

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Алтайский государственный технический университет
имени И.И. Ползунова»

Бийский технологический институт (филиал)

С.А. Светлов

ПИРОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ И ИЗДЕЛИЯ

Учебное пособие для студентов специальности 240706
«Автоматизированное производство химических предприятий»

Бийск 2006

УДК 662.1(075.8)

Светлов, С.А. Пиротехнические составы и изделия: учебное пособие для студентов специальности 240706 «Автоматизированное производство химических предприятий».

Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2006.
– 38 с.

В учебном пособии приведены сведения о компонентах и технологии получения пиротехнических составов, рассмотрены свойства пиротехнических составов (осветительных, сигнальных, зажигательных), а также конструкции изделий, снаряженных пиротехническими составами.

Учебное пособие предназначено для студентов очной и очно-заочной форм обучения специальности 240706, изучающих дисциплину «Машины и агрегаты для переработки и изготовления смесей».

Рассмотрены и одобрены на
заседании кафедры технологии
химического машиностроения.
Протокол № 2 от 23 ноября 2006 года.

Рецензент: к.т.н., доцент, зав. лаб. ИПХЭТ СО РАН Василюшин М.С.

© БТИ АлтГТУ, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Вещества и смеси, дающие при горении световые, тепловые, дымовые, звуковые и реактивные эффекты, называют пиротехническими составами. Пиротехнические составы представляют собой механические смеси. Они состоят в основном из окислителей и горючих веществ и содержат добавки, придающие составам дополнительные специальные свойства: окрашивающие пламя, образующие цветной дым, уменьшающие чувствительность состава (флегматизаторы), увеличивающие механическую прочность полученного состава (связующие).

1 ИСПОЛЬЗУЕМОЕ СЫРЬЁ

В качестве окислителей в пиротехнических составах применяются нитраты, хлораты, перхлораты, окислы и перекиси металлов и некоторые хлорпроизводные. Из нитратов чаще всего применяются нитраты бария, калия, натрия и стронция. Из хлоратов применяют соль калия, из перхлоратов применяют соли натрия, калия и аммония. Из кислородных соединений металлов применяют те, которые способны сравнительно легко отдавать кислород: перекись бария, двуокись марганца, двуокись свинца, сурик, окись-закись железа (окалина) и окись железа. Кроме кислородсодержащих веществ, в качестве окислителя применяют гексахлорэтан.

В качестве горючих в пиротехнике применяются как неорганические, так и органические вещества. Из неорганических горючих чаще применяют высококалорийные металлы – алюминий, магний, сплавы алюминия с магнием и др. К органическим горючим относятся углеводороды (бензин, керосин, нефть, мазут, бензол, скипидар и др.), углеводы (крахмал, сахар, древесные опилки и др.) и смолы (бакелит, идитол, олифа). Роль горючих также выполняют некоторые дымообразователи, например, нафталин и др. Горючее выбирается с учетом задачи получения наибольшего специального эффекта, требуемого от данного пиротехнического состава.

Пиротехнические составы в изделиях должны гореть медленно, равномерно и устойчиво. Они должны обладать большой механической прочностью, чтобы при хранении или применении не происходило растрескивания, отколов и других повреждений изделия. Увеличение прочности достигается введением в состав связующих веществ, например, искусственных смол (идитола, бакелита, поливинилхлорида) и естественных смол (канифоли, шеллака), каучука, стеарина, парафина и других органических веществ. Органические связующие выполняют одновременно роль горючего и замедляют горение состава. В качестве связующего применяют олифу, декстрин.

К веществам, окрашивающим пламя в красный цвет, относятся соединения стронция, в зеленый цвет – соединения бария, в синий цвет – соединения меди. При использовании солей натрия происходит атомарное излучение паров натрия, которое используется для получения желтого пламени.

К флегматизаторам относятся смолы, парафин и масла.

2 ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ И СРЕДСТВА

При современном состоянии боевой техники возросло значение действий войск ночью. Ночная темнота, хотя и затрудняет ведение наступательных и оборонительных операций, но позволяет более безопасно, чем днем, сосредоточивать силы и средства для атаки или для обороны, а также способствует нанесению внезапного удара по противнику.

Основными средствами освещения поля боя являются прожекторы, осветительные артиллерийские снаряды и авиабомбы (САБ), а также общевойсковые осветительные средства. Пиротехнические осветительные средства по сравнению с прожекторами имеют следующие преимущества: простота в обращении, быстрота приведения в действие, внезапность действия, возможность применения их на значительно больших, чем прожекторы, расстояниях, отсутствие громоздких электрических генераторов.

Пиротехнические осветительные средства могут использоваться при разведке и наблюдении, бомбометании с самолетов, для указания целей. Осветительные средства должны давать максимальную силу света в течение заданного промежутка времени. Минимальные освещенность и время освещения, необходимые для ориентировки на местности, составляют 1...

2 лк и 5...6 секунд. Для получения отчетливого представления о расположении войсковых частей и огневых средств противника требуется время освещения не менее 10 секунд. При проведении каких-либо операций продолжительность освещения должна быть значительно больше, например, при ночном бомбометании с использованием САБ время освещения должно быть не меньше 4...5 минут.

Основными требованиями, предъявляемыми к осветительным средствам, являются сила света и время горения. В зависимости от назначения боеприпасов эти требования могут изменяться в довольно широких пределах. Кроме этого, задаются ограничения по размеру и весу боеприпасов, иногда указывается необходимый спектральный состав излучения пламени.

Осветительные средства классифицируются на группы следующим образом:

- средства артиллерии – осветительные снаряды (ОС) и осветительные мины (ОМ), реактивные осветительные снаряды (РОС);
- средства авиации – авиабомбы (САБ), посадочные осветительные авиабомбы и факелы;
- общевойсковые средства – осветительные патроны (ОП), выстреливаемые из пистолета-ракетницы, реактивные и осветительные бомбы, выстреливаемые из специальной мортиры, и осветительные гранаты, выстреливаемые из специального гранатомета;
- инженерные осветительные мины.

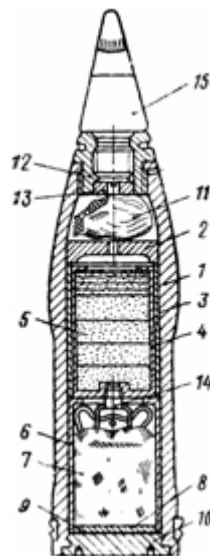
В зависимости от конструкции осветительные средства бывают парашютные и беспарашютные. В беспарашютных средствах время свечения ограничивается временем свободного падения звездки или факела и обычно не превышает 20...25 с. Осветительные элементы, снабженные парашютом, снижаются значительно медленнее, и потому их время горения может быть во много раз больше.

Осветительные составы делятся на быстро и медленно горящие. Первые, имеющие скорость горения 10 мм/с и больше, применяют обычно в относительно мелких изделиях (звездки для пистолетных патронов и гранат). Эти составы имеют большую силу света с единицы горячей поверхности, чем медленно горящие составы. Для крупных изделий (факелы авиабомб, снарядов и мин), где время горения исчисляется минутами, пользуются медленно горящими составами, имеющими скорость горения 1...2 мм/с.

Осветительные составы также подразделяются на твердые и пластичные или гелеобразные. Практическое применение получили твердые осветительные составы, получаемые либо прессованием порошкообразной смеси компонентов, либо отверждением при нормальной или повышенной температуре.

Наиболее массовое применение нашли осветительные средства в артиллерии. Беспарашютный осветительный снаряд по устройству сходен с зажигательным термитно-сегментным снарядом, в котором вместо зажигательных элементов имеется до 16 осветительных элементов (по 3–4 в каждом ряду). Осветительный элемент представляет собой стальную оболочку в форме сегмента, в которую запрессовываются осветительный и воспламенительный составы. Воспламенение элементов и вышибного заряда обеспечивается лучом огня от дистанционной трубки.

Время горения элементов в зависимости от калибра снаряда составляет от 15 до 25 с, сила света одного элемента $20 \cdot 10^3$ до $40 \cdot 10^3$ св. Преимуществами беспарашютных снарядов по сравнению с парашютными являются простота конструкции, большой коэффициент заполнения камеры составом, большая суммарная поверхность горения и, следовательно, большая суммарная сила света, незначительный относительный расход горящих элементов ветром в сторону от освещаемой цели. Основным недостатком беспарашютных снарядов – большая скорость падения элементов до 50 м/с, из-за этого для обеспечения освещения в течение 20...25 с снаряд вскрывается на высоте от 800 до 1000 м. Это приводит к тому, что освещенность местности в начале горения элементов получается небольшой, а затем быстро увеличивается по мере приближения элементов к земле.



1 – корпус; 2 – верхняя диафрагма;
 3 – полуцилиндры факела; 4 –
 оболочка факела; 5 –
 осветительный состав; 6 –
 полуцилиндры для парашюта; 7 –
 парашют; 8 – войлочная
 прокладка; 9 – свинцовое
 обтюрирующее кольцо; 10 – дно;
 11 – вышибной заряд; 12 –
 привинтная головка; 13 – втулка
 14 – вертлюг; 15 –
 дистанционная трубка

Рисунок 1 – Осветительный
 парашютный снаряд калибром
 122 мм

Большое распространение получили парашютные осветительные снаряды с выбрасыванием осветительного факела с парашютом через донную часть в направлении, обратном полету снаряда (рисунок 1). При полете снаряда газы вышибного заряда выбрасывают и воспламеняют факел. Факел и парашют помещены каждый в отдельности в пару стальных полуцилиндров, защищающих их от повреждения в момент выстрела и при выбрасывании из корпуса снаряда. По вылете из корпуса полуцилиндры расходятся в стороны и освобождают факел и парашют. При поступательном движении факел натягивает стропы, парашют наполняется воздухом и горящий факел опускается к земле со скоростью от 10 до 15 м/с. Для предотвращения закручивания строп парашют прикрепляется к факелу при помощи вращающегося на шарикоподшипниках вертлюга. Факел 122 мм осветительного снаряда имеет силу света около $5 \cdot 10^5$ кд и при разрыве на высоте от 400 до 500 м освещает площадь диаметром до 1000 м в течение 50...55 с.

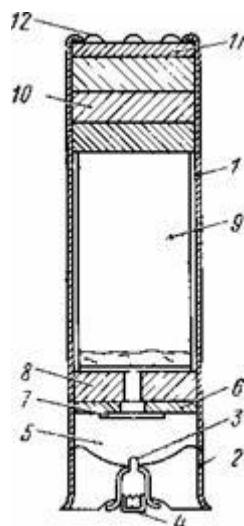
Парашютные снаряды имеют ряд преимуществ по сравнению с беспарашютными, но в то же время они более сложны по конструкции и в снаряжении. Для размещения осветительного состава в них используется лишь половина или 1/3 объема каморы, а остальное пространство занято парашютом. При длительном хранении парашют может слеживаться и не раскрываться при полете. Кроме того, горящий факел парашютных снарядов может уноситься ветром довольно далеко в сторону от освещаемой цели. Наибольшие трудности, встречающиеся при создании парашютных снарядов, связаны с опасностью разрушения внутреннего снаряжения в момент выстрела и при вышибании из корпуса, а также с возможностью скручивания парашюта при его раскрытии.

Осветительные авиабомбы кроме целей освещения местности используются для ослепления противовоздушной обороны противника, в качестве мишени при учебных стрельбах зенитной артиллерии. Воспламенение факела бомбы осуществляется при помощи терочного воспламенителя, срабатывающего в момент раскрытия парашюта. Факел состоит

из картонной или металлической оболочки, в которую запрессованы основной и воспламенительный составы.

Наиболее массовыми из общевойсковых осветительных средств являются осветительные патроны (беспарашютные и парашютные, выстреливаемые из пистолета-ракетницы, и реактивные). На рисунке 2 показано устройство 26 мм беспарашютного патрона. При ударе бойка воспламеняется капсюль, поджигающий вышибной заряд дымного пороха, горячие газы воспламеняют осветительный элемент (звёздку) и одновременно выбрасывают его вместе с пыжами и металлическим кружком. При выстреле под углом от 45 до 50 градусов звёздка поднимается на высоту от 50 до 60 м, дальность полета составляет 120 м, время горения от 7 до 9 с, сила света не менее $50 \cdot 10^3$ кд, радиус освещаемой площади 100 м. При нормальной работе звёздка полностью разгорается в наивысшей точке траектории и сгорает в воздухе, не долетая до земли.

На рисунке 3 показан парашютный патрон, отличающийся тем, что из пистолета выстреливается металлическая или бумажная оболочка с замедлителем, снаряженная дополнительным вышибным зарядом, звёздкой и прикрепленным к ней парашютом. В верхней точке траектории замедлитель прогорает и поджигает дополнительный вышибной заряд. Давлением образующихся газов звёздка с парашютом выбрасывается из оболочки и одновременно воспламеняется. При медленном спуске на парашюте звёздка равномерно освещает местность. При стрельбе под углом 45° звёздка поднимается на высоту 40 м и горит в течение 16 с.



- 1 — бумажная гильза; 2 —
металлическая крышка; 3 —
наковаленка; 4 — капсюль; 5 —
вышибной заряд дымного пороха;
6 — картонный пыж; 7 — марлевый
кружок; 8 — войлочный пыж; 9 —
осветительная звёздка; 10 — пыж;
11 — металлический кружок;
12 — опознавательные знаки

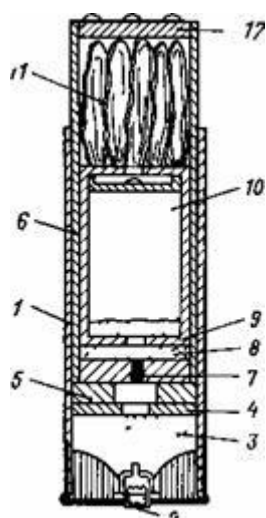
Рисунок 2 — 26 мм осветительный патрон

Реактивные патроны отличаются тем, что осветительные элементы (парашютные или беспарашютные) доставляются на вершину траектории при помощи миниатюрного порохового ракетного двигателя. К общевойсковым осветительным средствам относятся также осветительные гранаты.

Работы по усовершенствованию осветительных средств ведутся в направлении увеличения силы света и времени горения, дальности полета и высоты подъема. Предложен ряд способов сообщения звёздке вращательного движения: при помощи разного рода направляющих, раскручивающих звёздку в канале пистолета, за счет реакции истекающей струи продуктов сгорания и т.п.

При сгорании единицы массы состава должно выделяться максимальное количество световой энергии, причем желательно, чтобы основная часть ее выделялась в спектральной области, к которой наиболее чувствителен человеческий глаз. Достаточное количество лучистой энергии получается только при сгорании пламенных составов, выделяющих не менее 1,5 ккал/г (6,3 кДж/г). Это число служит критерием для проверки правильности подбора компонентов осветительного состава.

Значение светового коэффициента полезного действия определяется многими факторами: излучающей способностью продуктов горения; спектральным составом излучения; размерами и оптическими свойствами пламени; скоростью горения состава и др. Для получения наибольших значений светового КПД следует путем подбора рецепта состава и конструкции изделия стремиться к тому, чтобы образующееся при горении составов пламя имело максимальную температуру, содержало в себе достаточное количество твердых или жидких частичек, хорошо излучающих свет в накаливанном состоянии, имело наибольшую поверхность излучения.



1 – бумажная гильза; 2 – капсюль-воспламенитель; 3 – вышибной пороховой заряд; 4 и 5 – пыжи; 6 – бумажная гильза, снаряженная звёздкой и парашютом; 7 – замедлитель; 8 – дополнительный вышибной заряд; 9 – пыж; 10 – звёздка; 11 – парашют; 12 – опознавательный пыж

Рисунок 3 – 26 мм осветительный парашютный патрон

Одним из важнейших факторов, определяющих силу света, является температура пламени. Температура пламени, в свою очередь, тем выше, чем больше калорийность состава. Продукты горения должны быть устойчивыми при высоких температурах с тем, чтобы не затрачивалось большое количество тепла на их диссоциацию.

Основой каждого состава является смесь горючего и окислителя. Суммарное количество других компонентов в осветительных составах редко превышает 10...15 %, поэтому качество состава в основном определяется выбором горючего и окислителя и установлением оптимального соотношения между ними.

При рассмотрении горючих веществ принимается во внимание не только количество тепла, выделяющееся при их сгорании, но и другие свойства, как самого горючего, так и продуктов его окисления. В качестве горючих для осветительных составов выбирают простые вещества (элементы), теплота образования 1 г оксида которых составляет не менее 8,4 кДж. К числу таких горючих относятся следующие вещества: металлы Be, Mg, Al, Ca, Ti, Zr и неметаллы H, C, B, Si, P.

При выборе горючего необходимо учитывать, что значительная часть продуктов его окисления должна плавиться при высокой температуре, не испаряться и не диссоциировать при

температуре горения, чтобы в пламени находилось значительное количество твердых и жидких частиц. Продукты окисления горючего должны быть высокоплавящимися и труднолетучими веществами. Водород, углерод и фосфор не удовлетворяют этому требованию и потому не применяются в качестве основных горючих, кроме того, температура горения фосфора на воздухе не превышает 1500 °С.

Наибольшее количество тепла получается при сгорании в осветительных составах магния или алюминия. Оксиды этих металлов обладают, кроме того, хорошей излучающей способностью. Всё это, вместе взятое, является достаточным основанием для применения в осветительных составах главным образом алюминия или магния, а также их сплавов или смесей. Применение кальция или его сплавов ввиду их большой коррозионной способности не представляется возможным. Световая отдача титана при сгорании его в кислороде получается несколько меньшей, чем магния и алюминия, испытанных в тех же условиях. Количество тепла, выделяющееся при сгорании титана, также меньше, чем для магния или алюминия.

При выборе окислителя целесообразно выбирать такой окислитель, на разложение которого требуется минимальное количество тепла. Однако, хотя хлораты совсем не требуют тепла для своего разложения, хлоратные составы обычно весьма чувствительны к механическим воздействиям и потому на практике в осветительных изделиях не используются. В меньшей мере те же соображения относятся к окислителям – перхлоратам, однако перхлораты чрезвычайно гигроскопичные вещества.

Наиболее часто в качестве окислителей для осветительных составов применяют нитраты. Из нитратов в осветительных составах чаще других применяется нитрат бария (соль негигроскопичная) и нитрат натрия (соль гигроскопичная). Нитрат натрия имеет то преимущество, что при введении его в состав в пламени возникает интенсивное излучение в желтой части спектра.

В качестве окислителей применяются соли металлов, имеющих малый атомный вес. Эти соли содержат большее количество кислорода, а изготовленные с их участием составы содержат больший процент горючего и поэтому выделяют при сгорании большое количество тепла.

Введение в составы натриевых солей, наоборот, повышает световые показатели составов. Нитрат натрия является одним из лучших окислителей, обеспечивающих высокие светотехнические показатели составов. Значения удельной светосуммы составов, окислителями в которых являются нитраты бария и стронция, могут быть признаны удовлетворительными. Нитрат бария придает пламени слегка зеленоватый оттенок; нитрат стронция сообщает пламени бледно-розовую окраску. Однако нитрат стронция редко применяется в осветительных составах, так как соль эта более гигроскопична, чем нитрат бария.

В двойных смесях для осветительных составов часто дается некоторый избыток горючего с таким расчетом, чтобы горючее могло сгорать за счет кислорода воздуха. Так, например, содержание магния в двойных смесях может составлять до 50...70 %. Но не всегда можно употреблять двойные смеси с большим содержанием в них металлических порошков, так как скорость горения составов значительно возрастает с увеличением содержания в них металлического горючего. Световые характеристики двойных смесей нитрата натрия с магниевым порошком приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Световые характеристики смесей

№ состава	Состав, %		Плотность, кг/м ³	Скорость горения, мм/с	Удельная свето-сумма, св с/г	Свето-отдача, лм/вт
	нитрат натрия	магний				
1	70	30	1900	4,7	9800	22,6
2	60	40	1700	11,0	15200	25,0
3	50	50	1700	14,3	20000	23,0

В таблице 2 показана зависимость светотехнических показателей смесей от содержания в них алюминия. Составы 2–5 содержат избыток горючего, который частично сгорает за счет кислорода воздуха, а частично образует нитрид.

Таблица 2 – Светотехнические характеристики смесей нитрата бария с алюминиевой пудрой

№ состава	Содержа-ние алюминия, %	Плотность, кг/м ³	Скорость горения, мм/с	Сила света, св (кд)	Удельная светосумма, св с/г
-----------	-------------------------	------------------------------	------------------------	---------------------	-----------------------------

1	26	2700	3,0	51000	13800
2	36	2700	5,0	86000	14500
3	39	2600	5,5	87000	13300
4	45	2600	6,6	82000	10700
5	51	2600	5,9	60000	8600

Как видно из таблицы 2, скорость горения состава увеличивается с увеличением содержания алюминия, но только до определенного предела (45%); лучшими световыми показателями обладают составы 2 и 3 с умеренным превышением состава горючего.

Реальный состав создают исходя из заданной линейной скорости горения, стремясь при этом получить значение удельной светосуммы не менее 20000 св с/г. К рассмотренным выше двойным смесям с целью замедления горения состава, придания ему прочности в спрессованном виде и увеличения его химической стойкости добавляют различные органические вещества: смолы, минеральные масла, олифу, парафин, стеарин и др.

Многокомпонентные составы обычно имеют меньшую скорость горения, чем соответствующие двойные смеси, но вместе с тем и меньшую силу света. Удельная светосумма составов с магниевым порошком снижается от введения органических веществ гораздо меньше, чем это наблюдается для составов, содержащих алюминиевую пудру или алюминиевый порошок.

Составы с алюминием при употреблении грубо измельченного алюминия или при введении в них большого количества органических связующих часто при горении сильно искрят. Явление искрения заключается в том, что частицы несгоревшего металла и расплавленные шлаки выбрасываются из пламени. При внимательном наблюдении можно заметить, что расплавленные частицы металла имеют большую яркость и по окраске своей сильно отличаются от темно-красных частиц шлака. Выбрасывание из пламени несгоревших частиц металла называется форсовым искрением в отличие от другого вида – шлакового искрения.

Понижение световых характеристик составов с алюминием при введении в них органических связующих, возможно, объясняется тем, что при наличии форсового искрения не происходит полного сгорания металла, вследствие чего значительно понижается температура пламени. Кислородный баланс составов при введении в них значительного количества органических веществ обычно становится резко отрицательным. Следует полагать, что введение в осветительные составы органических связующих в количестве, превышающем 5... 6 %, в большинстве случаев нецелесообразно. Тем более, что известны и другие способы замедления горения составов, а именно: изменение степени дисперсности металлических порошков; добавление в алюминиевые составы легкоплавкого вещества – серы. Составы, содержащие серу, при горении сравнительно мало искрят даже при использовании грубозернистого алюминия. Добавление серы в алюминиевые осветительные составы вполне целесообразно, но введение более 10 % серы уже снижает их световые показатели.

Для повышения световых показателей составов в них часто вводят небольшое количество так называемых пламенных добавок. Чаще других для этой цели употребляются негигроскопичные, плохо растворимые в воде натриевые соли, например, фтористый натрий, криолит, а также фтористый барий и др.

С целью уменьшения пыления составов, содержащих тонкоизмельченные компоненты (алюминиевую пудру), в некоторых случаях к ним добавляют жирующие вещества. В качестве таких технологических добавок применяют различные масла. Введение жирующих веществ способствует также увеличению стойкости составов при хранении. Для защиты металлических порошков от коррозии и замедления горения в составы вводят иногда и такие вещества, как стеариновую кислоту или стеараты металлов.

Светотехнические показатели изделия определяются прежде всего, содержанием компонентов состава, степенью измельчения компонентов, степенью уплотнения состава. Известное влияние оказывает также материал оболочки факела. Наряду с этим большое значение имеют и условия, при которых происходит горение состава: начальная температура изделия, температура и давление окружающей среды, наличие и направление обдува при горении, положение пламени по отношению к горизонту (вниз или вверх, горизонтальное или наклонное положение). Размер и форма частиц порошков металлов, а также их удельная поверхность влияют на степень уплотнения состава и на скорость его горения. С уменьшением размера сферических частиц порошка, а значит, с увеличением удельной поверхности сила света и скорость горения увеличиваются.

3 СОСТАВЫ СИГНАЛЬНЫХ ОГНЕЙ

Сигнальные огни предназначаются для подачи сигналов ночью, а также и днем. Наиболее употребительной системой сигнализации является трёхцветная с применением красного, желтого и зеленого огней. Желтый огонь в случае необходимости может быть заменен белым, получающимся при горении осветительных составов.

Применение четырех- или пятицветной сигнализации (последняя включает в себя красный, желтый, зеленый, синий и белый цвета) едва ли можно признать рациональным, так как различимость цветов на больших расстояниях в этом случае становится недостаточно надежной.

Пиротехническими средствами огневой сигнализации являются сигнальные патроны, сигнальные гранаты и мощные сигналы ночного действия. 26 мм сигнальный патрон ночного действия по устройству не отличается от 26 мм осветительного патрона за исключением того, что вместо осветительной звёздки в патрон помещается звёздка сигнального огня массой от 20 до 30 г.

Составы сигнальных огней должны удовлетворять требованиям, общим для всех видов составов, и, кроме того, следующим специальным требованиям:

- пламя, получающееся при сгорании составов, должно иметь характерную окраску, при количественной оценке цвета пламени указывается, что «чистота» цвета должна быть не менее 70...75 %;

- количество световой энергии, выделяющейся при сгорании состава, должно быть максимальным, удельная светосумма должна быть не меньше чем несколько тысяч св/г;

- скорость горения состава должна быть несколько миллиметров в секунду, обычно сигнальные звёздки горят со скоростью от 3 до 6 мм/с.

Для получения желтого пламени в пиротехнике используется только атомарное излучение натрия. Входящие в составы натриевые соли должны легко диссоциировать при высоких температурах, иметь возможно большее содержание натрия и по возможности быть негигроскопичными. Интенсивность свечения линии натрия в пламени пропорциональна введенному в пламя количеству натрия.

Кроме желтой линии натрия (0,589 мкм), при высоких температурах могут появляться и другие линии натрия, но интенсивность их мала, и практического значения они не имеют. Наибольшее количество солей натрия можно ввести в состав в том случае, если в качестве окислителя используется нитрат натрия.

Из других окислителей в составах желтых огней используются почти исключительно соли калия; в пламени в этом случае возникает атомарное излучение калия, но его линии имеют малую интенсивность, поэтому наличие в составе соединений калия почти не отражается на чистоте цвета пламени, которая составляет от 80 до 85 %. В качестве окислителей используются нитрат калия, а также перхлорат калия. В качестве солей, окрашивающих пламя в желтый цвет, в этом случае чаще других применяются оксалат или фторид натрия, а также другие соли натрия. Вследствие незначительной растворимости в воде эти соли малогигроскопичны.

Составы, имеющие большую яркость пламени, содержат магний, а в качестве окислителя нитраты калия или натрия. Применение в составах желтого огня хлорорганических веществ не обязательно, так как желтый огонь имеет атомарный характер свечения.

Красное пламя создается исключительно введением в состав соединений стронция. Свечение атомарного стронция не может быть использовано, так как его излучение приходится на коротковолновую часть спектра (длина волны 0,461 мкм). Оксид стронция дает широкую размытую полосу в оранжево-красной части спектра с максимумом излучения около 0,60 мкм. Идентичный спектр дает и нитрат стронция.

Пламя, получающееся при излучении оксида стронция, имеет лишь розовую окраску, так как вследствие его малой летучести при температуре выше 2500 °С создать в пламени значительную концентрацию паров оксида стронция трудно.

Составы красного огня создаются только на основе излучения оксида или монохлорида стронция, причем излучение последнего гораздо интенсивнее и, кроме того, лежит ближе к крайней красной части спектра. Этим объясняется стремление ввести хлор во все составы красного огня. Хлорид стронция редко применяется из-за его гигроскопичности. Хлорат стронция дает в пламени излучение, аналогичное хлориду стронция, но использовать его в составах нецелесообразно из-за гигроскопичности и большой чувствительности. Чаще всего

хлор вводится в составы в виде перхлората или хлората калия или хлорорганических соединений.

Составы красного огня выгодно создавать с отрицательным кислородным балансом, так как наличие в пламени восстановительной атмосферы, препятствующей окислению, способствует увеличению чистоты цвета пламени. Полезно вводить в составы красного огня хлорорганические соединения (поливинилхлорид, гексахлорбензол и др.). В этом случае перхлораты (или хлораты) могут быть полностью заменены другими окислителями, что понижает чувствительность составов к механическим воздействиям. Хлорорганические соединения должны содержать максимальное количество хлора не менее 50 %, быть негигроскопичными и нелетучими при комнатной температуре.

Соединения кальция придают пламени красновато-оранжевый цвет и в составах красного огня не могут быть использованы.

Зеленое пламя в пиротехнике получается чаще всего при использовании соединений бария. Атомарный барий дает ряд линий в различных частях спектра, и потому излучение его не может быть использовано. Оксид бария (BaO) представляет высокоплавкое и труднелетучее соединение, дает широкие размытые полосы в желтой и зеленой частях спектра. Пламя при введении в него BaO окрашивается в тусклый желто-зеленый цвет. Идентичный спектр дает в пламени и нитрат бария.

Спектр испускания BaCl состоит из многочисленных полос в зеленой части спектра. Получение хорошего чисто зеленого пламени может быть осуществлено только на основе излучения монохлорида бария. Следовательно, в составы обязательно должны входить соединения, содержащие хлор. Обычно в составы зеленого огня из содержащих хлор веществ входят: хлорат бария; перхлорат или хлорат калия; хлорорганические соединения.

Замена в составах зеленого огня с хлоратом калия смолы серой заметно улучшает цвет пламени, но вместе с тем составы становятся очень чувствительными, а при недостаточной чистоте серы и склонными к самовоспламенению. Введение в составы зеленого огня хлорорганических веществ создает в пламени высокую концентрацию хлора и тем самым способствует улучшению окраски пламени.

Медные соли окрашивают пламя в интенсивно зеленый цвет. Но для военной пиротехники задача получения составов зеленого огня на основе соединений меди не представляет интереса вследствие дефицитности и гигроскопичности большинства медных солей.

Синее пламя получается почти исключительно на основе излучения монохлорида меди. Наличие в пламени соединений меди сообщает ему зеленую или синюю окраску. Цвет пламени зависит от взятого соединения меди, температуры пламени и его восстановительной способности. Синее излучение монохлорида меди может быть получено лишь в восстановительной зоне пламени и при температуре, не превышающей 1000...1200 °C. В составах синего огня обязательно должны присутствовать хлорсодержащие соединения. При отсутствии серы монохлорид меди в пламени не образуется. Сера в этом случае взаимодействует с хлоратом калия с выделением свободного хлора. В составах синего огня могут применяться и другие соли меди: малахит, сернистая медь, роданид меди, а также окись меди и металлическая медь.

В составах синего огня возможно применение и хлорорганических соединений; наличие серы в этом случае необязательно. Чистота цвета пламени составов синего (точнее говоря, голубого) огня не превышает обычно 25...30 %. Нитрат бария сообщает пламени зеленоватый оттенок, нитрат калия - розоватый; при совместном их присутствии в составе пламя получается не яркого белого цвета.

4 ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ

В отличие от других пиротехнических средств, зажигательные боеприпасы (снаряды, авиабомбы и т.п.) относятся к группе боеприпасов основного назначения. Зажигательные средства используются всеми видами вооруженных сил и являются важным средством поражения противника. Они применяются для поражения самолетов и вертолетов, танков, кораблей, железнодорожных эшелонов, автомашин, ракетных установок и т. д. Зажигательные средства широко используются для уничтожения или нанесения ущерба промышленным предприятиям, военным объектам, железнодорожным узлам, морским портам, для уничтожения складов горючего и боеприпасов. При массированном применении против

неподготовленного к защите личного состава зажигательные средства оказались весьма эффективным средством поражения живой силы, так как они вызывают тяжелые ожоги и производят деморализующее действие на противника. Зажигательные средства в ряде случаев, когда условия благоприятствуют распространению пожара, являются более эффективными, чем боеприпасы, содержащие взрывчатые вещества. Эффективность действия зажигательных средств повышается при комбинированном применении их с фугасными и осколочными средствами или при совмещении в одном боеприпасе зажигательного и взрывного эффектов.

Зажигательные средства и составы должны удовлетворять ряду специальных требований. Требования эти весьма разнообразны и обуславливаются в каждом отдельном случае свойствами поджигаемого материала (горючие жидкости, дерево, взрывчатые вещества или твердые ракетные топлива) и конструктивными особенностями поражаемой цели (горючий материал открыт или защищен металлическими оболочками, прочность конструкции, возможность доступа воздуха и т. д.). Учитываются также условия применения зажигательного вещества в боеприпасе (наличие взрывателя и воспламенительно-разрывного заряда, прочность и горючесть оболочки и т. п.), тактические условия применения (одиночное или массированное, комбинирование с боеприпасами взрывного действия и т. п.). Кроме того, имеют значение особенности самих зажигательных веществ (агрегатное состояние, способность к самовоспламенению, потребность в кислороде воздуха, наличие взрывного действия и т. п.).

Общие требования к зажигательным составам следующие:

- наличие высокой температуры горения, которая должна быть не ниже 800...1000 °С, для зажигания трудновоспламеняемых материалов (сырое дерево, тяжелые нефтепродукты) или когда требуется проплавить стальные или алюминиевые оболочки, закрывающие доступ к горючим частям объекта, температура горения состава должна быть не меньше 2000 °С;
- достаточное время и интенсивность горения, обеспечивающие передачу поджигаемому материалу тепла в количестве, необходимом для воспламенения и горения;
- способность легко воспламеняться от обычных воспламенительных составов не только при обычной, но и при низкой температуре;
- тушение горящих зажигательных составов должно быть затруднительным;
- к большинству зажигательных составов, кроме жидких нефтепродуктов и фосфорных композиций, предъявляется также требование образовывать при горении конденсированные продукты (шлаки), которые существенно повышают зажигательное действие составов.

К зажигательным средствам относятся:

- средства авиации: малокалиберные снаряды осколочно-зажигательно трассирующие (ОЗТ), бронебойно-зажигательные (БЗ) и бронебойно-зажигательно трассирующие (БЗТ) и пули (БЗ и БЗТ), а также авиабомбы и кассеты, зажигательные баки, стрелы, ампулы;
- средства артиллерии: пушечные и реактивные снаряды сосредоточенного и рассеивающего действия, зажигательные мины сосредоточенного и рассеивающего действия;
- средства пехоты: винтовочные и ручные гранаты, зажигательные бутылки, ранцевые огнеметы, реактивные гранатометы-огнеметы, ампулометы, зажигательные патроны, БЗ и БЗТ пули;
- средства танковых войск: огнеметные танки и самоходные огнеметы, ампулометы, зажигательные патроны, БЗ и БЗТ пули;
- средства химических и инженерных войск: огнеметы, огневые фугасы направленного и ненаправленного действия.

По характеру поражаемых целей зажигательные средства можно разделить на две группы, существенно отличающиеся друг от друга по своему действию и по рецептуре составов. К первой группе относятся малокалиберные боеприпасы (снаряды, пули), используемые преимущественно для зажигания жидких топлив в самолетах, хранилищах и т. п. Вторая группа включает обширную номенклатуру средств (авиабомбы, артснаряды и мины, огнеметы, гранаты), которые используются для поражения различных наземных объектов, включая и живую силу, как в зоне боевых действий, так и в тылу противника.

По агрегатному состоянию зажигательные составы подразделяются на твердые, жидкие и жидко-вязкие. В ряде случаев для усиления зажигательного действия боеприпаса в нем одновременно используются твердые и жидкие (или жидко-вязкие) вещества.

В зависимости от вида используемых для их изготовления веществ зажигательные составы можно разделить на следующие четыре типа:

- составы на основе высококалорийных металлов;

- составы (смеси) на основе жидких горючих;
- составы, представляющие комбинацию названных двух типов;
- зажигательные смеси на основе фосфора и его производных.

Кроме того, в качестве зажигательных веществ могут быть использованы активные окислители: фториды галогенов, хлорная кислота и др.

С точки зрения потребности в кислороде воздуха все зажигательные составы можно разделить на три группы:

- составы, действие которых основано на экзотермической реакции между горючим и окислителем;
- составы, для горения которых требуется кислород воздуха;
- индивидуальные вещества или смеси, которые сами являются чрезвычайно активными окислителями и при контакте с горючими жидкостями вызывают их воспламенение.

К первой группе относятся:

- составы, в которых в качестве окислителей используются соли или взрывчатые вещества;
- термитно-зажигательные составы, окислителями в которых являются оксиды железа с добавками кислородсодержащих солей.

Вторая группа составов (смесей) без окислителей, включает:

- жидкие смеси (огнесмеси) на основе нефтепродуктов, вязкие огнесмеси, огнесмеси с наполнителями, металлизированные огнесмеси (пирогели), отвержденные горючие;
- магниевые сплавы;
- фосфор и его производные;
- щелочные металлы.

Составы подразделяются по способу инициирования. Одни из них самовоспламеняются при контакте с кислородом воздуха (фосфор и его производные, некоторые металлоорганические соединения) или с водой (калий, натрий, их сплавы). Другие воспламеняются при ударе снаряда (или пули) о преграду или под действием взрыва шашки взрывчатого вещества (составы с окислителями, смеси взрывчатых веществ с металлическими порошками).

Жидкие и вязкие огнесмеси, а также термитно-зажигательные составы воспламеняются от пиротехнических воспламенителей (воспламенительно-разрывные заряды, воспламенительные и переходные составы), а иногда также от химических запалов.

Малокалиберные зажигательные снаряды и пули используются, главным образом, для поджигания жидкого горючего в самолетах и вертолетах. Горение бензина, керосина и других жидких углеводородов происходит в газовой фазе. Горение может происходить только тогда, когда концентрация пара горючего в воздухе находится в известных пределах, индивидуальных для каждого вещества. Если пары горючего будут содержаться в воздухе в малом количестве, то горение не возникнет, так же как и в том случае, когда паров горючего будет слишком много, а кислорода – недостаточно.

Температура самовоспламенения – это та температура, до которой нужно нагреть вещество, чтобы оно загорелось. Большинство горючих жидкостей имеет температуру самовоспламенения в пределах от 250 до 650 °С. Исключение составляют сероуглерод (112 °С), диэтиловый эфир (180 °С).

Температурой вспышки называют наименьшую температуру жидкости, при которой пары её образуют с воздухом смесь, способную воспламениться при поднесении к ней стандартного пламени. При этом сгорает только смесь паров жидкости с воздухом, а горения жидкости не возникает. Объясняется это малой скоростью испарения жидкости. Сгорание смеси паров происходит так быстро, что за это время не успевает испариться новая порция жидкости, необходимая для горения. Жидкости, имеющие температуру вспышки ниже 45 °С (бензин, ацетон, бензол, метиловый спирт, скипидар и др.), называются легковоспламеняющимися. Такие жидкости, как мазут, соляровое масло, глицерин, температура вспышки которых выше 45 °С, называют горючими. Если нагреть жидкость выше температуры вспышки, то скорость испарения жидкости увеличится.

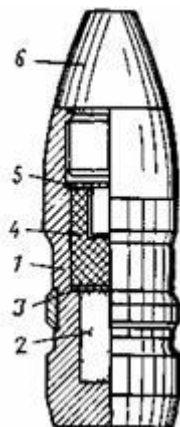
Температурой воспламенения называется наименьшая температура жидкости, при которой она воспламеняется при поднесении к ней стандартного пламени и продолжает гореть. Для легковоспламеняющихся жидкостей температура воспламенения выше температуры вспышки всего на 1...5 °С, а для горючих жидкостей с температурой вспышки выше 100 °С эта разница достигает 30 °С и более. При установившемся горении жидкости происходит взаимная

диффузия ее паров и воздуха в зону горения. Пары жидкости непрерывно поступают в зону горения только в том случае, когда жидкость непрерывно получает тепло, необходимое для испарения. Это тепло поступает к поверхности жидкости из пламени. Таким образом, источник воспламенения нужен только для возникновения горения, а дальше горение само себя поддерживает.

Многочисленные испытания показали, что воспламеняемость горючих жидкостей определяется, в основном, их относительной летучестью и вязкостью. Поэтому керосин, имеющий относительно низкую летучесть и большую вязкость, значительно труднее воспламеняется, чем бензин. По той же причине пламя вдоль бензиновой струи распространяется быстро от начала до конца её, и несгоревшего топлива остается мало. При поджигании керосиновых струй пламя распространяется на несколько сантиметров от точки поджигания, и поэтому большая часть топлива, выброшенного струей, остается несгоревшей.

Эффективность зажигательных снарядов в большой степени зависит также от давления окружающей атмосферы, так как оно, при прочих равных условиях, определяет интенсивность притока кислорода к очагу загорания и, следовательно, возможность самораспространения возникшего пожара.

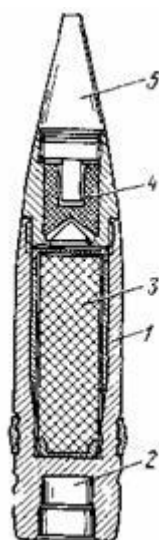
В зависимости от назначения различают осколочно-зажигательные и осколочно-зажигательно-трассирующие снаряды (рисунки 4 и 5), бронебойно-зажигательные (БЗ) и бронебойно-зажигательно-трассирующие (БЗТ) снаряды (рисунки 6-9).



1 – корпус; 2 – зажигательная шашка; 3 – прокладка; 4 – шашка взрывчатого вещества; 5 – прокладка; 6 – взрыватель
Рисунок 4 – Осколочно-зажигательный снаряд

В осколочных снарядах в донной части камеры помещается шашка зажигательного состава, а в головной – шашка взрывчатого вещества. При встрече снаряда с целью срабатывает чувствительный головной взрыватель, происходит взрыв шашки ВВ. Взрыв дробит шашку зажигательного состава и тем самым обеспечивает быстрое его сгорание. Продукты сгорания, имеющие очень высокую температуру, остывая, отдают тепло горючей жидкости и вызывают ее воспламенение. Иногда в снаряды запрессовывают смесь ВВ с алюминиевой пудрой, эта смесь, являясь разрывным зарядом, одновременно действует и как зажигательное вещество. Изготавливаются также осколочно-зажигательные снаряды, корпуса которых для усиления зажигательного действия снаряда выполняют из сплава титан-цирконий, сгорающего при взрыве.

В БЗ и БЗТ снарядах зажигательный состав помещается либо внутри прочного корпуса, либо внутри баллистического наконечника, либо одновременно и в том, и в другом. Большинство современных конструкций БЗ и БЗТ снарядов не имеет специальных взрывателей и шашек ВВ – пиротехнический состав воспламеняется при ударе снаряда о броню. Наличие трассера и шашки зажигательного состава внутри корпуса обуславливает зажигательный эффект снаряда после его проникновения за броню.



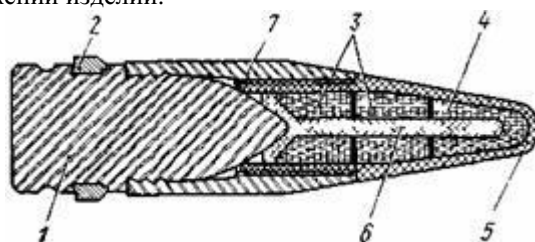
1 – корпус; 2 – трассер; 3 –
зажигательная шашка; 4 –
кумулятивная шашка взрывчатого
вещества; 5 – взрыватель

Рисунок 5 – Осколочно-
зажигательный трассирующий
снаряд

Зажигательные пули разных типов, представленные на рисунке 10, аналогичны описанным выше малокалиберным снарядам по конструкции и принципу действия.

Количество энергии, передаваемой топливу при взрыве зажигательного снаряда, зависит от характера горения состава (температуры горения, состава продуктов сгорания), а также и от степени восприятия энергии топливом. Температура, развиваемая при взрыве зажигательного снаряда, составляет от 2500 до 3000 °С и даже выше. От пламени тепло передается к топливу в основном лучеиспусканием. Наличие в продуктах горения зажигательных составов горячих твердых частиц, играет положительную роль в процессе воспламенения жидких топлив.

За последние годы в разных странах разработано и испытано в малокалиберных снарядах много составов на основе окислителей-солей. Составы этого типа полностью вытеснили белый фосфор и трассирующие составы, которые использовались раньше в этих зажигательных средствах. Основой большинства зажигательных составов является порошок сплава Al-Mg (50/50), который оказался наилучшим из большого числа испытанных порошков различных металлов и сплавов. В качестве окислителя лучшим по эффективности и технологическим свойствам оказался нитрат бария. Эффективность составов на его основе повышается при добавлении к ним небольшого количества перхлората калия. Перхлорат калия, имея одинаковое с нитратом бария содержание активного кислорода, отличается более низкой температурой разложения. Перхлорат аммония также использовался в составах, но будучи довольно чувствительным к механическим воздействиям представляет большую опасность в производстве. Перхлораты других металлов (натрия, лития), хотя и испытывались, но широкого применения не получили из-за большой гигроскопичности и технологических трудностей при снаряжении изделий.



1 – бронебойный сердечник; 2 – ведущий пояс; 3 – основной зажигательный состав; 4 –
воспламенительный состав; 5 – алюминиевый баллистический наконечник; 6 – наковальня из
алюминиевого сплава; 7 – стальной корпус

Рисунок 6 – Бронебойно-зажигательный снаряд калибром 20 мм

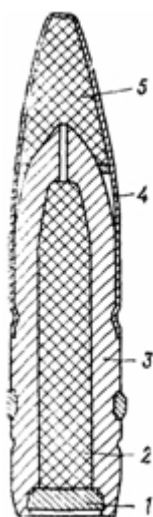
Двойные смеси из металлического горючего и окислителя в производстве легко расслаиваются, плохо прессуются и плохо транспортируются в автоматических аппаратах, поэтому к ним добавляются связующие (чаще всего резинат кальция, асфальтит) и графит, а для улучшения сыпучести добавляются стеараты кальция, цинка, алюминия.

Основой термитно-зажигательных составов является железо-алюминиевый термит, который входит в них в количестве от 40 % до 80 %. Термит – это механическая смесь грубодисперсного алюминиевого порошка и железной окалины.

Характерными особенностями, отличающими горение термитов от горения других составов, являются:

- почти полное отсутствие газообразных продуктов реакции, что обуславливает беспламенность горения и малый радиус действия горящего термита;
- высокая температура горения от 2400 до 2600 °С;
- образование при горении расплавленных огненно-жидких шлаков, которые могут проплавливать металлические листы;
- большая трудность воспламенения термита, особенно в запрессованном состоянии; температура самовоспламенения его около 1300 °С; для воспламенения термитов применяются специальные переходные составы, содержащие от 40 до 60 % термита;
- трудность тушения термита, он способен гореть даже под водой.

Известны и другие виды термитов, содержащих оксиды других металлов: марганцевый термит, хромовый и др. Наиболее эффективным в зажигательных составах оказался железо-алюминиевый (железный) термит.



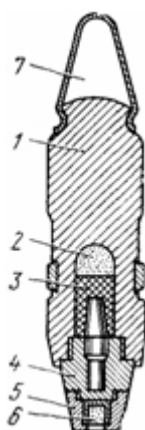
1 – дно; 2 – зажигательная шашка;
3 – корпус; 4 – баллистический
наконечник; 5 – зажигательная
шашка

Рисунок 7 – Бронебойно-
зажигательный снаряд

Однако из-за указанных выше недостатков железный термит в качестве зажигательной смеси не применяют. Его используют в многокомпонентных термитно-зажигательных составах, в которые наряду с термитом входят еще окислитель – соль, дополнительное металлическое горючее и связующее. Введение в термит различных добавок имеет целью облегчить воспламенение, создать пламя при горении, увеличить теплоту горения, ускорить или замедлить процесс горения, повысить механическую прочность запрессованных изделий, улучшить текучесть и прожигающее действие шлаков и т. п.

В качестве горючей основы вязких огнесмесей – напалмов, используются бензин и керосин, а также смеси бензина с тяжелым моторным топливом или другими нефтепродуктами. Для приготовления огнесмесей жидкое горючее на заводе в полевой смесительной установке или непосредственно в снаряжаемом объекте смешивают с загустителем. Для получения огнесмесей, применяемых в ранцевых огнеметах, добавляют 2...4 % загустителя, в танковых огнеметах – от 3 до 9 %, а в зажигательных авиабомбах, баках и в огневых фугасах – от 3 до 12 %. Порошок загустителя растворяется при перемешивании в течение от 18 до 24 часов.

Металлизированные зажигательные смеси на основе нефтепродуктов, называемые пирогелями, имеют более высокую температуру горения до 1400...1600 °С. Получают их, добавляя в обычный напалм порошки металлов, тяжелые нефтепродукты (асфальт, мазут), некоторые горючие полимеры (изобутилметакрилат, полибутадиен) и кислородсодержащие соли (нитрат натрия). Магний обычно вводится в виде специально разработанной пасты, представляющей собой смесь порошка магния, окиси магния, активированного угля, керосина и асфальта. Иногда к напалму добавляют щелочные металлы (например, натрий). Такая смесь, называемая супернапалмом, самовоспламеняется на цели, особенно в воде или на снегу, затрудняя тем самым тушение пожаров и усиливая моральное воздействие.

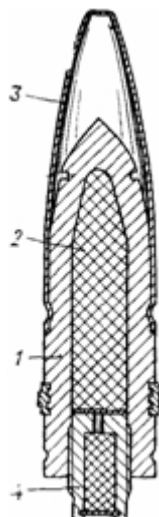


1 – корпус; 2 – зажигательная шашка; 3 – шашка взрывчатого вещества; 4 – взрыватель;
5 – трассерная гайка; 6 – трассер;
7 – баллистический наконечник
Рисунок 8 – Бронебойно-зажигательный трассирующий снаряд

Эффективность действия напалмовых смесей определяется количеством теплоты, переданной при горении поджигаемому материалу. Напалм легко воспламеняется, но медленно горит. Отдельные его сгустки могут гореть от 5 до 10 минут. Плотность напалмовых смесей составляет от 800 до 900 кг/м³. Напалм обладает повышенной прилипаемостью к различным поверхностям, даже к влажным.

При ударе снаряда о цель огнесмесь разбрасывается и самовоспламеняется. По сравнению с ранцевым огнеметом реактивный гранатомет обеспечивает большую точность и дальность действия, а также больший коэффициент использования зажигательной смеси, так как вся она достигает цели.

Авиацией используются зажигательные бомбы и баки. Корпус бомбы выполнен тонкостенным из алюминия. Для обеспечения разбрасывания и воспламенения зажигательной смеси (напалма) бомбы снабжают воспламенительно-разрывными зарядами и поджигающим веществом, в качестве которого часто используется фосфор. При разрыве бомбы зажигательная смесь разбрасывается, прилипает к предметам, в том числе и к вертикальным поверхностям, и создает интенсивную зону огня. При разрывах одиночных бомб создается сравнительно небольшой очаг пожара, а при применении кассет зажигательная смесь разбрасывается на площади в несколько сотен квадратных метров и горит в течение от 10 до 15 минут.



1 – корпус; 2 – зажигательная шашка; 3 – баллистический наконечник; 4 – трассер

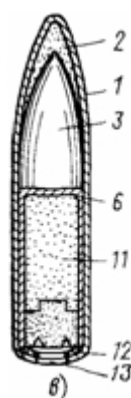
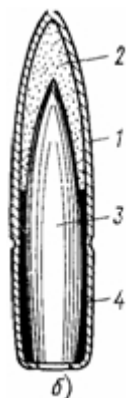
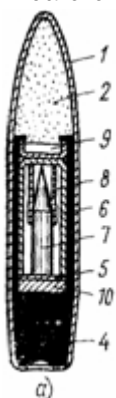
Рисунок 9 – Бронебойно-зажигательный трассирующий снаряд

Напалмовые бомбы предназначены, в основном, для поражения незащищенной живой силы и техники, а также для поджигания сравнительно легко воспламеняемых объектов. Напалм, прилипая к телу и одежде, в процессе горения быстро прожигает одежду и вызывает сильные ожоги. При горении больших масс напалма быстро нагревается окружающий воздух, а образование окиси углерода в процессе горения приводит к тяжелым отравлениям.

Фосфор, его растворы и соединения с серой (сульфиды) применяют обычно для зажигания легковоспламеняющихся материалов. Преимущество белого фосфора перед другими зажигательными веществами состоит в том, что он в мелкораздробленном состоянии загорается на воздухе при обычной температуре. При сгорании образуется желтовато-белое пламя, и выделяется много белого дыма.

Фосфорные мины и ручные гранаты оказались весьма эффективными. Взрыв таких мин, создавая большое количество дыма, деморализует противника. Мельчайшие брызги расплавленного горящего фосфора, прожигая одежду, вызывают ожоги кожи. К преимуществам белого фосфора следует отнести также способность к повторному самовоспламенению после его тушения.

Белый фосфор – это мягкое воскоподобное вещество, плотность которого составляет 1830 кг/м^3 , температура плавления 44°C и температура кипения 290°C . Основными недостатками белого фосфора, как зажигательного вещества, являются сравнительно низкая температура горения (не выше 1500°C), а также то, что заливка его в изделия во избежание самовоспламенения производится под водой. Белый фосфор очень ядовит, летальная доза его составляет 0,1 г. Гораздо менее активный красный фосфор редко применяется в качестве зажигательного вещества. В некоторых случаях зажигательные изделия снаряжаются смесью красного и белого фосфора.



1 – оболочка; 2 – зажигательный состав; 3 – стальной сердечник; 4 – свинцовая рубашка; 5 – латунный кружок; 6 – стаканчик латунный; 7 – стальной ударник с жалом; 8 – латунный предохранитель; 9 – капсюль; 10 – железная прокладка; 11 – трассирующий состав; 12 – колечко; 13 – отверстие
а – пристрелочно-зажигательная; б – бронебойно-зажигательная; в – бронебойно-зажигательная трассирующая
Рисунок 10 – Зажигательные пули

5 ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Современное пиротехническое производство представляет собой сложный комплекс производственных цехов и мастерских, соединенных в единый технологический поток, в котором четко выражена специфичность отдельных фаз производства. Заимствование оборудования из родственных отраслей промышленности, а также разработка новых машин и аппаратов существенно изменили структуру пиротехнических производств и организацию технологических процессов в них.

Масса пиротехнического состава в изделиях колеблется от нескольких граммов до нескольких сот килограммов. Несмотря на широту диапазона, для подавляющего числа изделий может быть принята за основу схема производства, представленная на рисунке 11.

Надежность и безотказность действия полученных тем или иным методом шашек и готовой продукции устанавливается испытаниями, проводимыми для каждого изделия по специальной программе.

Компоненты поступают на пиротехнические предприятия в самой различной укупорке. Так, порошки Mg, Al, сплав AM поступают в металлической укупорке; цирконий – в металлической укупорке или в полиэтиленовых мешках в увлажненном виде. Снятие крышек с банок производится с помощью аппаратов для раскупорки металлических банок с порошками. Так как эта операция пожароопасная, управление работой таких аппаратов осуществляется дистанционно.

Контрольный просев осуществляют на ситах-трясунах или на виброситах. Опрокидывание банки с порошком производится с помощью механического приспособления без присутствия оператора. Порошки Mg, сплавов AM и Al сушке не подвергаются, так как они не гигроскопичны и прибывают на пиротехнические заводы в готовом для дальнейшего производства виде. Порошок циркония перед запуском в производство обезвоживают (он поступает с заводов-изготовителей в сосудах под слоем воды). Наиболее прогрессивным способом является сушка циркония в вакуум-сушильных установках.

Окислители поступают на заводы в деревянных бочках или в бумажных мешках. Герметичность такой укупорки условна, и поэтому все окислители подвергаются сушке. Влажность окислителей, применяемых для приготовления пиротехнических составов, не должна превышать 0,2 %. Для извлечения окислителей из бочек применяется шнековая установка, в которой при высверливании продукта происходит одновременно его разрыхление. После грубого дробления окислители подвергаются сушке. В тех случаях, когда потребность в окислителе невелика, от 30 кг до 50 кг за смену, применяют вакуумные сушилки периодического действия, например, вакуум сушильный шкаф с автоматической регулировкой температуры.

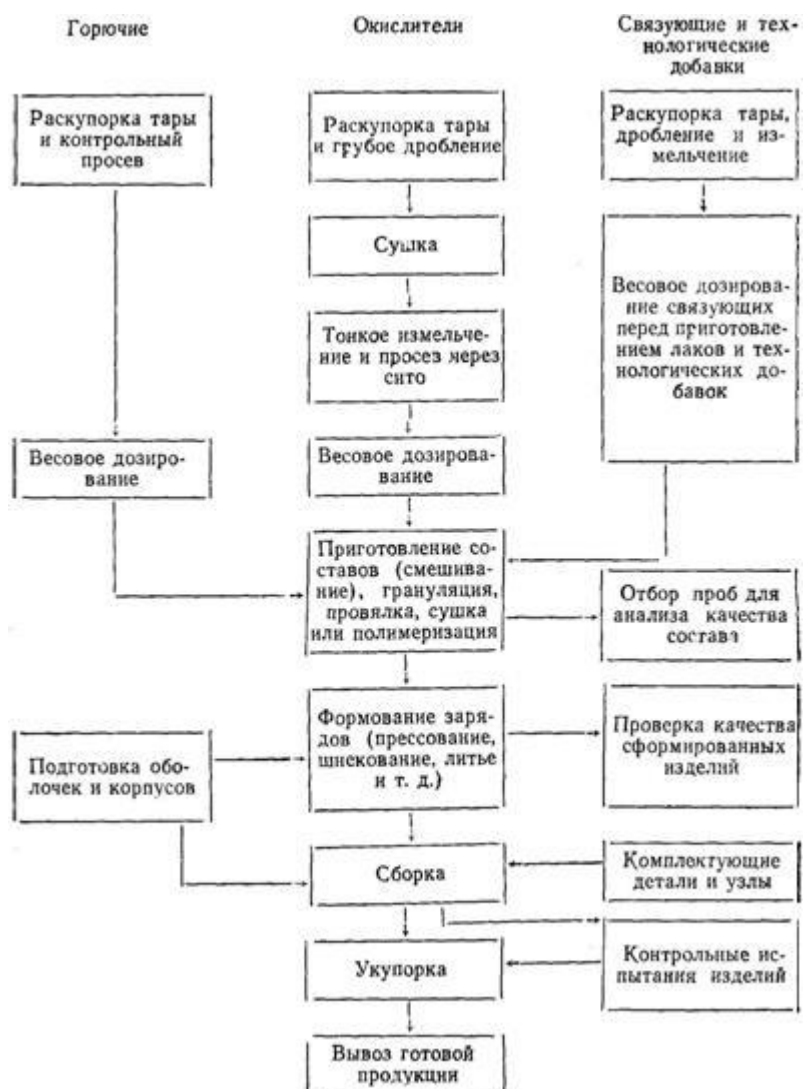


Рисунок 11 – Схема пиротехнического производства

Сушильный шкаф – это горизонтальный сварной цилиндрический сосуд со сферической крышкой, которая отводится вручную посредством поворотного кронштейна. Внутри корпуса установлены полые обогревательные плиты, которые соединяются с коллектором посредством специальных патрубков. Крышка прижимается к корпусу шестью откидными болтами и уплотняется резиновой прокладкой. На плиты устанавливаются по три лотка с высушиваемым окислителем. На днище и крышке шкафа имеются смотровые окна. На корпусе шкафа установлены контрольно-измерительные приборы: манометр, ртутный термометр, вакуумметр. Корпус шкафа представляет собой цилиндрическую обечайку диаметром 1150 мм и толщиной 10 мм. В нижней части аппарата имеется штуцер для слива конденсата и лапы для установки аппарата на фундамент. Температура греющей поверхности паровых плит регулируется изменением подачи пара.

Производительность шкафа определяется опытным путем. При высоте слоя компонента на лотке около 20 мм, остаточном давлении в шкафу до 20 мм рт. ст. и при температуре пара 110 °С она колеблется для различных окислителей в пределах от 50 до 100 кг/ч при начальной влажности продуктов от 5 до 7 % и конечной 0,2 %.

Вакуумная сушилка исключает пыление продукта. К ее недостаткам следует отнести периодичность работы и значительную затрату ручного труда при загрузке и выгрузке противней. При необходимости получения большого количества продукта применяются сушилки различного типа непрерывного действия.

Для обеспечения гомогенности составов частицы окислителей, горючих и других компонентов состава должны иметь малые поперечные размеры, измеряемые десятками микрон. Процесс уменьшения размеров кусков твердых продуктов принято называть дроблением. Процесс дальнейшего измельчения небольших кусков называют помолом.

Различают крупное, среднее, мелкое и тонкое дробление, а также крупный (или грубый), средний, тонкий, сверхтонкий и коллоидный помол. Четкого различия между видами дробления и помола пока не существует.

На пиротехнических заводах применяют следующие типы оборудования:

- дисковые, щековые, валковые дробилки для крупного дробления, начальный размер кусков от 60 до 150 мм, конечный от 6 до 10 мм;
- однорядные молотковые дробилки для мелкого дробления, начальный размер кусков от 5 до 10 мм, конечный от 0,3 до 0,5 мм;
- дезинтегратор, дисмембратор - для среднего помола, начальный размер частиц от 300 до 600 мкм, конечный от 50 до 140 мкм;
- шаровые мельницы, вибромельницы, газоструйные мельницы для тонкого помола (размер частиц менее 60 мкм).

Производительность измельчителей колеблется от 1 кг до нескольких сот килограммов готового продукта в час и зависит от типоразмера дробильного (или помольного) агрегата и от физико-механических свойств измельчаемого материала.

Для приготовления составов применяют компоненты, имеющие вполне определенный дисперсный состав. В связи с этим после помола окислители, связующие и другие компоненты подвергают фракционному рассеву (или контрольному просеву). Порошки металлов подвергают лишь контрольному просеву. В качестве сит используются шелковые или металлические сетки. Широкое распространение нашли вибросита. Вибросита используются, главным образом, для контрольного просева металлических порошков. Сита-трясуны используются для рассева окислителей. По своему устройству они не отличаются от сит, использующихся в химической и других отраслях промышленности.

В пиротехнической промышленности все сита оборудованы устройствами, исключающими пыление, и снабжены в необходимых случаях устройством для отвода статического электричества. Производительность сит достигает 500 кг/ч. За последние годы в химической промышленности все чаще используют агрегаты, в которых аппараты для дробления, сушки и рассева объединены воедино с помощью транспортных средств. Существует несколько конструктивных вариантов их исполнения.

Смешивание пиротехнических составов является одной из самых важных операций. Состав должен быть однородным. Пробы составов, взятые из разных мест чаши смесителя, не должны отличаться по химическому составу друг от друга и должны соответствовать заданному процентному содержанию. Трудность осуществления процесса смешения состоит в том, что содержание некоторых компонентов в составах не превышает 2 %. Часть компонентов вводится в составы в виде лаков различной концентрации. Кроме того, за последние годы нашли широкое применение жидкие высокомолекулярные связующие типа эпоксидных смол, полиэфиров и каучуков. В некоторых случаях процесс приготовления составов осуществляется при разрежении с одновременным подогревом до 60...70 °С смешиваемой массы. Многие составы имеют значительную чувствительность к трению.

Все это вместе взятое сделало необходимым поиск новых конструктивных решений при разработке смесителей. При конструировании смесителей необходимо принимать во внимание также ограничения по загрузке пиротехническим составом бронекабин смешения.

Применяемые в настоящее время смесители с вертикальным расположением нескольких рабочих органов в отличие от однолопастных смесителей (с горизонтальным расположением лопасти) имеют следующие преимущества:

- сальниковые устройства и подшипники у таких смесителей вынесены из зоны контакта с составом;
- значительно облегчается очистка рабочих органов смесителей от налипшего состава;
- упрощается выгрузка приготовленного состава из чаши смесителя посредством дистанционного открытия люка в дне чаши;
- появляется возможность в одном и том же аппарате осуществлять приготовление разного количества состава.

Наилучшими оказались смесители, принцип действия которых основан на планетарном движении лопастей по пересекающимся траекториям с соотношением угловых скоростей 1:2. В ряде производств успешно эксплуатируются двух-, трёх- и четырёх- лопастные смесители с емкостью чаши от 0,75 л до 600 л. Большое количество лопастей повышает интенсивность смешивания. Наибольшее распространение получили двухлопастные смесители. При работе смесителей их чаши плотно прижимаются к упорному колпаку для исключения пыления.

Вращение лопастей по пересекающимся траекториям возможно только при соотношениях угловых скоростей их движения 1:1 или 1:2. Зазоры между лопастями и стенками чаши смесителя, оказывающие значительное влияние на потребляемую при смешивании мощность, принимаются в пределах от 1 до 5 мм в зависимости от размеров смесителя. Чтобы исключить выбрасывание компонентов из зоны смешивания, угловую скорость движения лопастей относительно чаши принимают оптимальной.

Так как операция смешивания пиротехнических составов является пожаро- и взрывоопасной, смесители устанавливаются в бронекабинах, двери которых оборудованы надежно действующими запорами. Экспериментально установлено, что при введении жидкой составляющей процесс смешивания резко замедляется и возрастает мощность. Провалка составов (предварительное удаление из них жидкой составляющей до содержания её от 1,2 % до 1,3 %) в большинстве случаев осуществляется непосредственно в смесителях с открытыми люками в упорном колпаке при подаче в смеситель подогретого до 60...70 °С воздуха. Составы, не содержащие жидкой составляющей, смешивают в безлопастных барабанных смесителях типа эксцентрически вращающейся бочки.

Грануляция составов заключается в протирании составов через металлическую сетку с размером ячеек 0,9...1,8 мм. В процессе грануляции составу придается сыпучесть и более равномерная зернистость, при которой возможна его объемная дозировка перед прессованием. Применяются различные типы грануляторов, отличающихся друг от друга размерами и конструкцией протирающих устройств. Грануляторы, так же как и смесители, устанавливают в бронекабинах, при их эксплуатации соблюдаются такие же меры предосторожности, которые были перечислены выше в отношении смесителей. Целесообразно операцию смешивания и последующего гранулирования состава осуществлять в одном агрегате.

Сушка составов осуществляется в обособленных, обвалованных помещениях на стеллажах и в сушильных шкафах. Так как сушке обычно подвергаются значительные количества составов, сушилки одновременно выполняют роль хранилищ составов перед дальнейшим их использованием. Сушка проводится на протяжении нескольких часов при температуре от 30 до 45 °С. При сушке из состава испаряется растворитель, введенный в него при заливке лаковой составляющей в процессе смешивания. Остаточное содержание растворителей и влаги в составах не должно превышать 0,66 % (определяется путем анализа проб).

Пиротехнические составы, содержащие полимеризирующиеся связующие (каучуки, эпоксидные смолы и т. д.), выдерживаются до 24 часов при температуре от 75 до 80 °С в специальных камерах для полимеризации. В настоящее время интенсификация процесса сушки составов достигается путем применения вакуума и сушки в «кипящем» слое. В тех случаях, когда при сушке составов на их поверхности образуется корочка, разрушают ее в изолированном от сушилки помещении, как правило, вручную, за защитным стальным щитом.

Уплотнение и формование составов производится прессованием, шнекованием, заливкой, а в некоторых случаях набивкой вручную. В фотобомбах степень уплотнения состава должна быть незначительной. Это достигается путем виброуплотнения фотосмеси непосредственно в корпусе бомбы.

При снаряжении изделий шнекованием рабочим инструментом является шнек-винт. Шнек-винт служит одновременно и для подачи состава в оболочку изделия, и для его уплотнения внутри этой оболочки. Уплотнение составов достигается путем приложения извне к снаряжаемым изделиям постоянного по величине усилия, препятствующего до определенного предела отходу изделия от шнек-винта во время работы последнего. Шнекование является высоко производительным способом снаряжения. Однако его применение в пиротехническом производстве затруднительно ввиду чувствительности составов к механическим воздействиям. Ограничивает использование шнекования и то обстоятельство, что многие составы не обладают в достаточной мере той степенью пластичности, которая требуется при этом методе снаряжения. Менее чувствительными к механическим воздействиям и достаточно пластичными являются некоторые составы маскирующих дымов, содержащие технический антрацен; для них снаряжение способом шнекования допустимо.

Снаряжение способом заливки используется при работе с желтым фосфором, его сплавами и растворами. Зажигательные боеприпасы с жидкими, загущенными или отвержденными горючими также снаряжаются методом заливки. Но при работе с другими видами пиротехнических составов этот способ не всегда приемлем из-за высокой температуры

плавления основных компонентов – неорганических окислителей и металлических горючих. Содержание легкоплавких компонентов, имеющих температуру плавления ниже 120...150 °С, в составах, где имеется окислитель, обычно не превышает 10...15 %; поэтому в большинстве случаев не представляется возможным применить тот прием взмучивания высокоплавящихся компонентов в жидком расплаве, который применяется, например, при снаряжении заливкой высокопроцентных амматолов 60/40.

Наибольшая часть пиротехнических изделий (звёздки, факелы, шашки, заряды) уплотняется методом холодного прессования на гидравлических или механических прессах. Изделиям при этом в подавляющем числе случаев придается цилиндрическая форма с центральным каналом или без него. Состав прессуется непосредственно в корпус или в оболочку (металлическую или бумажную); затем запрессованный элемент поступает на участок сборки. Давление прессования подбирается опытным путем. Чаще всего его принимают в пределах от 100 до 120 МПа. В отдельных случаях давление повышается: для обеспечения нормального действия трассеров их прессуют под давлением до 800 МПа.

Осветительные и сигнальные звёздки прессуют под давлением от 200 до 300 МПа. Для получения более равномерной плотности составы во многих случаях прессуются в несколько этапов – до 20 запрессовок. Для лучшего сцепления отдельных запрессовок друг с другом на прессующей поверхности пуансонов выполняются кольцевые или прямоугольные рифления необходимой глубины.

Прессование может быть одиночным или групповым. При этом в простейшем случае используется пресс-инструмент, состоящий из матрицы, пуансона и поддона. Мелкие изделия (диаметром до 30 мм) выталкиваются из пресс-формы прессующим пуансоном, при этом поддон заменяется пустотелым стаканом, в который отпрессованное изделие может свободно проваливаться. Усилие выталкивания составляет обычно менее 40 % от усилия прессования.

Прессование при повышенной температуре от 60 до 100 °С способствует улучшению качества изделия, но такой способ становится опасным, так как при повышении температуры резко увеличивается чувствительность пиротехнических составов к удару и трению. При прессовании изделий диаметром от 100 до 350 мм в несколько запрессовок после засыпки очередной порции состава приходится производить его разравнивание для обеспечения равномерной плотности запрессовки.

При прессовании крупногабаритных изделий целесообразно применение таблеточного метода формования, т. е. окончательное прессование изделий проводится с использованием таблеток, отформованных предварительно под давлением от 30 до 40 МПа. Для прессования крупногабаритных изделий применяется секционный инструмент. При прессовании секции инструмента стягиваются обжимным кожухом, который после окончания процесса снимается, секции раскрываются, и готовое изделие извлекается из пресс-формы. Все эти операции могут быть механизированы.

При групповом методе прессования применяются компенсаторы, позволяющие приложить ко всем прессуемым изделиям одно и то же давление и тем самым обеспечить одинаковую их плотность.

В зависимости от размеров формуемых изделий используют различные виды гидравлических прессов. Подавляющее большинство из них оборудовано индивидуальным гидроприводом. Прессование изделий осуществляется при подъеме нижней траверсы по четырём или двум колоннам. Опускание прессующей траверсы осуществляется с помощью ретурных (возвратных) цилиндров. Для регулирования межпрессового пространства верхняя упорная траверса снабжена электроприводом для её перемещения.

В отдельных случаях операции подачи пресс-формы, устанавливаемой на тележке, под пресс и вывод её механизированы. Достоинство гидравлических прессов – возможность обеспечения при прессовании любой выдержки изделия под давлением, а также большой ход прессующей траверсы.

Механические прессы применяются, в основном, для прессования мелких изделий (типа таблеток), когда выдержка при прессовании необязательна. Таблетировочные машины снабжены дозаторами объемного типа, что позволяет автоматизировать их работу. По своему устройству они аналогичны машинам, получившим широкое распространение в фармацевтической промышленности, и отличаются от последних лишь применением соответствующих металлов для пар трущихся элементов для исключения искрообразования и более надежными защитными устройствами и ограждениями, облегчающими чистку машин от пыли пиротехнических составов.

При снаряжении и сборке пиротехнических изделий выполняются следующие операции: подготовка деталей и узлов к снаряжению; сборка деталей и узлов; окончательная обработка изделий (окраска, лакировка, маркировка); проверка качества собранной продукции; укупорка. Корпуса, детали и другие элементы пиротехнических изделий, скомплектованные в партии, привозятся в сборочные мастерские. После удаления предохранительной смазки детали обрабатывают растворами щелочей или органическими растворителями. Необходимо также удалить ржавчину с деталей. Сборку изделий проводят в специальных мастерских на конвейерах или на отдельных столах (при выпуске изделий малой серии). Во всех сборочных мастерских имеются кабины, изолированные от общего сборочного зала, в которых выполняются пожаро- и взрывоопасные сборочные операции (например, насыпка пороха в мешочек вышибного заряда, проверка у электровоспламенителей величины сопротивления и целостности мостика и т.д.).

Сборка изделий включает такие операции, как вставку звёздок, замедлителей, парашютов, прокладок, пыжей и других деталей, их досылку, а также насыпку запрессованных пиротехнических таблеток в корпуса изделий. Значительная часть этих операций выполняется с применением специальных станков и приспособлений (капсулировочные полуавтоматы, масляные прессы для вставки пыжей и прокладок, винтовые прессы для досылки парашютов, закаточные станки и др.). При сборке изделий, выпускаемых в больших количествах, применяются полуавтоматические линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение различного вида пиротехнических составов находит всё большее распространение в технике, что требует создания высокопроизводительного пожаро- и взрывобезопасного оборудования для получения изделий, математических методов описания процессов дозирования, сушки, смешения компонентов пиротехнических составов, формования изделий, методов расчёта основных параметров работы используемых машин и аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горст, А.Г. Пороха и взрывчатые вещества / А.Г. Горст — М.: Машиностроение, 1972. — 208 с.
2. Шидловский, А.А. Основы пиротехники: учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / А.А. Шидловский — М.: Машиностроение, 1973. — 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ](#)

[1 ИСПОЛЬЗУЕМОЕ СЫРЬЁ](#)

[2 ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ И СРЕДСТВА](#)

[3 СОСТАВЫ СИГНАЛЬНЫХ ОГНЕЙ](#)

[4 ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ](#)

[5 ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА](#)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ](#)

[ЛИТЕРАТУРА](#)

СВЕТЛОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ПИРОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ И ИЗДЕЛИЯ

Учебное пособие для студентов специальности «Автоматизированное
производство химических предприятий» (240706)

Редактор

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16

Усл. п. л. ... Уч.-изд. л. ...

Печать – ризография, множительно-копировальный аппарат «RISO TR-1510»

Тираж 30 экз. Заказ 2006 – 25

Издательство Алтайского государственного технического университета им.

И.И.Ползунова,

656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46

Оригинал-макет подготовлен ИИО БТИ АлтГТУ. Отпечатано в ИИО БТИ
АлтГТУ.

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27