концентрацией до 10% на воде или в 40% спирте (в случае необходимости более быстрого высыхания подмазки). Можно также применять и другие клеевые растворы: мездрового, вишневого клея, декстрина и т. п. Лаки спиртовые, ацетоновые и на других быстро высыхающих растворителях также находят применение. Операция подмазки пороховой мякотью называется обычно заготовкой.

Для заготовки спрессованного состава подмазка наносится на состав роговым шпателем в виде слоя и оставляется на нем. Высохшая подмазка довольно прочно держится и хорошо зажигает состав.

Стопин

Стопин представляет собой несколько ниток хлопчатобумажной пряжи, соединенных в пучок и обмазанных пороховым тестом или другим каким-либо быстро горящим составом. По внешнему виду стопин представляет собой ленточку сухого порохового теста, прочно держащегося на нитках.

Хороший стопин на воздухе горит со скоростью от 3,5 до 6 см/сек. В приводной трубке (бумажная длинная гильза) он сгорает почти мгновенно. Готовится стопин из нессученной бумажной пряжи. Каждая нитка наматывается на отдельную дощечку, вес которой известен, для того чтобы знать вес намотанной нитки. На каждую дощечку нитки наматывают до желаемого веса, которым определяется одинаковая длина каждой нитки на каждой дощечке. Мотки, снятые с дощечек, кладутся в 20% раствор калиевой селитры, которого берется в пять раз по весу больше, чем ниток. Эта операция производится для того, чтобы сделать нитку стопина незатухающей и в том случае, если на ней в некоторых местах не окажется порохового теста.

По прошествии 2 часов нитки вынимаются из селитренного раствора, отжимаются от излишка и подвешиваются для просушки (проваливания) до слегка влажного состояния. Затем нитки пропитываются пороховым тестом, для чего они постепенно разматываются с каждого мотка, протягиваются через пороховое тесто и по выходе из него соединяются вместе в один общий пучок или общую нитку, которая наматывается на деревянную раму.

При этом наблюдают, чтобы на нитках пороховое тесто лежало ровным слоем, а не кусками, чтобы стопинные нитки не слипались на раме с соседними нитками и имели вид ровной ленты.

По заполнении рамы стопин ее вынимают для просушки последнего.

Просушка должна быть медленной. Если желают получить стопин горящим более быстро, то после неболь-

шого проваливания стопин на раме обсыпают сухой пороховой мякотью или, как говорят, опудривают его мякотью и затем уже окончательно высушивают. Высушенный стопин срезают с рамы в виде ниток, связанных в пучки по 400—500 г, и хранят в сухом помещении.

Пороховое тесто готовится по следующему рецепту. В медную или эмалированную чашку наливают воды по весу в пять раз больше веса ниток и в ней растворяют арабийскую камедь или вишневый клей в количестве, составляющем 0,25 веса ниток. Затем в такой клеевой раствор понемногу всыпают пороховую мякоть, взятую в количестве, превышающем вес ниток в 12 раз. Всыпание мякоти производят при хорошем размешивании ее в воде, отчего к концу операции получается однородная полужидкая пороховая масса. При замене воды 40% спиртом тесто на нитках высыхает быстрее.

Бикфордов шнур

Бикфордовым шнуром называется медленно горящий огнепровод, представляющий собой слабо спрессованный столбик шнурового дымного пороха, заключенного в две оплетки из ниток джута, льна или пеньки. Через пороховой столбик проходит одна или две контрольные хлопчатобумажные нити. Шнур готовится для взрывания капсулей детонаторов, воспламенения дымного пороха и пиротехнических составов. В зависимости от применения шнур изготавливается трех видов:

- а) белый — для взрывных работ в сухих местностях;
- б) черный асфальтированный — для подрывных работ в сырых местах;
- в) гуттаперчевый, коричневый — для подводных работ.

Шнуровой порох имеет следующий состав: селитры калиевой 78%, серы 10% и угля 12%.

Шнур не должен иметь трещин, переломов и следов подмочки. Асфальтированный и гуттаперчевый шнуры должны быть водонепроницаемы, оболочки их при температуре 28°С не должны делаться мягкими и липкими, а при температуре — 15°С они не должны ломаться. Отрезок шнура в 600 мм длиной должен гореть 56—66 сек., а в месте горения допускается лишь небольшое искрение в отдельных точках шнура.

Кроме обыкновенного шнура, выделяется также шнур с нетлеющей оболочкой. Этот сорт бикфордова

шнура отличается от обычного тем, что оплетка его пропитывается огнеупорным составом, устраняющим тление оболочки и искрение при горении сердцевины.

Фитиль

Фитилем называется пучок хлопчатобумажных нитей, оплетенных снаружи такими же нитками. Он имеет вид шнура толщиной 10—20 мм, любой длины. Шнур пропитывается в растворе бихромата калия и окрашивается им в желтый цвет. Фитиль легко загорается от пламени спички и тлеет, образуя раскаленный уголек, способный прожигать лист бумаги и зажигать различные пиротехнические составы. Скорость горения фитиля в безветренном месте — около 40—45 см в час. На ветру он горит скорее.

Фитиль является необходимой принадлежностью при сжигании фейерверка или каких-либо одиночных пиротехнических изделий как постоянный источник огня для поджигания.

ЛАБОРАТОРНОЕ ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОСТАВОВ

Хорошего действия пиротехнического состава, т. е. получения от состава полного эффекта действия, на который он способен, можно достигнуть только при следующих условиях:

- 1) необходимым и практически достижимым измельчением компонентов состава и
- 2) наиболее полным смешением их между собой.

При этих условиях образующиеся смеси будут обладать свойствами, необходимыми для полноты взаимодействия веществ смеси между собой. Исходя из этих положений, работа по приготовлению составов разделяется на измельчение составных частей и на последующее смешивание их между собой, со всеми вытекающими из свойств состава мерами предосторожности.

Измельчение веществ

В лаборатории измельчение веществ, в зависимости от их природы, чаще всего производится путем растирания или толчения. В небольших количествах многие вещества измельчаются растиранием их в ступках, фарфоровых или стеклянных, соответствующими пестиками.

Измельчение веществ в количествах, превышающих 200—300 г, в ступках производится слишком медленно, а потому для ускорения прибегают к растиранию веществ на стирочных лотках и столах, к измельчению в кожаных мешках или измельчению в железных, деревянных или кожаных бочках (барабанах).

Стирочный стол

Стирочный стол изготавливается из какого-нибудь твердого дерева. Поверхность его гладко и ровно выстругивается. Размеры его произвольны. Он делается в виде

неправильного восьмиугольника, который получается срезыванием углов у прямоугольного стола (рис. 1).

Шириной стол делается не более 1 м, для того чтобы работающий, наклоняясь, мог легко достать до середины стола, длина же его может быть равной ширине или раза в полтора больше. К краям стола приделывают закраины высотой 2,5—3,0 см, для того чтобы растираемые вещества не могли сыпаться на пол.

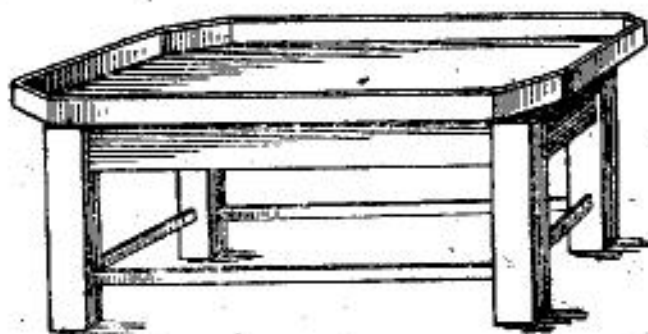


Рис. 1. Стирочный стол

На середине одной из сторон стола, в закраине, делается выемка, в которую во время работы вкладывается вставка, предохраняющая измельчаемое вещество от просыпания на пол.

После измельчения нужно вынуть вставку и вещество можно легко сыпать со стола в подставленный ящик. Подставки для столов должны устраиваться прочными, чтобы во время работы стол не шатался. Поверхность стола и закраина должны всегда содержаться в надлежащей чистоте и сохранности. Поэтому столы, когда на них не работают, должны быть покрыты хорошей клеенкой.

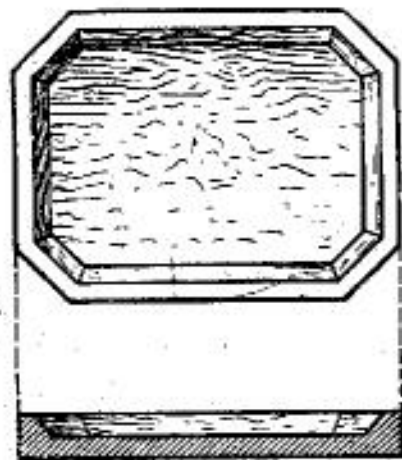


Рис. 2. Стирочный лоток

Вместо стирочного стола для растирания веществ в небольшом количестве можно употреблять стирочные лотки, которые устраиваются совершенно так же, как и стирочные столы, но отличаются от них меньшими размерами и не имеют подставок (рис. 2).

Размер их большей частью не превышает 1 м по длине и 0,5 м по ширине. Растирание веществ на столах или

лотках производится деревянными стирками, называемыми курантами (рис. 3), которые изготавливаются также из твердой породы дерева. Они имеют вид плоского круга, снабженного с одной стороны, в самом центре, довольно длинной рукояткой.

Стирки изготавливаются преимущественно из клена, а за неимением его — из бука или из хорошей березы.

Нижняя поверхность стирки имеет диаметр 15—25 см, а толщину в середине — около 4—4,5 см, уменьшающуюся к краям. Для собирания (сгребания) растираемых веществ в одно место употребляются деревянные лопаточки (рис. 4), называемые шпателями. Делаются они



Рис. 3. Курант



Рис. 4. Шпатель

из клена или березы и такой величины, чтобы было удобно ими работать.

Внешне они подобны тонким малярным шпателям с довольно острыми нижними краями, срезанными несколько наискось, для того чтобы они плотнее прилегали этими краями к поверхности стола и чище собирали с него измельчаемое вещество.

После измельчения вещество обычно просеивается через сита — волосяные или шелковые. Лучше, конечно, пользоваться шелковыми ситами, потому что они отсеивают гораздо более тонко измельченные частички растертого вещества и тем самым способствуют приготовлению хорошего состава.

При просеивании вещества через сито для устранения разлета мельчайших частичек его сито вставляется в поддон, а сверху закрывается крышкой.

Как поддон, так и крышки имеют такое же устройство, как и сита, но отличаются от них только тем, что дно их затянато не волосяной или шелковой сеткой, а хорошей тонкой кожей или клеенкой. Диаметр их делается таким, чтобы они плотно находили на сито.

Процесс растирания веществ на стирочном столе или лотке производится следующим образом: материал, на-

значенный для измельчения, высыпается на стол или лоток в небольшом количестве, примерно около 1—1,5 кг на стол, а на лоток — 500—750 г, и подвергается растиранию стиркой. Стирка накладывается на измельчаемый материал, придавливается к нему при помощи рукоятки одной или двумя руками и кругообразным вращением раздавливает и растирает измельчаемое вещество. Это вещество разбрасывается по столу или лотку тонким слоем, затем снова собирается со всего стола или лотка в общую кучу и вновь подобным же образом растирается до нужной степени измельчения. После этого, собрав весь измельченный материал в одно место, осторожно, чтобы он не пылился, при помощи одного или, лучше, двух шпателей его перекладывают в сито, вставленное в поддон, закрывают крышкой и качательными движениями на руках просеивают. Или же, поставив сито на два бруска, положенные на стирочном столе или каком-либо другом столе, двигают сито вперед и назад по этим брускам. Для более успешного просеивания сито по временам встряхивают, ударяя по нему руками или производя легкие удары поддоном о бруски.

Просеянное вещество, после разборки сита, высыпает из поддона и затем продолжают работу. Остатки, получаемые в сите, снова растирают и просеивают. После просеивания всего измельченного материала поддон и крышку хорошо встряхивают, обметают щеткой или гусиным пером и окончательно обтирают полотенцем или чистой ветошью. То же самое делают и со стирочным столом или лотком, наблюдая, чтобы они после каждой операции были совершенно чистыми, чтобы на них не оставалось и следов растираемого вещества. Особенно это важно в том случае, когда растирался хлорат. Для растирания хлоратов лучше иметь специально только для этого предназначенный стол или лоток во избежание всяких неприятных последствий. На стирочных столах обыкновенно растирают соли, а также пороховую мякоть, если она слежалась в комки. Иногда и порох обрабатывают в мякоть на столах.

Бочки

Бочки, или барабаны, для измельчения веществ изготавливаются из дубовых досок и обтягиваются для крепости двумя медными обручами. Смотря по количеству

измельчаемых веществ, они делаются различной вместимости. Диаметр бочки обычно бывает от 50 до 75 см, а высота — от 17 до 25 см, т. е. в три раза меньше диаметра (рис. 5). На внутренней боковой поверхности барабана прикрепляются на равном расстоянии между собой закругленные бруски высотой 10—20 мм, выполняющие роль лопаточек, поднимающих измельчаемый материал с шариками во время вращения барабана на некоторую высоту, с которой он и сползает снова вниз по слою поднимаемого нового материала. Снаружи бочки

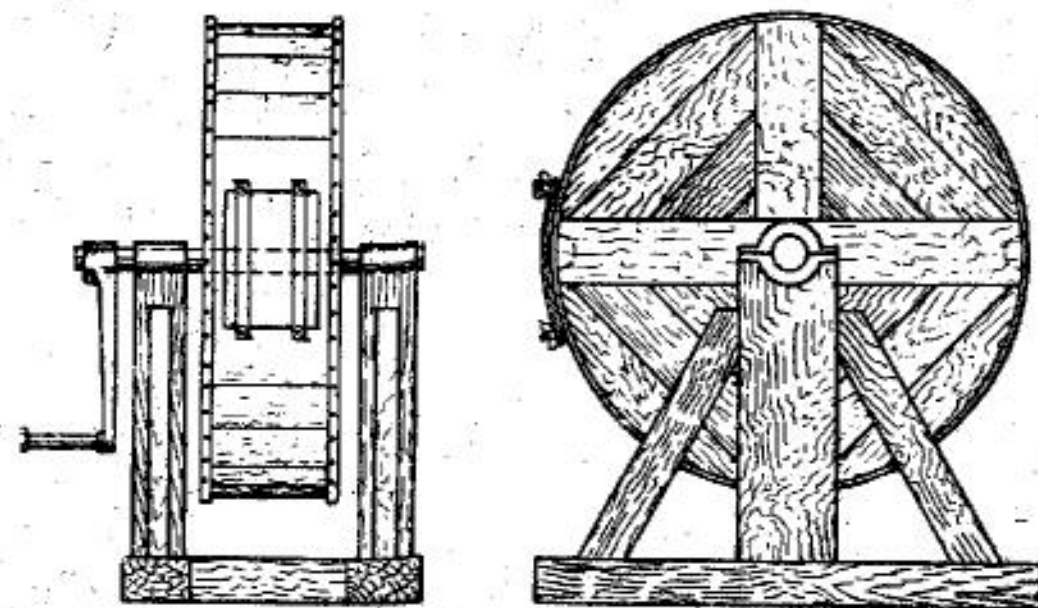


Рис. 5. Бочка для измельчения веществ.

на боковой поверхности делается четырехугольное отверстие, служащее для загрузки и выгрузки материала.

Отверстие закрывается плотно пригнанной крышкой-штулкой, края которой заходят за края отверстия по крайней мере на 10—12 мм и для более плотного прилегания обиваются сукном или байкой. Поперек штулки, близ ее концов, прикрепляются две медные полоски. На выдающихся концах этих полосок делаются 4 отверстия, которыми штулка насаживается на 4 болта, укрепленных в соответствующих местах поверхности бочки; на концы этих болтов навинчиваются гайки, что и позволяет прочно закрепить на месте вставленную в отверстие бочки крышку-штулку.

Бочка насаживается на горизонтальную железную ось, внутри оббитую деревом, а снаружи на одном конце

имеющую рукоятку для приведения бочки во вращательное движение рукой работающего или шкив ремня от электромотора. Для работы при помощи бочки устраивается специальное помещение. Измельчение веществ в бочке производится при помощи небольших бронзовых шариков, диаметром 10—12 мм. Количество шариков, употребляемых для измельчения, берется по весу раза в два больше взятого вещества. Скорость вращения бочки — в пределах 15—20 об/мин. Время измельчения — от 2 до 4 часов.

Для отделения измельченного вещества по окончании работы от бронзовых шариков в боковое отверстие бочки, вместо втулки, вставляют медную решетку с мелкими отверстиями, устроенную подобно втулке, но только в виде рамки, в которой прочно укрепляется медная решетка.

Для собирания просеиваемого материала под бочку ставят ящик, а на верхний край его устанавливают клеенчатый чехол, покрывающий всю бочку и устраняющий распыление материала. После этого бочка снова приводится в движение, но с меньшей скоростью, отчего вещество постепенно пересыпается из бочки в ящик, а бронзовые шарики остаются в ней.

Затем бочку останавливают, дают осесть пыли и, сняв чехол, хорошо обметают в ящике ручной щеткой места, на которых осела пыль измельченного материала. Затем измельченный материал просеивают и насыпают в банки или в ящики, в зависимости от свойств вещества и его количества.

В последнее время появились для измельчения хрупких веществ фарфоровые мельницы. Мельница состоит из фарфорового цилиндра высотой, равной диаметру или несколько менее диаметра. Цилиндр имеет два сплошных дна. В одном из них сделано загрузочное отверстие, закрываемое пробкой-втулкой. Вращение такого цилиндра производится двумя движущимися в одну сторону катками, на которые цилиндр и кладется цилиндрической поверхностью. Катки приводятся в движение механической установкой. Измельчение материала в цилиндре производится фарфоровыми шариками, засыпаемыми в него вместе с веществом.

Кожаные мешки

Для превращения дымного пороха в мякоть или крупного угля в мелкий порошок употребляют кожаный

мешок, сшитый из плотной мягкой юфтовой кожи. Мешки делаются в виде цилиндра длиной около 60—70 см, а шириной около 30—40 см. С одного конца цилиндра пришивается дно, а с другого — рукав, стягиваемый протянутой сквозь него прочной бечевкой или ремнем.

В такой мешок насыпают порох или раздробленный в ступке уголь в таком количестве, чтобы они свободно могли в нем пересыпаться; затем, завязав плотно мешок, кладут его на толстый деревянный чурбан или колоду и бьют по нему большой деревянной колотушкой до тех пор, пока не станет заметно, что находящийся в мешке материал уже значительно измельчился; тогда развязывают мешок и полученный порошок просеивают.

Просеивание измельченного пороха производится только через шелковое сито, чтобы в мякоти не осталось крупинок пороха. Для просеивания угля употребляют разные сита, смотря по тому, для какого рода состава он будет употребляться. Если он предназначен для пламенных составов, его просеивают через шелковое сито, а если для некристых — то через волосные сита и даже грохот.

Хранение измельченных веществ

Растворенные и просеянные вещества в небольших количествах хранят в плотно закупоренном виде в стеклянных или в фарфоровых банках или в небольших ящиках и боченках с крышками. В больших же количествах вещества хранят в бочках или больших ящиках, также с крышками. Внутри ящики выкладываются хорошей гладкой бумагой. Все гигроскопичные вещества укупориваются в герметически закрываемую укупорку и хранятся в сухих помещениях. На укупорке наклеивают бумажный ярлык с обозначением вещества, его веса и состояния чистоты.

Перемешивание состава

В перемешивании составных частей между собой до получения однородной смеси заключается процесс приготовления пиротехнического состава. Для перемешивания веществ, входящих в составы, употребляют различные способы, в зависимости от свойств образующейся смеси. Цель этого процесса заключается в равномерном распределении всех составных частей сложной смеси.

Распределения этого возможно достигнуть легче и совершеннее, если вещества будут перемешиваться не сразу все вместе, а постепенно, таким образом, что перемешиваются сначала два вещества, затем к ним прибавляют третье, которое смешивается с двумя первыми, потом уже к тройной смеси прибавляют четвертое и т. д.

При приготовлении пламенных составов полезно сначала получить смесь всех горючих веществ и к ним в последнюю очередь прибавить окислитель, с которым хорошо смешать первую смесь.

Качество перемешивания зависит от времени операции; чем больше времени она проводится, тем полнее совершается распределение компонентов между собой пропорционально взятым количествам, конечно, до некоторого предела.

Для перемешивания веществ состава употребляют те же приспособления, что и для их измельчения, т. е. стирочные столы, лотки, ступки, мешки, кожаные бочки, или барабаны, а в последнее время стали применять мазетки и некоторые другие аппараты.

На стирочных столах или лотках составы приготовляются посредством тех же стирок и шпателей, причем употребляются те же приемы, как и при растирании веществ. При этом тщательно наблюдают за тем, чтобы столы и инструменты смешивания были совершенно чисты и не имели на себе каких-нибудь посторонних, особенно твердых, веществ, как, например, песка, пыли, грязи и т. п.

Если готовится динамический состав, в который входят селитра, сера, мелкий уголь, пороховая мякоть, то в первую очередь отвешивают нужное количество по рецепту селитры и сыпают ее с чашки весов на лист бумаги или, лучше, в специальную деревянную лакированную чашку или ящик, из которых и высыпают селитру уже на стирочный стол или лоток, где растирают ее курантом, для того чтобы уничтожить в ней слежавшиеся комочки. Затем таким же порядком отвешивают серу и, рассыпав ее по растертой селитре, перемешивают сначала деревянными шпателями, а потом курантом, вращая его кругообразно и в то же время слегка прижимая к столу, отчего смесь, так же как и при растирании веществ, распределяется по столу тонким слоем. По мере того как происходит это рассыпание, смесь собирают шпателем в общую кучу и опять расти-

рают курантом, продолжая это до тех пор, пока оба вещества хорошо перемешаются между собой.

Если смесь собрать и провести по ней слегка курантом, то на образовавшейся полосе не должно быть заметно ни белых, ни желтых пятен или полосок, что и является признаком хорошего смешения.

Перемешав таким образом селитру и серу, прибавляют к ним мелкий уголь и перемешивают его точно так же, как и селитру с серой; наконец, к полученной тройной смеси примешивают пороховую мякоть, и окончательно смешанный состав собирают шпателем к тому месту стола, где в нем сделана выдвижная закраина. Вынув закраину, осторожно сыпают состав в чашку или ящик с крышкой и относят для хранения или для следующей операции.

После приготовления состава стирочный стол обметают ручной щеткой или гусиным крылом, как можно чище, и потом уже хорошо вытирают холщевым полотенцем или тряпкой; наконец, для предохранения от пыли покрывают стол клеенкой.

Сметки со стола, а также просыпавшийся на пол состав собирают вместе и сыпают в посуду с небольшим количеством воды. Если в состав входит крупный уголь или металлические опилки, то эти два вещества стирками не растирают, а прибавляют к готовому уже составу, причем уголь перемешивают с ним тут же на столе, при помощи только шпателей. Что же касается опилок, то их прибавляют к составу на клеенке или в том ящике, куда сыпают готовый состав.

Опилки перемешивают с составом шпателем или просто руками, продолжая это до тех пор, пока они равномерно распределятся по всей массе состава.

Чтобы не испортить составы с крупным углем или опилками, оберегают их от всякого сотрясения, так как от сотрясения опилки опускаются вниз, а уголь поднимается кверху. Такие составы перед употреблением необходимо перемешивать вновь.

В ступках состав готовится редко и притом в небольшом количестве. Ступки для этой цели применяются из серпентина, а пестики к ним, для безопасности, делаются из какого-нибудь мягкого, неслоистого дерева, как, например, из березы или липы.

За неимением серпентиновых ступок можно употреблять ступки стеклянные или фарфоровые с деревян-

ными пестиками. Барабаны для смешения веществ употребляются такие же, как и для измельчения материалов, с той лишь разницей, что барабаны делаются не только деревянные, но и кожаные, и ось вращения не проходит через барабан, а состоит из двух частей, которые на одном конце устраиваются в виде четырехконечной лапы, прикрепляющейся ко дну барабана медными шурупами.

При смешивании в барабанах-бочках вещества закладывают сразу все вместе, за исключением только крупного угля и металлических опилок. Сюда помещают и деревянные кубики твердой породы дерева, например, бакаутного, в количестве, равном весу состава.

Все содержимое бочки пересыпают вместе с кубиками и перемешивают при скорости вращения 20—25 об/мин. Время обработки — от 30 мин. до 1 часа. Количество приготавливаемого состава — не больше 10—15 кг.

Составы с хлоратами

Составы с бертолетовой солью или другими хлоратами или перхлоратами всегда готовятся небольшими порциями, примерно 100—200 г и даже менее вследствие возможных воспламенений состава при неаккуратной и невнимательной работе. Приготовление таких составов производится смешением компонентов на гладкой бумажной или клеенчатой подстилке, а еще лучше — на лайке или замше, под которые подкладывают плотный слой войлока или сложенное в несколько раз сукно.

Для этой цели обыкновенно употребляют небольшие деревянные лотки, которые предварительно обивают войлоком или сукном, а потом поверх уже обтягивают клеенкой или кожей (лайкой, замшей, сафьяном). Лотки делаются с закраинами, но без выдвижных вкладок.

Для смешивания веществ на таких лотках употребляются резиновые пробки или мягкие, так называемые бархатные, пробки, не содержащие в себе никаких твердых частичек. Для собирания состава применяют роговые ложки, совки и ножи.

Пробками растирают смешиваемые вещества по возможности без давления на состав, не сильно прижимая пробку к клеенке или коже.

Основным правилом приготовления таких составов является порядок перемешивания компонентов. Хлорат

или перхлорат прибавляется к смеси последним, т. е. после того как все вещества, входящие в состав, будут хорошо уже смешаны между собой.

Другим безопасным способом смешения веществ является мешочный способ. Мешки делаются из мягкой кожи шириной от 7 до 10 см, а длиной — от 25 до 40 см. С открытого конца мешок затягивается ремнем или тонкой бечевкой. В такой мешок высыплют все вещества, входящие в состав по рецепту, и, завязав открытый конец, перетирают компоненты руками, время от времени пересыпая их из одного конца мешка в другой. Операцию ведут в течение 15—30 мин. В мешке указанных размеров можно смешивать в один прием от 0,5 до 1 кг веществ.

ИСПЫТАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Пиротехнический состав представляет собой смесь, подготовленную для реакции. Внешнее воздействие теплоты возбуждает взаимодействие соединенных компонентов, и в зависимости от количества воздействующей тепловой энергии в составе могут возникнуть различные реакции, включительно до реакции воспламенения.

Другим важным фактором, действующим на состав, будет влажность. Она изменяет существующие условия сухого состава на условия, наиболее благоприятные для взаимодействия смешанных веществ, создавая самое лучшее соприкосновение их между собой; с другой стороны, вода, увлажняющая состав, является веществом, вступающим в реакцию с некоторыми из компонентов состава.

Для суждения о пиротехническом составе необходимо знать его отношение к различным внешним воздействиям на него.

С этой целью составы подвергаются испытаниям: 1) на чувствительность к удару и трению, 2) на определение температуры вспышки, 3) на воспламеняемость, 4) на самовоспламеняемость, 5) на гигроскопичность.

Эти основные испытания или пробы могут характеризовать состав с точки зрения возможности применения его для практических целей. Для полной же характеристики состав нужно подвергнуть еще целому ряду других испытаний, обусловленных не только общими свойствами состава как взрывчатого вещества, но и его специфическими свойствами как состава динамического, пламенного или дымового и т. п. Ниже будут описаны лишь перечисленные выше испытания.

Определение чувствительности к удару и трению

Чувствительность состава к удару и трению определяет его механическую стойкость, т. е. способность его в практических условиях выдерживать без воспламенения или взрыва все случающиеся толчки, удары и т. п.

Знание этой характеристики создает представление об условиях обращения с составом и служит критерием для установления мер безопасности при работах с ним. Испытание производится на копре для определения чувствительности к удару ВВ, в штемпельном аппарате Каста. Обыкновенно испытания ведутся с 0,05 г состава. Для каждой высоты падения груза делается 6 ударов. По составу не производят больше одного удара. Поверхности штемпеля, попадающие под действие взрыва, каждый раз тщательно очищаются; поврежденные съемные детали заменяются новыми.

Температура опыта не должна выходить из определенных границ и обычно может колебаться в пределах 15—20° С.

Границей чувствительности к удару считают ту высоту падения груза, начиная с которой происходит хотя бы один отчетливый взрыв в ряду по возможности непрерывных испытаний. Несмотря на простоту и ясность способа, абсолютные величины при испытании на копре получить невозможно.

В зависимости от конструкции, внешних условий (воздух и температура), физической структуры и влажности состава, числа ударов, выдержанных аппаратом Каста, получаются для одного и того же испытуемого состава неодинаковые результаты.

На определение чувствительности к трению до настоящего времени нет официально принятого прибора.

Для этой цели пользуются фарфоровой ступкой с фарфоровым пестиком. Самое минимальное количество состава растирается в ступке, и если при этом наблюдается потрескивание или маленькие взрывы, то, очевидно, этот состав требует большой осторожности в обращении с ним. Более точно чувствительность к трению можно определить на маятниковом аппарате, принятом в Америке для определения чувствительности ВВ к трению (рис. 6). Этот аппарат состоит из стальной прочно установленной плиты, по поверхности которой

скользит с трением металлический башмак, укрепленный на маятниковом подвесе.

Плита имеет гладкую поверхность в 8,3 см шириной и в 30,5 см длиной. По середине поверхности выдолблены три параллельных желобка в направлении, перпендикулярном движению башмака. В желобки помещают испытываемый состав. Башмак может быть одет дере-

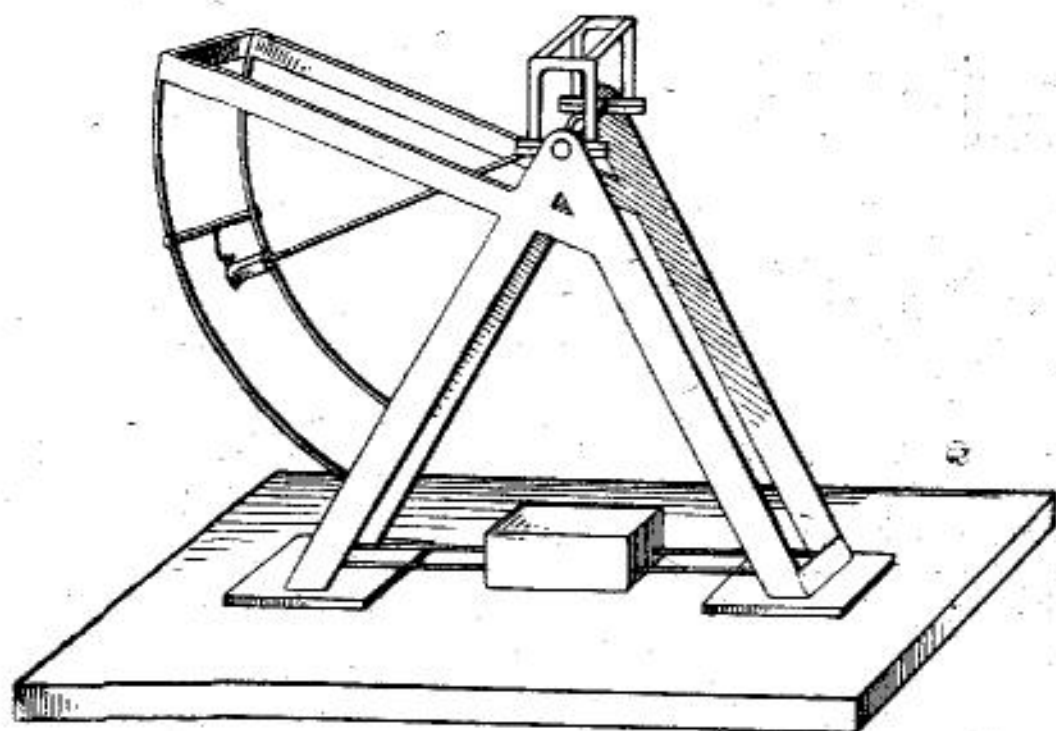


Рис. 6. Маятниковый прибор для испытания на трение

вом или другим материалом. Вес его изменяется в пределах 1—20 кг. Радиус кривизны башмака 26,7 см. Высота падения колеблется от 0,5 до 2 м.

Определение воспламеняемости состава

Воспламеняемость состава определяется кратковременным повторным воздействием пламени бунзеновской горелки и воздействием луча огня бикфордова шнура. Для сравнения величин чувствительности к воспламенению по первому способу за эталон принимается какое-нибудь стандартное легковоспламеняемое вещество, например винтовочный порох. Воспламеняемость по первому методу определяется прибором, устройство которого показано на рис. 7.

Испытуемый состав помещается в железной чашечке, разглаживается шпателем, причем снаружи чашечка весьма тщательно обтирается от попавшего на наружную поверхность состава при насыпании. Внутренние размеры чашечки: глубина 0,25 см и диаметр 2,8 см. В состоянии равновесия чашечка находится от отверстия горелки на 2,5 см. Она помещается на маятнике, свободно качающемся между двумя стойками, укрепленными вертикально на прочной металлической площадке.

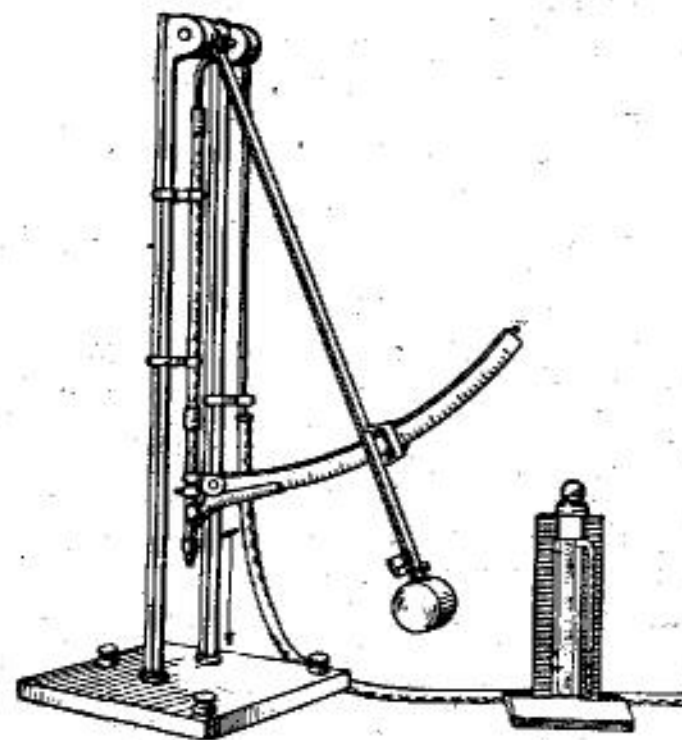


Рис. 7. Прибор для определения воспламеняемости состава

Угол отвода маятника для качания определяется дуговой шкалой. Перед каждым определением проверяются длина пламени и давление газа в сети. После каждого опыта горелка устанавливается из вертикального в горизонтальное положение, для того чтобы пламя направлялось в сторону и не нагревало головку горелки при длительных испытаниях. Испытуемый состав, помещенный в чашечку, качанием маятника, пущенного с другой шкалы, проносится через пламя газовой горелки до тех пор, пока не наступит воспламенения.

Отмечают или начальное положение маятника (угол отклонения), при котором воспламенение наступает при первом качании, или же число качаний при данном отклонении, требующемся для воспламенения состава.

Испытание чувствительности к воспламенению от луча огня горящего бикфордова шнура не требует специальной установки и приборов. Испытуемый состав спрессовывается в небольшую цилиндрическую звезду (10 г), и к одному из оснований впритык подводится укрепленный в штативе отрезок бикфордова шнура и с другого конца поджигается. Такое испытание считается жесткой пробой, так как состав подвергается действию луча огня горящего дымного пороха, имеющего высокую температуру.

Определение температуры вспышки (воспламенения)

Существуют два способа определения температуры вспышки. Один из них основан на медленном нагревании испытуемого вещества, другой — на быстром. По первому способу испытание проводят следующим образом. Прибор для испытания представляет собой железную чашку диаметром 14 см и высотой 7 см; чашка наполняется сплавом Вуда с таким расчетом, чтобы уровень его находился ниже верхнего среза чашки на 2 см. В центре бани на глубине 30 мм устанавливается термометр, защищенный от повреждения при взрыве. Стекланные пробирки для испытания имеют внутренний диаметр 14 мм, длину 120 мм и толщину стенок не меньше 0,5 мм. Они опускаются в баню на глубину 20 мм. Температура бани выравнивается посредством мешалки и должна быть при опускании пробирок в 100°C . Пробирки с навеской состава от 0,05 до 0,1 г помещаются в баню, температура которой с этого момента повышается на 20°C в минуту до тех пор, пока не произойдет вспышки или разложения состава. Испытание повторяется три раза.

Способ определения быстрым нагреванием заключается в следующем. В железном тигле помещают 1—1,5 г сплава Вуда и нагревают газовой горелкой до температуры, при которой ожидается воспламенение состава. Для устранения большой потери теплоты нагреваемого тигля его одевают асбестовой рубашкой. Сверху тигель покрывается асбестовым кружком с отверстиями для

термометра и для металлической гильзочки с испытуемым составом.

Несколько выше дна тигля в асбестовой рубашке делают по окружности 3—4 отверстия для выхода газов горящей горелки. Большинство же таких приборов нагревается электрической энергией. Навеска состава в 0,05 г насыпается в металлическую гильзочку длиной 8—10 см, диаметром 5—6 мм и толщиной стенок 0,25—0,30 мм. Легкими ударами дном гильзочки о стол состав, приставший к стенкам, стряхивается на дно, и затем гильзочка с составом помещается в нагретый сплав. Погружение гильзочки с составом в сплав делается только тогда, когда устанавливается постоянная его температура. Вспышка с сильным звуком, происходящая через 2—4 сек., является признаком температуры, значительно большей истинной температуры вспышки. Тогда понижают температуру сплава на $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ и, по установлении ее, вновь погружают в сплав новую гильзочку с составом. Если вспышка не наступает в течение 60 сек., то температура считается низкой и, повысив ее на несколько градусов, повторяют опыт до тех пор, пока не начнут получаться вспышки за период времени в 6—60 сек. Найденную температуру принимают за температуру вспышки состава.

Испытание на самовоспламеняемость

Возникновение самовоспламенения в пиротехнических составах наблюдалось и наблюдается в следующих случаях: при отсырении некоторых составов, при приготовлении составов из недостаточно чистых компонентов, при приготовлении составов из компонентов, перед смешением сильно высушенных, а затем хранении приготовленного состава открытым в теплом и влажном месте. Склонность к самовозгоранию замечается у составов, содержащих перманганат калия, окись меди, бертолетовую соль с примесью бромата калия.

Было замечено, что и составы из нитрата стронция или нитрата бария вместе с серой и хлоратом калия склонны к самовоспламенению при хранении открытыми. Поэтому при образовании пиротехнических составов нужно с особым вниманием относиться к тому, чтобы в состав не входили такие вещества, которые способны, особенно при действии влажности, взаимодействовать друг с другом при выделении тепла.

По Мейшмейеру, испытание на самовоспламеняемость производится следующим образом: 5 г состава помещают в тигель и нагревают 2 часа на песчаной бане до 100°C . После остывания состав смачивают небольшим количеством воды и вновь нагревают при тех же условиях.

Воспламенение состава при этом испытании указывает на его плохую химическую стойкость.

Для улучшения методики испытания, для избежания потери тепла от лучеиспускания, рекомендуется взять пробу состава весом в 10 г, поместить в пробирку диаметром 2,5 см, прикрыть ее пробкой со вставленным в нее термометром, помещенным в середину состава, и пробирку поставить в баню с нагреваемой жидкостью. Измерение температуры состава и бани производится с помощью двух термометров: одного — находящегося в составе, другого — в жидкости бани у самой пробирки. Температуру поднимают скачками, например с 40 на 60, 80 и 100°C .

При каждой из этих температур пробу выдерживают 2 часа. Через час нагревания при данной температуре, а также в конце нагревания прибавляют к составу по капле воды. С момента, когда начинается экзотермическая реакция, в составе появляется более высокая температура, чем в бане. Затем обычно она быстро поднимается до воспламенения. Периодический отсчет температуры позволит получить кривые, которые дадут возможность лучше судить о воспламеняемости состава, чем при определении отдельной температурной точки разложения.

Испытание на гигроскопичность

Это испытание имеет значение для определения способности состава увлажняться при открытом хранении. Увлажнение же состава приводит к его порче или к самовозгоранию. Поэтому эту способность важно знать для сохранения состава в полной годности и принятия соответствующих мер.

Испытание на гигроскопичность заключается в помещении испытуемого состава во влажную атмосферу с постоянной относительной влажностью и ежедневном определении прироста в весе взятой навески состава. Для этой цели готовят насыщенный раствор хлористого аммония, наливают его в нижнюю часть эксика-

тора Платнера и туда же ставят на сетку открытый бюкс с точно отвешенной навеской состава. Эксикатор ставят в помещение, в котором колебание температуры не превосходит $1-2^{\circ}$. Через каждые 24 часа бюкс с составом вынимается из эксикатора и точно взвешивается. Взвешивание продолжается до тех пор, пока не перестанет наблюдаться прирост в весе. Увеличение в весе за 24 часа, пересчитанное на проценты и выраженное в графике, даст кривую гигроскопичности.

Таблица I

ОКИСЛИТЕЛИ

№ по пор.	Название окислителя	Молекулярный вес	Из кислорода выделяется из граммов
1	Перхлорат калия, KClO_4	138,6	2,16
2	Перхлорат бария, $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	336,3	2,62
3	Хлорат калия, KClO_3	122,6	2,55
4	Хлорат бария, $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$	304,3	3,17
5	Нитрат калия, KNO_3	101	2,53
6	Нитрат натрия, NaNO_3	85	2,13
7	Нитрат кальция, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	164,1	2,05
8	Нитрат бария, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	261,4	3,27
9	Нитрат стронция, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	211,6	2,65
10	Нитрат свинца, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	330	4,13
11	Нитрат тория, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$	480	3,00
12	Перманганат калия, KMnO_4	158,2	3,95
13	Хромат калия, K_2CrO_4	194,5	8,09
14	Хромат свинца, PbCrO_4	323,2	13,47
15	Бихромат калия, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	294	6,12
16	Перекись бария, BaO_2	169,4	10,59
17	Двуокись свинца, PbO_2	239,2	14,95
18	Двуокись марганца, MnO_2	87	5,44
19	Окись меди, CuO	80	5,00
20	Свинцовый сурь, Pb_3O_4	685,6	42,85
21	Железный сурь, Fe_2O_3	231,5	14,47

Таблица II

ГОРЮЧИЕ ВЕЩЕСТВА

№ по пор.	Название горючих веществ	Молеку- лярный вес	1 г кислорода сжигает вещества, в г		
			до CO	до CO ₂	до про- дуктов полного окисления
1	Уголь древесный, C	12	0,75	0,38	—
2	Сера, S	32	—	—	1,00
3	Магний, Mg	24,32	—	—	1,52
4	Алюминий, Al	26,97	—	—	1,12
5	Цинк, Zn	65,38	—	—	4,09
6	Железо, Fe	55,84	—	—	2,33
7	Сурьма, Sb	121,76	—	—	5,07
8	Антимоний, Sb ₂ S ₃	339,7	—	—	2,36
9	Полусернистая медь, Cu ₂ S	159,2	—	—	2,50
10	Сернистая медь, CuS	96,0	—	—	2,60
11	Крахмал, C ₆ H ₁₀ O ₅	162	1,69	0,85	—
12	Сахар, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	342	1,75	0,89	—
13	Шеллак, C ₁₆ H ₂₄ O ₆	296,2	0,80	0,47	—
14	Идиол, C ₄₈ H ₄₇ O ₇	735,4	0,68	0,40	—
15	Канифоль, C ₂₀ H ₃₀ O ₂	302,2	0,57	0,36	—
16	Олифа, C ₁₆ H ₂₆ O ₂	250,2	0,58	0,36	—
17	Парафин, C ₁₈ H ₃₄	226,3	0,43	0,29	—
18	Оксалат натрия, Na ₂ C ₂ O ₄	134	—	8,37	—
19	Оксалат стронция, SrC ₂ O ₄	176,63	—	10,98	—
20	Оксалат бария, BaC ₂ O ₄	225,4	—	14,09	—
21	Оксалат меди, CuC ₂ O ₄	151,6	—	9,48	—
22	Пикрат аммония, C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ ONH ₄	246,1	7,69	1,92	—
23	Нафталин, C ₁₀ H ₈	128,1	0,57	0,33	—
24	Антрацен, C ₁₄ H ₁₀	178,08	0,58	0,34	—

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
ОКИСЛИТЕЛИ	
Соли азотной кислоты (нитраты)	7
Нитрат калия	8
Нитрат бария	9
Нитрат стронция	10
Нитрат свинца	11
Соли хлорноватой и хлорной кислот	11
Хлорат калия	14
Хлорат бария	14
Перхлорат калия	16
Другие окислители	16
Перманганат калия	17
Окислы металлов	17
Перекись бария	17
Двуокись свинца	18
Двуокись марганца	18
Свинцовый сурь	18
Окись меди	18
ГОРЮЧИЕ ВЕЩЕСТВА	
Уголь древесный	19
Сажа	20
Сера	22
Магний	22
Алюминий	23
Железо	23
Цинк	24
Сурьма	24
Антимоний	25
Полусернистая медь	25
Резальгар	25
Парафин	26
Церезин	26
Нафталин	26
Антрацен	26
Молочный сахар	27
Тростниковый пищевой сахар	27
Крахмал	28
Шеллак	28
Канифоль	29
Идиол	29

Аравийская камедь	Стр. 30
Олифа	—

ОБРАЗОВАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Основные смеси	32
Составы	37
Динамические составы	—
Пламенные составы	40
Осветительные составы	41
Сигнальные составы	47
Зеленый огонь	48
Красный огонь	50
Желтый огонь	52
Синий огонь	—
Огни других цветов	53
Дымовые составы	54
Распыление минеральных красок	—
Химическая реакция	55
Возгонка органических красителей	—
Белый дым	58
Черный дым	59
Желтый дым	60
Красный дым	61
Зеленый дым	—
Синий дым	62
Зажигательные и трассирующие составы	—
Вспомогательные средства	65
Пороховая подмазка	—
Стояки	66
Бикфордов шнур	67
Фитиль	68

ЛАБОРАТОРНОЕ ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОСТАВОВ

Измельчение веществ	69
Стирочный стол	—
Бочки	73
Кожаные мешки	74
Хранение измельченных веществ	75
Перемешивание состава	—
Составы с хлоратами	78

ИСПЫТАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Определение чувствительности к удару и трению	80
Определение воспламеняемости состава	81
Определение температуры вспышки (воспламенения)	82
Испытание на самовоспламеняемость	84
Испытание на гигроскопичность	85
Таблица I. Окислители	86
Таблица II. Горючие вещества	87
Таблица III. Список основных смесей	88
Таблица IV. Реценты составов протных огней	89
Список использованной литературы	95

613 332
592 185

