

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КАЗАНСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. С. М. КИРОВА**

ПИРОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ ЦВЕТНЫХ ОГНЕЙ

1978

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КАЗАНСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им.С.М.Кирова

ПИРОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ ЦВЕТНЫХ ОГНЕЙ

Казань - 1978

В пособии рассматриваются требования, предъявляемые к составам цветных огней, принципы построения и состояние разработки составов цветных огней за рубежом и в Советском Союзе.

Работа предназначена для студентов химико-технологических вузов, аспирантов и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и применением пиротехнических составов цветных огней.

Составитель

проф. Ф.П.Мадякин

Рецензент

проф. К.И.Синаев

ВВЕДЕНИЕ

Составы цветных огней широко применяются в народном хозяйстве (сигнальные), в военном деле (сигнальные, целеуказательные, трассирующие), для увеселительных целей (высотные, парковые, фейерверочные). Фейерверочные составы должны обеспечивать максимальную красочность и оригинальность зрелищного эффекта, а сигнальные — надежную различимость подаваемого сигнала с возможно большего расстояния наблюдения. Несмотря на это принципы построения фейерверочных сигнальных составов цветных огней имеют много общего. Трассирующие составы имеют свои особенности и специфику применения, однако принципы обеспечения определенного цвета пламени при их горении те же, что и для других составов цветных огней. Эти составы содержат повышенное количество металлического горючего (40-50%) и имеют значительно меньшую насыщенность пламени цветом, чем сигнальные и особенно фейерверочные.

Составы цветных огней отличаются не только рецептурами и применением, но и характером горения и излучения. По характеру горения и излучения их можно разделить на две группы:

- непрерывного излучения;
- периодического излучения (пульсирующие или "мерцающие" составы).

Принципы разработки и рецептуры составов цветных огней непрерывного излучения описаны в работах [1-6] . В последние

годы появилось ряд новых, оригинальных составов цветных огней, которые еще не получили должной оценки.

Составы периодического излучения впервые разработаны советскими учеными несколько лет назад. Фейерверочные изделия на основе этих составов дают красочный эффект мерцания звезд, а сигнальные лучше воспринимаются человеческим глазом и приборами. Поэтому они быстро нашли практическое применение и также требуют своего обобщения.

Основные характеристики пламени составов цветных огней

Основными характеристиками пламени составов цветных огней являются сила света и цветность пламени. Сила света определяется размерами пламени, температурой, составом продуктов сгорания и измеряется при помощи фотоэлектрических люксметров [3]. Количественно цветность пламени характеризуется цветовым тоном и чистотой цвета пламени. Идеальным следовало признать такое излучение пламени, которое приходилось бы целиком на какую-либо одну часть спектра. В этом случае излучение было бы монохроматическим и частота цвета пламени равнялась бы 100%. В действительности пламя составов цветных огней имеет некоторое излучение и в других частях спектра. Отношение интенсивности монохроматического излучения пламени E_{λ} к интенсивности всего видимого излучения $E_{\text{общ}}$ называется чистотой цвета пламени (P) и выражается в процентах. Так, чистота цвета пламени составов красного огня может быть определена уравнением

$$P = \frac{E_{\lambda} \cdot 100}{E_{\text{общ}}} = \frac{E_{(620-760 \text{ Å})} \cdot 100}{E_{(400-700 \text{ Å})}},$$

E_{λ} и $E_{\text{общ}}$ можно выражать в единицах светового потока и канделах. Иногда для определения чистоты цвета пламени удобнее пользоваться выражением

$$P = \frac{E_{\lambda} \cdot 100}{E_{\lambda} + E_{\text{бел}}},$$

где $E_{\text{бел}}$ — интенсивность белого цвета, которым разбавляется монохроматическое излучение.

Если цветовой тон пламени равен $\lambda = 650 \text{ \AA}$ и чистота пламени $P = 75\%$, то цветовое восприятие человеческим глазом такого пламени будет одинаково с цветовым восприятием светового потока, получаемого смешением 75% монохроматического излучения с длиной волны 650 $\text{\AA}$ с 25% излучения белого источника света. Методика определения цветового тона (доминирующей длины волны) и насыщенности цветом пламени описана в работе [3].

Белое излучение обычно дают вещества, находящиеся в пламени в конденсированном состоянии. Излучение в узкой части спектра (цветовое излучение) дают атомы и молекулы, находящиеся в пламени в газообразном состоянии. Следовательно, в пламени сигнальных составов для обеспечения высокой насыщенности цветом должно преобладать излучение газовой фазы. Однако излучение газов имеет небольшую интенсивность и может наблюдаться только с близкого расстояния. Увеличение интенсивности излучения достигается введением в состав металлических горючих, которые увеличивают температуру пламени и долю конденсированных продуктов в нем, но сопровождается обычно уменьшением насыщенности его цветом.

Назначение и основные свойства составов сигнальных огней

Составы сигнальных огней применяются для снаряжения сигнальных средств, широко используемых в народном хозяйстве, и при решении оперативно-тактических задач в сухопутных войсках, авиации и на флоте. Свет пиротехнического сигнала обладает хорошей видимостью и различимостью (особенно ночью) и более эффективен по сравнению с другими сигнальными средствами. Составы сигнальных огней используются для ориентировочных сигнальных авиабомб, сигнальных мин, реактивных сигнальных патронов, морских сигнальных средств, фальшбоев, железнодорожных аварийных сигналов, 26-миллиметровых сигнальных патронов и т.д. В зависимости от подаваемого светового сигнала сигнальные средства подразделяются на однозвездные и многозвездные, одноцветные и многоцветные, непрерывного и периодического свечения.

Основным требованием, предъявляемым к сигнальным средствам, является обеспечение видимости и различимости сигнала с требуемого расстояния в течение заданного времени. Поэтому пламя должно иметь яркую, четко выраженную окраску, цвета отдельных сигналов должны быть удалены друг от друга по спектру излучения. (Чистота цвета пламени — не менее 70–75%). Наиболее употребительной в настоящее время является трехцветная система сигнализации с применением составов красного ($\lambda = 640-760 \text{ Å}$), зеленого ($\lambda = 496-580 \text{ Å}$) и желтого ($\lambda = 580-610 \text{ Å}$) огней. Значительно реже используется четырех и пятицветная сигнализация, включающая еще составы синего ($\lambda = 440-496 \text{ Å}$) и белого огней.

Интересно отметить, что интенсивность излучения пламен связана с их цветом. Барру и Колдин [7] измерили интенсивность излучения пламен различных составов при постоянной температуре и установили, что интенсивность излучения красного, оранжевого, желтого и зеленого пламен одного порядка и значительно выше, чем излучение голубого.

Эффект действия фейерверочных изделий наблюдается обычно с близкого расстояния, что позволяет использовать составы с небольшой яркостью излучения. От наблюдателя фейерверков не требуется различимости и полного описания цветов и поэтому в фейерверочных изделиях можно значительно разнообразить гамму применяемых цветов и оттенков.

Требования, предъявляемые к составам сигнальных огней

Составы сигнальных огней должны удовлетворять общим требованиям, предъявляемым ко всем пиротехническим составам, и специальным, определяющим обеспечение видимости и различимости сигнала. Сигнальные составы должны:

- давать максимальный специальный эффект при минимальном расходовании состава;
- иметь по возможности большую плотность (в порошкообразном и в прессованном виде);
- сгорать равномерно и с определенной скоростью в заданном интервале температур (скорость горения сигнальных соста-

вов находится в пределе от 0,6 до 3 мм/с);

- обладать химической и физической стойкостью при длительном хранении - получаемый при горении состава эффект не должен ухудшаться в течение заданного времени хранения;

- иметь возможно меньшую чувствительность к механическим импульсам и минимальные взрывчатые характеристики;

- легко воспламеняться от воспламенительного состава или продуктов сгорания вышибного заряда, но не воспламеняться при небольшом подъеме температуры или попадании искры;

- не содержать в себе дефицитных, токсичных, не имеющих широкой отечественной сырьевой и производственной базы, компонентов.

Технологический процесс подготовки компонентов, приготовления состава, формирования пирозлементов и снаряжения изделий на их основе должен быть простым, безопасным и допускать механизацию и автоматизацию производства.

Изделия из составов должны обладать достаточной механической прочностью и не разрушаться при тряске, транспортировке и эксплуатации. Для обеспечения видимости и четкой различимости сигнала состав должен сгорать с образованием пламени, излучающего не менее нескольких тысяч кандел и насыщенность цветом не менее 70-75%.

Принципы построения и состояние разработки составов цветных огней непрерывного излучения

При построении составов цветных огней необходимо учитывать, в первую очередь, требования по обеспечению светотехнических характеристик, наличие сырьевой и промышленной базы исходных компонентов и возможности механизации и автоматизации технологии и переработки в изделия.

Существует три типа излучателей: твердые и жидкие тела, молекулы и атомы. Твердые и жидкие тела дают сплошной, молекулы - полосатый, атомы - линейчатый спектры излучения. При горении пиротехнических составов в пламени содержатся обычно все типы излучателей. Соотношение между ними определяет насы-

ценность цветом пламени и интенсивность излучения. Хорошее цветное пламя может быть получено только при преимущественном излучении определенных атомов или молекул, находящихся в парообразном или газообразном состояниях. Яркие линии излучения имеют следующие атомы: натрий — желтую (589 Å), литий — красную (671 Å) и оранжевую (610 Å), талий — зеленую (535 Å), индий — синюю (451 Å). Эти элементы вводятся в состав в виде соединений (обычно солей), которые диссоциируют в пламени до свободных металлов и дают характерное излучение. Повышение температуры горения таких составов приводит к увеличению степени диссоциации соединений и увеличению излучения в требуемой части спектра. Из указанных излучателей применяется только натрий, который вводится в состав в виде криолита, нитрата, оксалата, карбоната, фторида или кремнефтористого натрия и окрашивает пламя в желтый цвет (составы желтого огня). Входящие в состав желтого огня натриевые соли должны быть не гигроскопичными, иметь возможно большее содержание натрия и легко выделять его в процессе разложения при высоких температурах. Интенсивность свечения линий натрия в пламени пропорциональна введенному количеству натрия. Наибольшее количество натрия можно ввести в состав, если он будет входить в вещество, выполняющее роль окислителя, например, нитрат натрия. Поэтому эта соль, несмотря на ее гигроскопичность, довольно широко используется в составах желтого огня.

В составах желтого огня в качестве окислителей используются также нитрат и перхлорат калия. В этом случае в пламени возникает атомарное излучение калия, но его линии имеют малую интенсивность излучения и не снижают насыщенность пламени цветом. При использовании в качестве окислителей солей калия необходимо вводить в составы соли, окрашивающие пламя в желтый цвет, например, оксалат или фторид натрия, кремнефтористый натрий, криолит и др. Эти соли малогигроскопичны и не ухудшают химической стойкости состава. Старые рецепты составов желтого огня содержат часто в качестве окислителя хлорат калия, а в качестве горючего — органические вещества типа идитола и шеллака. Составы на основе хлората калия чувствительны к меха-

ническим воздействиям и в нашей стране не применяются. Составы желтого огня имеют атомарный характер свечения, не нуждаются в хлоре и позволяют вводить в них значительное количество металлического горючего, тем самым увеличивая интенсивность излучения без заметного снижения насыщенности пламени цветом.

При молекулярном излучении цветное пламя может быть получено как при монохроматическом излучении определенных молекул, находящихся в газообразном состоянии, так и путем сложения нескольких типов молекул.

Наиболее характерную окраску пламени дает излучение монохлоридов и окислов: бария (зеленый цвет), стронция (красный цвет), кальция (оранжевый цвет) и меди (синий цвет). Монохлориды более летучи, чем окислы, и имеют большую интенсивность излучения. Учитывая это, создают условия, способствующие существованию и изучению в пламени монохлоридов указанных металлов. Это достигается путем введения в состав хлорсодержащих соединений, способствующих образованию монохлоридов, и избытка горючих элементов, уменьшающих возможность окисления монохлоридов до окислов металла. Компоненты в смеси должны быть взяты в таком соотношении, чтобы температура горения была достаточной для диссоциации хлоридов и недостаточной для диссоциации монохлоридов. Поэтому в составы молекулярного излучения вводится только органическое горючее (фейерверочные составы) или в сочетании с небольшим количеством магния или сплава АМ. Увеличение содержания в составе металлического горючего приводит к возрастанию интенсивности излучения, но вместе с тем снижает насыщенность цветом пламени.

В литературе имеются противоречивые мнения относительно использования монохлоридов в качестве носителей цветности в пламенах сигнальных огней. Нам также не удалось разработать составы цветного огня, в которых бы основным излучателем был монохлорид бария или стронция.

Основные излучатели (окислы или монохлориды) вводятся в состав в готовом виде или получаются в результате горения пиротехнического состава. Второй способ построения составов наиболее распространен. В этом случае оба элемента молекулярных

излучателей (например, стронций и хлор) могут находиться в одном компоненте (например, в хлорате или перхлорате стронция) или в различных компонентах (например, стронций - в нитрате стронция, а хлор - в поливинилхлориде).

В первом случае состав может содержать всего два компонента: окислитель, одновременно выполняющий роль цветопламенной добавки, например, хлорат и перхлорат бария, и органическое горючее или же окислитель и горючее, содержащее атомы бария, стронция, натрия. Составы на хлоратах и перхлоратах металлов обладают повышенной чувствительностью к механическим воздействиям и используются редко. Часто составы строятся таким образом: атомы стронция или бария вводятся в состав в соединениях типа нитратов, оксалатов и сульфатов, а атомы галогена - в соединениях типа перхлората аммония, гексахлорбензола (ГХБ) или поливинилхлорида (ПВХ). Нитраты бария и стронция, перхлорат аммония в этих составах выполняют роль основного или дополнительного окислителя, а галогенсодержащие органические соединения - роль горючего или роль горючего и связующего. Применение таких веществ значительно упрощает состав и делает его технологичнее. Если в качестве окислителя используют соль другого металла чем цветопламенной добавки, то необходимо предусмотреть, чтобы продукты разложения такого окислителя не ухудшили цвета пламени. В качестве таких окислителей обычно используются соли калия.

Заслуживает внимания использование в составах сигнальных огней ионообменных галогенсодержащих смол с катионами, окрашивающими пламя - кальцием, стронцием, барием, таллием [8]. Смола в этих составах служит одновременно связующим и веществом, при разложении которого образуются соединения, окрашивающие пламя в нужный цвет.

Таким образом, принципы построения составов цветных огней, с точки зрения обеспечения наилучшего специального эффекта следующие:

1. Компоненты состава должны быть подобраны так, чтобы в результате горения образовалось значительное количество легко-доступных излучателей цвета и по возможности минимальное коли-

чество молекул, излучающих в других частях спектра.

2. Количество энергии, выделяющееся при горении состава, должно быть достаточным для возбуждения или ионизации находящихся в пламени атомов и молекул. Достаточно мощное цветное излучение получается при сжигании составов, теплота горения которых не меньше 0,8 ккал/г (3,4 кДж/г).

3. При использовании молекулярного излучения температура пламени не должна превышать некоторого предела, при котором начинается диссоциация молекул излучателей. Например, для составов зеленого огня температура в зоне пламени должна быть не более 1900-2000°C.

4. Вводимое в состав металлическое горючее должно обеспечить необходимую энергию излучения и не приводить к существенному снижению насыщенности цветом пламени.

Рассмотрим принципы построения составов сигнальных огней с точки зрения их технологических свойств, которые определяются свойствами входящих в них органических горючих. Все существующие составы цветных огней можно разделить на следующие группы:

- составы на основе порошкообразных органических горючих;
- составы на основе жидких олигомеров и горюче-связующих;
- составы на основе высокомолекулярных каучуков;
- составы на пластизольной основе.

Большинство зарубежных и отечественных сигнальных и фехерверочных составов содержат органическое горючее в виде порошка (табл. I-4) [3,6,9]. Органические горючие могут быть низкомолекулярными (молочный сахар, нафталин, уротропин, метальдегид, парафин, стеарин, гексахлорциклогексан, гексахлорбензол и т.д.) и высокомолекулярными (шеллак, фенолформальдегидные смолы, ПВХ). Органические вещества не должны портить окраску пламени, а наоборот усиливать ее, как, например, хлорсодержащие соединения типа ПВХ и ГХБ. Из соединений, не содержащих галогены, целесообразно применять вещества, содержащие кислород (крахмал, сахар, шеллак, фенолформальдегидные смолы). Крахмал и сахар являются пищевыми продуктами и в настоящее время в пиротехнических составах не применяются. По-

лезно также вводить уротропин, имеющий отрицательную теплоту образования и в процессе горения образующий значительное количество газообразных продуктов.

Содержание порошкообразного горючего в составе определяется получением максимального специального эффекта и технологическими факторами.

Составы на основе порошкообразных органических горючих легко перемешиваются в смесителях различных типов и могут дозироваться дозаторами объемного типа. Недостатком таких составов является пыление и расслоение в процессе переработки, а также возможность формирования изделий из них только методом глухого прессования. В последние годы создан ряд полуавтоматических и автоматических линий формирования изделий из подобных составов, что повышает производительность и улучшает гигиену труда. В некоторые составы данного типа органическое горючее (или часть его) вводится в виде лака, что приводит к некоторому усложнению технологического процесса (вводятся дополнительные операции по приготовлению лака, провялке, грануляции и сушке состава), но и к значительному уменьшению пыления и расслоения, улучшению сыпучести и облегчению дозировки. Порошкообразные составы часто содержат около двух процентов добавок типа льняного масла, которые облегчают переработку и снимают чувствительность к механическим воздействиям.

подавляющее большинство современных зарубежных порошкообразных составов цветных огней (табл. I) в качестве окислителя содержат перхлорат калия, в качестве металлического горючего — магний и в качестве органического горючего и усилителя цвета пламени — ГХБ или ПВХ (реже гексахлорэтан). При этом ГХБ и ПВХ вводятся даже в составы желтого огня, что не является необходимым с точки зрения обеспечения насыщенности цветом пламени, но целесообразно с точки зрения однообразия используемых компонентов и облегчения технологического процесса. Составы отличаются только веществами, содержащими элементы, которые сами или в сочетании с другими элементами окрашивают пламя. В качестве таких соединений в составах красного огня используется нитрат стронция (иногда в сочетании с другими

солями стронция), в составах зеленого огня — нитрат бария; в составах желтого огня — нитрат или оксалат натрия. Эти соединения в составах выполняют роль дополнительного окислителя. В некоторых составах желтого огня в качестве дополнительного окислителя используются также нитраты стронция и бария.

Составы на основе ГХБ и ПВХ содержат обычно гильсонит (асфальтит), льняное масло или стеариновую кислоту, которые являются технологическими добавками и выполняют роль горючего.

За рубежом имеются составы цветных огней, которые в качестве окислителя содержат только нитрат бария или стронция, а в качестве носителя хлора — ГХБ или ПВХ. Однако такие составы представляют собой редкое исключение (табл. I). Все отечественные составы цветных огней, используемые для снаряжения штатных сигнальных изделий, не содержат перхлората калия (табл. 2) и поэтому менее чувствительны к внешним воздействиям. Несмотря на значительное количество составов цветных огней, применяемых в штатных изделиях (их более 40), число компонентов, используемых для их изготовления, незначительное. Основными окислителями отечественных составов являются нитраты бария и стронция, а горючими — порошки магния или сплава АМ. В составах красного и зеленого огня нитраты стронция и бария выполняют роль окислителя и цветопламенной добавки. В составах желтого и белого огней в качестве основного окислителя используется нитрат бария (исключением является состав желтого огня для ЗОС-I, который в качестве окислителя содержит нитрат калия), а в качестве цветопламенной добавки — криолит или криолит в сочетании с углекислым стронцием. Почти все составы белого огня в качестве дополнительного окислителя и вещества, улучшающего цвет пламени (ликвидирующего зеленоватый оттенок), содержат нитрат калия. В качестве технологических добавок для регулирования скорости горения и стабилизации процесса горения, в указанные составы вводят фенолформальдегидные смолы (идитол, смолы 2II и 2I4), канифоль и ее эфиры, графит, олифу и промышленное масло. Высокомолекулярные соединения, полностью или частично, вводятся обычно в виде раствора в легколетучий растворитель.

Т а б л и ц а I

Зарубежные составы цветных огней

Цвет огня	Содержание компонентов в составе, %										прочие вещества	: %
	$Sr(NO_3)_2$	$Ba(NO_3)_2$	K_2CO_3	CaO	MgO	CaF_2	$NaCl$	Na_2CO_3	Na_2SO_4	$Na_2C_2O_4$		
I	2	3	4	5	6	7	8	9				
Красный	34	-	29	29	4	-	Гильсонит	2				
							Нефть	2				
							(льняное масло)					
Красный	41	-	22	23	6	-	Гильсонит	8				
Красный	18	-	29	46	4	-	Гильсонит	3				
Красный	45	-	15	21	12	-	Гильсонит	7				
Красный	30	-	20	40	5	-	Асфальт	5				
							Льняное масло	2				
							(св. 100%)					
Красный	56	-	-	-	-	7,0	Сплав АМ	37				
Красный	45	-	25	17,5	-	5,0	Гильсонит	7,5				
Красный	42	-	9	30	-	12,0	Ламинан	7,0				
Красный	42	-	9	30	-	19,0	-	-				
Красный	68-70	-	-	3-5	-	23,0	Льняное масло	8				
Красный	52	-	-	8	18	-	Оксалат стронция	8				
							Древесный уголь	1				
							Стеариновая кислота	13				
Красный	58,8	-	-	29,9	-	5,9	Хлоркаучук	5,9				
Желтый	-	-	50	19	7	-	Оксалат натрия	15				
							Гильсонит	9				

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Желтый	-	-	50	9	9	-	Оксалат натрия Асфальт Льняное масло	17 12 3
Желтый	-	-	-	17	-	27	Нитрат натрия	56
Желтый	48	-	-	20	17	-	Хлорид натрия Каучук (св. 100%)	15 7
Зеленый	-	45	16	26	7	-	Окись меди Нефть Гильсонит	2 2 2
Зеленый	-	66	-	15	15	-	Порошок меди Нефть (льняное масло)	2 2
Зеленый	-	16	25	48	6	-	Порошок меди Гильсонит	2 3
Зеленый	-	40	-	28	30	-	Льняное масло	2
Зеленый	-	59	-	19	-	22	-	-
Зеленый	-	22,5	22,5	35	-	13	Смола <i>Latina</i>	5
Зеленый	-	50	10	20	-	16	Гильсонит	4
Зеленый	-	59	-	16	21	-	Медные опилки Льняное масло	2 2
Желтый	-	29	23	26	5	-	Оксалат натрия Льняное масло (нефть) Гильсонит	13 2 2
Янтарный	-	-	50	25	2	-	Оксалат натрия Резинат натрия	13 10
Голубой	-	42	-	17	-	-	Генсахлорэтан Медь	40 1

Т а б л и ц а 2

Рецепт и основные характеристики стечественных составов

цветных огней

Рецепт смеси, название компонентов	Основные характеристики							Применение
	И, % :мм/с	Ж/С, 2 :к /см ²	λ, 0 :А	μ, 0 :А	Е, %			
					А	А	А	
I	2	3	4	5	6	7		
Составы красного огня								
Нитрат стронция МФ-2 (3)	66±3 14±1 14±1,5	1,4	450	625	86		Сигнальные мины; 26 мм двухзвездный сигнальный патрон, 15 мм сигнальный патрон, 30 мм многозвездный сигнальный патрон, СП-60 к мине УИТИ-60, 105 мм фейерверки для салютов	
Гексахлорбензол Идитол Спирт этиловый	6±1 4±1	0,6	83	603	88		Шашка сигнальная огневая	
Нитрат стронция Сплав АМ-ПАМ-3 ПВХ-С70 Масло индустриальное "12"	71±3 10±1 16±1 1±0,5							
Канифоль	2±0,5	2,5	1780	607	87		30 мм однозвездный реактивный сигнальный патрон	
Нитрат стронция МФ-2 Гексахлорбензол Смола 2II Спирт этиловый	45±3 30±2 17±1 8±1 4±1							
Нитрат стронция МФ-3 (4) ПХВ-СО (62:65) Масло индустриальное "12"	61±3 15±1 14±1 2±0,5	0,8	430	607	95		40 мм РПС, комбинированный сигнальный патрон красного дыма с красной ракетой "КС" (к), наземный сигнальный патрон красного огня в бумажном корпусе	
Резинат кальция	8±0,5							

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Нитрат стронция МФ-2 ПХВ-5 (ПХВ-С8) Смола 211 Спирт этиловый	60±3 17±1 16±1 7±0,5 6±1	1,5	1190	607	80	40 мм реактивный двухзвездный сигнальный патрон РСН-40К
Нитрат стронция МФ-3 ПХ Смола 214	43±2 40±2 10±1 7±0,5	3,7	12000	606	75	Ракета сигнала действия судовая РБ-40С
Нитрат стронция МФ-3 ПХ Идитол	54±3 30±2 6±0,5 8±0,5	-	-	-	-	Ракета сигнала действия парашют- ная судовая РБ-50С
Нитрат стронция МФ-3 ПХ-С8 глицериновый эфир канфола (эфир карлиуса-15К) Масло индустриальное "12"	54±3 30±2 10±1 5±0,5 1±0,5	1,9	3120	608	65	Ракета сигнала бедствия парашют- ная, шлюпочная РБ-40Ш, фальшивер Ф-2К
Нитрат стронция МФ-2 ПХ-С63М Резинат желтый Масло индустриальное "12"	62±3 14±1,5 14±1,5 8±0,5 2±0,5	0,9	310	610	96	Одноцветный огневой сигнал крас- ного огня ЗОС-1К. Двухцветный огневой сигнал бело-красного и красно-зеленого огней ЗОС-20К и ЗОС-23К
Нитрат стронция МФ-3 ПХ-3 Идитол	58±3 15±1,5 17±1,5 10±1,5	1,7	1350	617	93	Сигнал химической тревоги СХТ-40

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
Нитрат стронция МНФ-2 ПВА-С 74 РБК Гранфит П (св. 100%) Масло индустриальное "12"	54±3 29±2 10±1 5±0,5 3±0,5 2±0,5	1,5	3520	611	82	Пиротехнический сигнальный патрон
Нитрат стронция МНФ-2 ПВА-С 74 Смола 211	40±2 40±2 10±1 10±1	2,5	3700	610	90	Пиротехнический патрон - "А"
Нитрат стронция МНФ-2 (3) ПВХ Канифоль Масло веретенное	59±2,5 15±1,5 20±1,5 4,5±0,5 1,5±0,5	0,9	450	616	94	39 мм двухзвездный сигнальный патрон ночного действия
Нитрат стронция ПАМ-3 ПВХ Смола 211 Масло индустриальное "12"	66±3 12±1 17±1 4±0,5 1±0,5	0,9	764	598	95	ЦОСАБ-100ю
Нитрат стронция ПАМ-3 ПВХ Канифоль Масло индустриальное "12"	70±3 9±1 16±1 4±0,5 1±0,5	0,6	764	598	95	НОСАБ-100ю
Составы зеленого огня						
Нитрат бария МНФ-2 Гексахлорбензол Идитол Этиловый спирт	66±3 14±1,5 14±1,5 6±1 3,5±0,5	1,6	916	540	70	26 мм патрон ночного действия (осв. и сигн.), 15 мм сигнальный патрон, 195 мм изделия для салютов "Сгни победы"

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
Нитрат бария МПФ-2 (I) Гексахлорбензол Мдигтол Этиловый спирт	67,5 $\pm$ 3 13 $\pm$ 2 14,5 $\pm$ 1,5 5 $\pm$ 1,5 4,5 $\pm$ 0,5	1,3	473	547	69	26 мм двухзвездный сигнальный патрон, 30 мм реактивный многозвездный сигнальный патрон, сигнальная мина "СМ"
Нитрат бария МПФ-1 Гексахлорбензол Смола 2II Этиловый спирт + ацетон 70:30	57 $\pm$ 3 18 $\pm$ 1 19 $\pm$ 1 6 $\pm$ 1 4 $\pm$ 1	1,6	595	561	73	30 мм реактивный однозвездный сигнальный патрон
Нитрат бария МПФ-2 ПВХ-С0 (ПВХ-С62, ПВХ-С65) Канифоль марок А, Б Масло индустриальное "12"	65 $\pm$ 3 12 $\pm$ 1 17 $\pm$ 1 4,5 $\pm$ 0,5 1,5 $\pm$ 0,5	0,8	127	555	73	РПСП-40з комбинированный сигнальный патрон красного дыма с зеленой ракетой "КСП" (э), наземный сигнальный патрон в бумажном корпусе
Нитрат бария МПФ-3 Гексахлорбензол Смола 2II Графит А (св. 100%) Этиловый спирт + ацетон 70:30	66 $\pm$ 3 14 $\pm$ 1 14 $\pm$ 1 6 $\pm$ 0,2 6 $\pm$ 0,2 6 $\pm$ 1	1,4	420	546	76	РДСП-40з
Нитрат бария МПФ-2 Гексахлорбензол Смола 2II Этиловый спирт + ацетон 70:30	57 $\pm$ 3 18 $\pm$ 1 19 $\pm$ 1 6 $\pm$ 1 5 $\pm$ 1	2,4	113	554	77	Сигнальная мина "СМ"

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
Нитрат бария МПФ-1 (2)	68+3 8+1,5 19+1,5 5+1,5 0,5	0,9	98,5	557	65	Однозвездный огневой сигнал зеленого огня ЗОС-13, двухзвездный огневой сигнал красного и зеленого огня ЗОС-2кз ЦОСАБ-10
Гексахлорбензол Идитол Этиловый спирт						
Нитрат бария ПАМ-3 ПВХ-С70	71+3 9+1 16+1 2+0,5 2+0,5	0,6	100	558	70	Шашка сигнальная огневая -ШСО
Канифоль марки А Масло индустриальное "12"						
Нитрат бария МПФ-3 Гексахлорбензол Идитол Этиловый спирт	67+3 14+1,5 13+1,5 6+1 3+4	-	-	-	-	Сигнальный патрон СП-60 и мине УИТМ-60
Нитрат бария ПАМ-3 ПВХ Канифоль Масло индустриальное "12"	70+3 8+1 16+1 4+0,5 2+0,5	0,7	117	552	75	НОСАБ-100
Нитрат бария МПФ-2 ПВХ Канифоль Масло индустриальное "12"	65+3 13+1 16+1,5 14,5+0,5 1,5+0,5 4+1	-	-	-	-	39 мм двухзвездный сигнальный патрон ночного действия

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
	Составы желтого огня					
Нитрат бария	54±3	2,1	2100	584	85	15 мм сигнальный патрон, 195 мм из-
МФ-2	19±1,5					делие для салюта "Огни победы",
Криолит	14±1,5					26 мм патрон ночного действия,
Стронций углекислый	5±1					26 мм двухзвездный сигнальный пат-
Идитол	8±1					рон
Нитрат бария	49±2	0,9	1000	594	84	39 мм двухзвездный сигнальный патрон
ПАМ	22±2					ночного действия
Резинат нальция	8±1					
Криолит К-1	16±1,5					
Стронций углекислый	5±0,5					
Бензин авиационный	0,5±4					
Нитрат бария	64±3	0,7	160	603	94	РПС-40ж, наземный сигнальный патрон
ПАМ-3	11±1					желтого огня в бумажном корпусе
ПВХ-СО (С62; С65)	3±0,5					
Смола 2II	5±0,5					
Стронций углекислый	5±0,5					
Криолит К-1	10±1					
Олифа натуральная	2±0,5					
Нитрат натрия	52±3	1,5	1950	608	87	РПС-40ж
ПАМ-3	17±1					
Смола 2II	9±0,5					
Криолит К-1	15±1					
Стронций углекислый	6±1					
Гравит	1±0,2					
Этиловый спирт	6±1					

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
Калий азотнокислый МЛФ-1 (2)	55±3 20±2	0,7	95	609	77	30С-1Ж
ПВХ-С63М	3±1					
Криолит К-1	12±1,5					
Стронций углекислый	4±1					
Канифоль марок А, Б	4±1					
Масло индустриальное "12"	2±0,5					
Барий азотнокислый ПАМ-3	64±3 11±1	-	-	-	-	ЦОСAB-10Ж
ПВХ	3±0,5 5±0,5					
Смола 211	10±1					
Криолит К-1	5±0,5					
Стронций углекислый	2±0,5					
Олифа натуральная						
Барий азотнокислый ПАМ-3	65±3 12±1	0,5	90	606	96	НОСАВ-100
Криолит К-1	12±1					
Стронций углекислый	4±0,5					
Канифоль	6±0,5					
Масло индустриальное "12"	1±0,5					
Нитрат бария ПАМ-3	65±3 18±1	Составы белого огня				Шашка сигнальная огневая
Нитрат калия	13±0,5	0,5	99	590	30	
Канифоль марки А	2±0,5					
Масло индустриальное "12"	2±0,5					

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
Нитрат бария ПАМ-3	65±3 20±2	1,4	367	577	58	39 мм двухзвездный патрон ноч- ного действия
Калиевая селитра	7±1					
Идиол	6±1					
Криолит	2±0,5					
Этиловый спирт	3±1					
Нитрат бария	66±3	0,9	450	569	47	РНСП-406
МФ-2	10±1					
ПАМ-3	10±1					
Нитрат калия	6±0,5					
Канифоль марок А, Б	6,5±0,5					
Масло индустриальное "I2"	1,5±0,2					
Нитрат бария	68±3	2,6	2467	569	58	РНСП-406
МФ-1 (2:3)	17±1					
Нитрат калия	5					
Смола 2II	10±0,5					
Графит II (св. 100%)	1±0,2					
Этиловый спирт + ацетон	6±1					
Нитрат бария	31±2	1,7	315	691	35	Сигнальная мина "СМ"
МФ-3	5±0,5					
ПАМ-3	13,5±1					
Нитрат калия	37,5±2,5					
Идиол	13±1					
Этиловый спирт	4±0,5					

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7
Нитрат бария МФ-2	67±3 18±1,5	0,6	690	573	62	30С-16
Нитрат калия	6±1					
Криолит К-1	2±1					
Канифоль марок А, Б	5±0,5					
Масло индустриальное "12"	2±0,5					
Нитрат бария ПАМ-3	64±3 16±1	0,66	688	571	61	НОСАБ-100-706
Нитрат калия	12±1					
Канифоль	6±1					
Масло индустриальное "12"	2±0,5					
Нитрат бария Марный ГХБ	57 18 19	1,9	1600	592	70	РСП-306
Смола 211	5±1					

Примечание. Во всех составах этилового спирта свыше 100%.

В отличие от сигнальных фейерверочные составы цветных огней (табл. 3 и 4) содержат перхлорат аммония (ПХА), который выполняет роль окислителя и носителя хлора, облегчает воспламенение состава и улучшает процесс диспергирования. Гамма цветов фейерверочных огней богаче, поэтому и круг используемых компонентов шире.

Начиная с 1961 года в Великобритании, Франции, ФРГ и США патентуется ряд составов и способов их переработки на основе жидких олигомеров [10]. В качестве горюче-связующих используются эпоксидные и полиэфирные смолы, жидкие каучуки, силиконовые смолы, тиоколы и т.д. Содержание горюче-связующих в составах колеблется в широких пределах от 2-3% до 17-24%, что позволяет (в зависимости от содержания связующего) перерабатывать их методами глухого прессования при низких давлениях, экструзии, литья под давлением или свободной заливкой.

Введение жидких олигомеров в состав уменьшает пыление, облегчает процесс прессования и позволяет увеличить физико-механические свойства готовых образцов (за счет полимеризации олигомера). При значительном содержании олигомера в составе (18-24%) изделие можно получить методом литья, что уменьшает опасность переработки. Недостатком составов такого типа является плохая сыпучесть при небольшом содержании олигомера и необходимость проведения процесса полимеризации.

В последние годы за рубежом разработаны составы цветных огней на основе полиизобутилена [11], который выполняет в составе роль горючего, технологической добавки и связующего. Изделия из этих составов можно формовать методом глухого или проходящего прессования (экструзией). Аналогичные составы разработаны и в СССР. Однако вместо полиизобутилена в отечественных составах используются синтетические каучуки (нитрильный - СКН-40Т; изопреновый - СКН-3; стирольный - СКМС-30 АРКМ-15) и термоэластопласт ДСТ-30 (табл. 5 и 6) [12]. Каучуки вводятся в виде раствора в метилхлориде. Введение 10-15% каучука придает составу термопластичные свойства и позволяет перерабатывать его методом проходного прессования (давление проходного прессования составляет 400-1000 кгс/см²). Такой метод целесообразен

Т а б л и ц а 3

Рецепты и свойства составов цветных огней для фейерверочных изделий и салютов

Цвет огня и цифр состава	Рецепт смеси		И, мм/с	J, кД	$\frac{Jt}{m},$ кД.с г	Цветность		Класс и степень опаснос- ти	Применение
	название ком- понента	содер- жание, %				$\lambda,$ °А	насыщен- ность, %		
Красный К-67*	Нитрат стронция	35-40	0,7-1,1	275*	250* 412	599*	97 626	15	Майские звезды Зап. Авроры Уральские самцветы-I Ореол-4 Радуга Каменный цветок
	ПХА	30-40							
	Уротропин	15-20							
	Идитол	5-10							
	Тиомочевина	0-5							
Зеленый З-67Ф	Ферроцен	0-0,5						15	Майские звезды Ореол-4 Радуга Уральские самцветы-I Каменный цветок
	Нитрат бария	20-25	0,8*	200*	100*	574*	87		
	ПХА	45-55	1,15	260	117	548			
	Уротропин	15-20							
	Идитол	5-10							
Желтый Ж-67	Тиомочевина	0-5						18	Майские звезды
	Ферроцен	0-0,5							
	ПХА	52-58	0,71*	167*	193	582*	95		
	Уротропин	14-16	0,84	190		593			
	Идитол	9-12							
	Оксидат натрия	17-22							

Продолжение табл.3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Синий С-67	Ферроцен	0-0,5							
	Графит	0-0,3							
	Этиловый спирт	5-6							
	ПХА	64-72	0,67+	97+	60	450+	5+8	12	Майские звезды
	Идитол	6-8	1,06	100		467			Уральские самоцветы-I
	Сернистая медь	13-17							Уральские самоцветы-2
	Борная кислота	9-11							Ореол-4
	Графит	0-0,5							Радуга
									Каменный цветок
Белый Б-67	ПХА	67-73	0,76	-	-	-	-	13	Уральский самоцвет-2
	Уротропин	17-23							
	Идитол	3-7							
Фиолетовые Ф-67	Антимоний	3-7							
	Нитрат	13-17	-	470	313	501	57	13	Уральский самоцвет-2
	Стронция	54-63							
	ПХА	11-13							
	Уротропин	4-6							
	Идитол	7-9							
	Сернистая медь								

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Белый О-67ФС	Нитрат строн- ция ПХА Уротропин Идитол Оксалат натрия	18-22 37-43 12-13 8-10 13-17	0,82	360	318	589	96	16	Уральский самоцвет-1
Красный КФ-С8	Нитрат стронция Идитол Пудра алюминия- вая Сплав АМ ГХЦГ Миллори	50-60 4-6 17-23 8-12 8-12 0-5	2,48	41080	27600	615	66	-	Астра-1, Огни Москвы Каменный букет-4, Люстра-9, Звездное небо-6, Астра красная с трассой, Рассвет, Юбилей-1, Юбилей-6, Звездный букет, Кумач
Зеленый ЗФ-68	Нитрат бария Идитол Пудра алюминия- вая Сплав АМ ГХЦГ или ГХБ Миллори	63-69 4-6 8-12 8-12 0-5	2,01	31670	20000	558	63	-	Звездный букет, Юби- лей-6, Люстра-9, От- Звездное небо-6, От- ни Москвы, Юбилей-3, Астра-2
Белый БФ-68	Нитрат бария Идитол Пудра алюминия- вая Сплав АМ Миллори	62-68 8-12 18-22 4-6 0-5	2,88	18810	9750	569	41	-	105 мк фейерверк для салютов, Букет с трассой, Огни Победы, Астра-4, Звездное не- бо-1, Юбилей-4, Звезд- ный букет, Кристалл

Продолжение табл. 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	Ю
Желтый Ж-68	Нитрат бария	62-68	-	-	-	-	-	-	Юбилей-3 Астра-2
	Идиол	8-12							
	Пудра алюминия	8-12							
	Сплав АМ	8-12							
	Нитрат натрия	17-23							
	Криолит	17-23							
	Миллори (св. 100%)	0-5							

Примечание. ферроцен, графит, миллори (лазурь молярная сухая) и спирт вводят-
ся сверх 100%.

Рецепты составов цветных огней для фейерверков

Цвет огня и шифр состава	Рецепт состава	
	название компонентов	содержание, %
Розовый Р-67	Перхлорат аммония	38-42
	Карбонат кальция	38-42
	Нитрат калия	6-8
	Идитол	8-12
	Уголь древесный	2-4
	Ферроцен (св. 100%)	до 0,5
Голубой Г-67	Перхлорат аммония	55-61
	Оксид меди	22-27
	ГХБ	11-13
	Стеарин	4-6
	Графит (св. 100%)	2,5 - 3,5
Голубой	Перхлорат аммония	74,5-84,5
	Монохлорид меди	2,6-6,7
	Уротропин	12,8-18,8
Синий	Перхлорат аммония	69-74
	Роданистая медь	10-19
	Уротропин	12-16
	Нитролак (св. 100%)	1-4
Фиолетовый Ф-67	Перхлорат аммония	51-59
	Карбонат кальция	14-16
	Сернистая медь	4-6
	Уротропин	18-23
	Идитол	4-6
	Графит (св. 100%)	до 0,5
Фиолетовый	Перхлорат аммония	54-63
	Нитрат стронция	13-17
	Сульфид меди	7-9
	Уротропин	11-13
	Идитол	4-6
Оранжевый О-67	Перхлорат аммония	37-43
	Нитрат стронция	18-22
	Оксидат натрия	13-17
	Уротропин	13-17
	Идитол	8-12
	Спирт этиловый (св. 100%)	5-6
Красный	Перхлорат аммония	35-42
	Нитрат стронция	35-42
	Поливиниловый спирт	15-18
	Глицерин	5-8
	Формалин	0,1-1,0

при изготовлении изделий с большим отношением длины изделия к диаметру. Термопластичные составы хорошо воспламеняются от раскаленной проволоки и воспламенительных составов и имеют высокие свето-технические характеристики, изделия из них эластичны и обладают высокими физико-механическими свойствами. Эти составы разрабатывались для непрерывной технологии, использующей специальные вальцы или каскадные смесители-прессы (КСП). Однако такая технология на пиротехнических заводах до настоящего времени почти не освоена. Процесс приготовления и переработка термопластичных составов с использованием существующего на пиротехнических заводах оборудования сложнее, чем у порошкообразных составов цветных огней. Поэтому такие составы пока не нашли практического применения.

Значительно больший интерес представляют разработанные в последние годы составы цветных огней на пластизольной основе, которые можно готовить и перерабатывать в изделия на существующем заводском оборудовании, а также формовать из них изделия методом проходного прессования на гидравлических прессах или шнек-аппаратах. Зарубежные составы в качестве полимера пластизольной основы содержат обычно ПВХ или нитроклетчатку [13].

Для разработки отечественных составов цветных огней использовались пластизольные системы, приготовляемые на месте потребления. В качестве порошкообразных высокомолекулярных соединений (дисперсной фазы) пластизольных основ исследовались хлорсодержащие полимеры (поливинилхлорид, хлорнаирит, сополимеры ВА-15, ВА-20 и СНХ-60) и полимеры, не содержащие хлора (полистирол, полиметилметакрилат, полибутиленметакрилат, пластик СНК-МБ, сополимеры БМК-5, Витан-2М, НАМА, нитроклетчатка и продукт АП-3,3) [14-17]. В качестве пластификаторов исследовались фталаты, фосфаты и себацинаты, серосодержащие продукты переработки арланской нефти (сульфиды, сульфоксиды и сульфоны), полиэфир и акрилаты (ТГМ-3, МГФ-9, ТГМ-13 и т.д.), а также их смеси. С учетом стоимости полимеров и наличия сырьевой базы практический интерес в качестве дисперсной фазы пластизольных основ для составов цветных огней представляют: полистирол, ПВХ, хлорнаирит, пластик СНК-МБ и сополиме-

Т а б л и ц а 5

Рецепты и основные свойства термопластичных составов цветных огней

Цвет огня и номер состава	Содержание компонентов					Основные показатели составов				
	$S_2(NO_3)_2$	NH_4ClO_4	$Al_2(PAM)$	СКН- 40Т	прочие компо- ненты	%	$M, \frac{mm}{c}$	$\eta/s, \frac{нд}{cm^2}$	$\lambda, \frac{o}{A}$	$P, \%$
Красный, КТ-I	38-53	35-50	-	IO-I2	-	-	0,8-I, I	92,5	643	77
Красный, КТМ-I	50-60	-	I3-I8	IO-I2	дцда пвх идитол	3-5 5-IO I-6	0,75-I, I3	7IO-740	6IO	87
Зеленый, ЗТ-I	-	57	-	IO	идитол $Ba(NO_3)_2$	5 28	I, I -I, 6	24	595	82
Зеленый, ЗТМ-I	-	45-55	I2-I7	IO-I2	дцда $Ba(NO_3)_2$	3-5 20-25	I, I-I, 3	500-928	540-570	62-72
Желтый, ЖТ-I	II-I3	57-63	-	-	$Na_2C_2O_4$ поли- эопрен	I3-I7 I2-I4	0,9	20	589	92
Желтый, ЖТМ-I	5-IO	40-45	I5-20	IO-I2	$Na_2C_2O_4$	8-23	0,98-I, I5	833-II40	-	-
Белый, БТМ-I	-	45-55	35-45	IO-I2	-	-	I, 23-I, 44	IO26	-	-
Фиолетовый, ФТ-I	IO-20	60-70	-	IO-I2	CuS уротро- пин (св. IOO%)	8-IO 0,5-IO	I, 5-2, 4	52	500	47
Голубой, ГТ-I	-	60-65	-	8-I2	уротро- пин CuO	8-I2 I5-20	2, 2-2, 4	-	-	-

Т а б л и ц а 5

Терпеноидные составы цветных олеи

Цвет огня и шифр состава	Рецепт смеси название компонента	содержание, %	Основные свойства составов				
			И, мм/с	J, кД	насыщен- ность, %	Т, °С	Убыль веса за 2 ч
Зеленый ЗМТ-I	Перхлорат аммония	27-43	0,6-1,1	800- 1255	80-87	200	0,2-0,3
	МФ или ПАМ	10-12					
	Поликарбонат	5-12					
	Карбонат бария	37-46					
Зеленый ЗЛ-I	Перхлорат аммония	27-51	0,61-0,70	2000- 2250	83-86	200	0,9-1,2
	Нитрат бария	28-38					
	СКМС-30АРКМ-I5	6-9					
	ДСТ-30	4-6					
	Магний ДЦДА	10-15 1-5					
Красный КЛ-I	Перхлорат аммония	40-46	0,64 -0,80	1080- 2100	87-91	200	0,8-1,1
	Нитрат стронция	20-30					
	МФ	10-15					
	ДЦДА	2-7					
	СКМС-30АРКМ-I5	6-9					
Красный ККА-I	ДСТ-30	4-6	0,8	-	85	250	0,6
	Перхлорат аммония	50-57					
	МФ	5-9					
	ПАМ	4-10					
	Карбонат стронция	15-25					
Полиарилат	10-15						

ры ВА-15 и ВА-20. Использование хлорсодержащих полимеров является более целесообразным, так как составы на их основе технологичнее (содержат меньше компонентов).

С учетом обеспечения безопасности технологического процесса и возможности его механизации пластизольные основы должны иметь небольшое время созревания (не более 0,5–1 ч) и низкую (не выше 80–90°C) температуру гелеобразования или отверждения. С точки зрения обеспечения хорошего специального эффекта содержание органических горючих в составах цветных огней не должно превышать 20–25%. Такого количества пластизольной основы достаточно для получения качественных изделий (шнура).

Рецептуры и некоторые свойства пластизольных составов цветных огней на основе хлоранрита (ХН) приведены в табл. 7

[18]. Давление проходного прессования при формировании шнура из этих составов при угле входа 90° и температуре прессовки 70°C находится в пределах 15–70 МН/м², коэффициент уплотнения шнура – в пределах 0,81–0,97, а прочность – от 0,25 до 8,82 МН/м². Составы на основе хлоранрита имеют более высокие светотехнические характеристики, чем штатные составы для сигнальных патронов. Составы КХМ-1 и ЗХМ-1 были испытаны в РПС-40, в 26 мм сигнальных и в 40 мм реактивных двухзвездных сигнальных патронах. Изделия на основе составов из КХМ-1 и ЗХМ-1 хорошо воспламеняются. Время горения звездок из состава КХМ-1 в РПС-40 составляет 35 с, в РСП-40 – 11 с и в 26 мм СП – 7,2–8 с (без канала) и 3,2–4,2 с (с каналом), т.е. больше, чем на штатных составах. Время горения РПС-40 на основе состава ЗХМ-1 порядка 41 с, а на основе БХМ-2 – 38–42 с.

При формировании изделий из составов на основе ХН рекомендуется поддерживать следующие температуры – шнек-винта 40–50°C, загружаемого состава – 25°C, фильеры – 20–25°C. Недостатком таких составов является неустойчивость характеристики ХН, а значит и составов на его основе, и относительно высокая скорость горения (более 0,95 мм/с), что не дает возможности использовать их в изделиях, где скорость горения

Т а б л и ц а 7

Рецептуры и основные свойства пластизольных составов цветных огней на основе хлоратрита

Цвет огня, шфр состава	Рецепт состава			И, мм/с	Т/с, кД/см ²	λ, Å	Чистота цвета
	ПХА	ХН	ДБС (ДБФ)	прочие компонен- ты			
Красный КХ-I	30±5	14±18	4±6	Sr(NO ₃) ₂ Тех. добав- ка	1,1±1,4	16,6	612±645 85±94
Зеленый ЗХ-I	30±55	13,5±14,5	5±6,5	Ba(NO ₃) ₂ Тех. добав- ка	0,8±1,8	8,5	525 90±93
Голубой ГХ-I	45±65	12±14	5±6	SrO Тех. добав- ка	1,6±2,2	-	-
Фиолетовый ФХ-I	40±60	10±14	6±10	Sr(NO ₃) ₂ См.С Тех. добав- ка	0,8±1,6	15±20	516±586 50±92
Красный КАМ-I	29±36	13±15	5±7	Sr(NO ₃) ₂ магний идмтол стеарат кальция	0,85±1,35	700±1300	610±625 90±96
Зеленый ЗАМ-I	27±35	13±15	5±7	Ba(NO ₃) ₂ магний нитро- гуанидин стеарат бария	0,8±1,2	257±475	533±542 68±76

должна быть менее 0,6 мм/с (ЗСС-ы, железнодорожные аварийные сигналы и т.д.).

Медленногорящие составы цветных огней разработаны на основе пластика АБС марки СНК-МБ (продукт совместного соосаждения сополимера дивинила, стирола и нитрилакрила с латексом каучука СКН-18 МП). Пластик СНК-МБ представляет собой мелкодисперсный порошок белого цвета, который образует пластизоли с рядом пластификаторов - ТГМ-3с, МГФ-9, ДБФ, ТКФ, а также их смесями. Рецептуры сигнальных составов на основе СНК-МБ приведены в табл.8 [19].

Составы на основе СНК-МБ, несмотря на малую скорость горения, имеют высокие значения силы света с единицы поверхности горения изделия и могут использоваться в ряде сигнальных изделий. Недостатком составов на основе СНК-МБ является наличие в них ПХА, который увеличивает чувствительность к механическим воздействиям.

Значительно меньшей чувствительностью обладают составы сигнальных огней на основе сополимера винилхлорида с винилацетатом (ВА-15) и трибутилфталата (табл.8).

Из порошкообразных высокомолекулярных материалов, способных образовывать пластизоли, наиболее доступными являются полистирол и ПВХ. Они исследуются в качестве компонентов составов цветных огней. Составы на основе ПС плохо воспламеняются и имеют малую насыщенность пламени светом. Составы на основе ПВХ хорошо воспламеняются, имеют хорошую окраску пламени, но после их сгорания остается много шлама. В качестве пластификатора для ПВХ можно использовать сульфоксиды, сульфоны и их смеси с ДБФ.

В последние годы в США были запатентованы пиротехнические составы, содержащие низкотемпературную смесь солей и снаряжающиеся методом заливки [20]. Эти составы не подходят ни к одной из 4-х подгрупп, но заслуживают определенного внимания. В качестве примера приведем рецептуру смеси зеленого огня: 1 в.ч. магния + 2 в.ч. хлорида бария + 2 в.ч. эквимолярной смеси нитратов кальция и натрия (48% нитрата кальция + 52% нитрата натрия, температура плавления смеси 232°C).

Т а б л и ц а 8

Составы сигнальных огней на пластизольной основе

Цвет огня и шифр состава	Рецепт смеси, %				:Р, МН/м ²	Купл. мм/с	И, мм/с	У/з, кД/см ²	Насы- щен- ность, %		
	:название : %										
	МФ	ВА-15: прочие компоненты									
	NH ₄ Cl O ₄	Sc(NO ₃) ₂									
Красный КСМ-2	25-35	25-30	10-17	-	МФ-9 СНК-МБ	5-10 12-17	9,8-34,3	0,95± 0,97	0,43± 0,80	650± 900	95± 95
Зеленый ЗСМ-2	30-35	-	10-20	-	МФ-9 СНК-МБ Ba(NO ₃) ₂	6-12 10-20 25-30	4,9-21,6	0,95± 0,97	0,6± 0,88	43± 286	80± 85
Красный КСМ-1	-	62	15	15	ТБФ	8	17,6	0,96	1,0	1180	92
Зеленый ЗСМ-1	-	-	15	15	ТБФ Ba(NO ₃) ₂	7 63	34,3	0,94	1,1	580	75
Желтый ЖСМ-1	-	-	18	15	NaNO ₃ ТБФ Идитол	56 8 3	23,5	0,95	0,9	1450	92
Белый БСМ-1	-	-	16-18	15-18	KCl O ₄ ТБФ Идитол	56-59 8 3	20-49	0,96	1,1± 1,8	-	-
Красный КСМ-2	-	62	15	11	СО	12	11	0,98	0,96	-	-

Таким образом, в последние годы разработан ряд высокоэффективных составов сигнальных огней, внедрение которых позволит повысить эффективность сигнальных средств.

Составы цветных огней периодического излучения

Сигнал периодического излучения лучше воспринимается и различается человеческим глазом, чем непрерывного. Для получения такого сигнала в пиротехнической промышленности в СССР и за рубежом (Япония) используют многослойные пироэлементы, в которых периодически чередуются слои состава, дающие цветное пламя, и слои состава, сгорающие с малым излучением. Производство таких пироэлементов сложное, а получаемый эффект недостаточно надежен и оригинален. Теоретические и экспериментальные исследования последних лет позволили наметить пути разработки составов, у которых эффект мерцания заключен в самом механизме горения.

При разработке пульсирующих составов цветных огней необходимо обеспечить: с одной стороны, сгорание составов с периодическим образованием и исчезновением пламени, а с другой — стабильность и устойчивость такого процесса, технологичность и безопасность изготовления изделий из этих составов. С этой целью при разработке пульсирующих составов цветных огней необходимо использовать накопленный опыт по разработке составов цветных огней непрерывного излучения и результаты исследований по изучению пульсирующего горения конденсированных систем. Установлено, что в составах периодического излучения также, как и в составах непрерывного излучения, желтая окраска достигается, в основном, за счет атомарного излучения паров натрия. Температура пламени в этом случае мало влияет на насыщенность и изменение интенсивности окраски пламени во время развития вспышки незначительно.

Получение пульсирующих пламен других цветов основано на молекулярном излучении. Молекулярное излучение является более чувствительным к изменению температуры, чем атомарное. При пульсирующем горении составов цветных огней красочный эффект

получается как за счет периодического воспламенения и затухания звездок, так и за счет непрерывного изменения цвета пламени, связанного с непрерывным изменением температуры пламени, доли монохроматического излучения молекул и атомов и излучения твердых продуктов сгорания (все это создает эффект мерцания звезд). В периоды между вспышками пламя отсутствует. В начальный момент вспышки температура невысокая и доля молекулярного излучения по сравнению с излучением твердых частиц значительна. Насыщенность цветом пламени в данный момент максимальна. По мере развития вспышки увеличивается температура пламени, доля излучения твердыми продуктами и яркость излучения, но вместе с тем возрастает диссоциация молекул и насыщенность пламени цветом уменьшается. В момент, когда температура пламени во время вспышки максимальная, интенсивность излучения также достигает максимального значения, и пламя воспринимается как белое. По мере сгорания подготовленного слоя температура в пламени снижается, уменьшается интенсивность свечения твердых продуктов, насыщенность пламени цветом возрастает. Далее цикл повторяется.

Очень стабильная и устойчивая пульсация получается при использовании в качестве окислителей нитрата свинца и перхлората аммония. Однако составы на основе нитрата свинца обладают недостаточной химической стойкостью, а составы на ПХА-повышенной чувствительностью к тепловым и механическим воздействиям.

В качестве основы мерцающих огней применяются смеси сплава АМ с нитратами щелочноземельных металлов. Нитраты в этих составах выполняют роль окислителя и цветопламенной добавки. Составы на основе нитрата натрия сгорают с относительно равномерным излучением и не могут быть использованы в качестве основы для разработки мерцающих составов желтого огня. В качестве основного окислителя в этих составах целесообразно использовать нитрат бария или смесь нитрата бария + нитрат стронция, которые обеспечивают пульсирующий режим горения, а в качестве цветопламенной добавки — соединения натрия (нитрат, оксалат, карбонат). Для улучшения воспламеняемости и стабиль-

ности пульсаций в некоторые составы целесообразно вводить небольшое количество перхлората аммония или калия.

Для уменьшения пыления, предотвращения расслоения и увеличения стабильности пульсаций в составы вводятся органические и неорганические добавки. Такие составы [21] в зависимости от природы окислителя, дисперсности сплава, АМ и природы добавок сгорают с частотой пульсаций (мерцаний), от долей герца до нескольких герц и создают оригинальный зрелищный эффект (табл.9). Пироэлементы из составов МБ-67, МЖ-67, МЗ-67, МК-67 диаметром 10-15 мм и высотой 10-14 мм сгорают в воздухе в течение 13-17 с и дают 7-13 вспышек продолжительностью 0,10÷0,25 с каждая. Элементы используются для снаряжения 105, 195 и 310 мм изделий высотного действия. По оригинальности и красочности зрелищного эффекта составы мерцающих огней не имеют себе равных в мире и получили высокую оценку советских и зарубежных специалистов.

Составы пульсирующего горения можно использовать и в сигнальных изделиях (сигнальные реактивные патроны, ИОСАБы), что накладывает дополнительные требования к ним: обеспечение устойчивости горения и стабильности пульсации при обдуве и вращении; большую термостойкость, меньшую чувствительность и т.д. Стабильность пульсации и светотехнические характеристики можно улучшить, если в составе использовать смесь двух окислителей, один из которых одновременно выполняет роль цветопламенной добавки. На смеси двух окислителей разработаны составы белого, желтого и фиолетового огней. Эти составы содержат повышенное (20-35%) количество сплава АМ, сгорают со стабильной пульсацией и имеют высокие светотехнические характеристики. Составы сохраняют пульсирующий режим горения в широком диапазоне изменения диаметра образца (10 + 110 мм) и скорости вращения до 5 тысяч оборотов в минуту. Было установлено, что в качестве технологических добавок в пульсирующих составах кроме идитола и БКМ можно использовать термоэластопласт ДСТ-30, бутилакрилатный каучук (БАК), полиакрилаты, бакелитовый чак, фенилон и жидкие смолы (МДФ-1, ТГМ-3, МГФ-9 и т.д.).

Т а б л и ц а 9

Рецепты и свойства составов цветных мерцающих огней (диаметр образцов 10-15 мм)

Цвет огня и шифр состава	Рецепт смеси		И, мм/с	Сила света, нд/г	d, гц	Применение
	название компонентов	содержание, %				
I	2	3	4	5	6	7
Красный, МР-67	Нитрат стронция	78-84	0,6-0,74	1500	0,4-0,65	Бисер, Бисер разноцветный, Мерцающие звезды, Бирюза, Бриллиант, Северное сияние
	ПАМ-2	11-15				
	ПАМ-3	5-7				
	Идитол (50)	1,5-2,5				
Белый, МБ-67	Нитрат бария	70-80	0,4-0,7	2700	0,5-0,6	Мерцающие звезды, Бриллиант, Северное сияние
	ПАМ-2	13-15				
	ПАМ-3	5-7				
	Идитол (50)	0-2				
Белый МБ-72	Нитрат бария	30-37	0,6-0,7	17000	1,4-3,0	Бисер, Бисер разноцветный, Бирюза
	Нитрат стронция	30-37				
	Сплав АМ-(ПАМ-2, ПАМ-3)	25-35				
	Окись металла, (св. 100%)	1-5				
Желтый МЖ-67	Идитол (20)	0,2-0,1	0,2-0,9	1700	0,9-1,0	Бриллиант
	Нитрат бария	65-75				
	ПАМ-2	19-23				
	ПАМ-3	7-11				
	Оксидат натрия	2-8				

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5	6	7
Желтый МЖ-72	Нитрат натрия	18-23	0,6-0,7	16000	1,1-3,0	-
	Нитрат бария	45-52				
	Щавелевокислый или углекислый натрий	2-8 25-35				
	ПАМ-3 Идитол (20)	1-2				
Зеленый МЗ-67	Нитрат бария	70-80	0,4-0,9	1500	0,7-0,8	Северное сияние Бирюза
	ПАМ-2	10,5-11,5				
	ПАМ-3	3,5-5,5				
	Пудра медная Идитол (50)	8-12 до 2				
Смолятовый МФ-72	Перхлорат аммо- ния	40-48	0,8	9700+ 11000	15-16	-
	Азотнокислый стронций	8-12				
	Сплав АМ	26-34				
	Окись меди Сера	5-11 5-11				
Пурпурный МП-72	Нитрат стронция	25	1,0-2,0	-	12-15	-
	Перхлорат аммо- ния	35				
	ПАМ-3	24				
	Хлорная медь	16				

Примечание . Идитол вводится в виде раствора в спирте этиловом сверх 100%, цифры в скобках указывают концентрацию раствора в %.

ЛИТЕРАТУРА

1. С о л о д о в н и к о в В. М. Пиротехника. Производство и сжигание фейерверков. М., Оборонгиз, 1938.

2. Л и х а ч е в В. А. Пиротехника в кино. М., "Искусство", 1963.

3. Ш и д л о в с к и й А. А. Основы пиротехники. М., "Машиностроение", изд. 4, 1973.

4. Weingart G., *Pyrotechnics*. N4, 1947.

5. Т у х о А., *Pyrotechnia e fuochi Artificiali*, Milano, 1950.

6. E l l e r n H. *Modern Pyrotechnics* N.-V., 1961.

7. R. F. Barrow and E. F. Cahlin, *Proc. Phys. Soc. (London)*, 62 B, 32-33 (1919).

8. Патенты Франции № II9994I, 1950; Великобритании № 846688, 1957 и ФРГ № IO40437, 1957.

9. Патенты Германии: № 373100, 1923; № 618083, 1935; № 648308, 1937; № 677532, 1939. Патенты ФРГ: № 487295, 1929; № II29402, 1962; № II58872, 1964; № 2164437, 1971. Патенты США: № I59372I, 1926; № I70815I, 1928; № I708187, 1929; № I756255, 1930; № 200627I, 1935; № 2033966, 1936; № 2035509, 1936; № 2362502, 1944; № 2442528, 1948; № 2628897, 1951; № 2690938, 1960; № 289929I, 1959; № 3064576, 1962; № 326173I, 1966. Патенты Великобритании: № I284499, 1972; № I410760, 1964. Патент Австрии № 5562158, 1960. Патент Франции № II69533, 1955. Авт. свид. № I96584, 1967; № 210725, 1967; № 205665, 1967; № 205663, 1967; № 234187, 1967; № I94594, 1967; № 205664, 1967; № 265765, 1968; № 259669, 1968; № 267407, 1968; № 259668, 1968; № 259670, 1968; № 232812, 1969; № 327142, 1970; № 394345, 1973; № 424422, 1973; Заявка на изобретение № I262099 от 5/УП-68.

10. Патенты Великобритании: № 88173I, 1961; № IO84944, 1965; № I277528, 1972; № I27719I, 1972. Патенты Франции: № I410760, 1964; № I422779, 1965. Патент ФРГ № I282530, 1968. Патенты США: № 3411963, 1968; № 341196I, 1967; № 3411964, 1968; № 3432370, 1969; № 3462325, 1969; № 3673013, 1972; № 3673014, 1972; № 3680483, 1972; № 370661I, 1972; № 3761329, 1973. Патент Австрии № 5562158, 1960.

11. Патент ФРГ № 2113934, 1970. Патент Франции № 2085012, 1972. Патент Великобритании № I284499, 1972.

12. Авт. свид. № 375917, 1973; № 395004, 1973; № 403312, 1973; № 442689, 1974; № 459058, 1974; № 459059, 1974; № 508047, 1975; № 534933, 1976; № 541349, 1976; заявки на изобретение: № I667688 от 21/IV-71; № I865034 от 18/I-73; № I865022 от 18/I-73.

13. Патенты Франции: № I285832, 1961; № I29259I, 1961; № 2154213, 1973. Патенты США: № I410760, 1964; № 3715243, 1973; № 3761329, 1973.

14. М а д я к и н Ф. П. Пластизоли, свойства и применение в составах цветных огней. КХТИ, 1977.

15. М а д я к и н Ф. П., П е т р о в А. И., М а д я к и н а Р. В. Влияние природы высокомолекулярных соединений и пластификаторов на свойства пластизолей. - Отчет КХТИ, 1976.

16. М а д я к и н Ф. П. Порошкообразные высокомолекулярные соединения, их свойства и применение. КХТИ, 1977.

17. А р ш М. М., К л я у з о в А. К., М а д я к и н Ф. П. Составы цветных огней на пластизольной основе. - Отчет КХТИ, 1977.

18. Заявки на изобретение № 1901422 от 2/IV-73; № 1901421 от 2/IV-73; № 1901394 от 2/IV-73; № 1901395 от 2/IV-73; № 2300678 от 19/X-75; № 2300679 от 19/X-75.

19. Заявки на изобретение: №2349684 от 16/III-76; № 2349683 от 16/III-76.

20. Патенты США: № 3370537, 1968; № 3488237, 1969; № 3490966, 1969; № 3726728, 1973.

21. Авт.свид. № 237041, 1968; № 237039, 1968; № 247828, 1969; № 241269, 1969; № 390053, 1973; № 390054, 1973; № 450468, 1974.

Редактор Н.В. Лабзова

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 2, '75

Заказ 276

Тираж 100 экз.

Бесплатно

Редакционно-издательский отдел КХТИ имени С.М.Кирова
420015, Казань, К.Маркса, 68

Оффсетная лаборатория КХТИ имени С.М.Кирова
420015, Казань, К.Маркса, 68