

В настоящее время пиротехническая промышленность испытывает серьезные трудности в вопросах, связанных с сырьевой базой. В связи с этим актуальными на сегодняшний день являются два направления: поиск новых компонентов и разработка рецептур с их использованием, а также разработка новых технологий. В настоящее время ведутся разработки по использованию сульфатов /1/ и карбонатов /2/ в пиротехнических составах. Известны работы по применению кремнийсодержащих компонентов в пиротехнике. Имеются сведения о применении в составах в качестве связующего кремнийорганических полимеров /3/, в качестве излучателя оксида кремния /4/, кремнефтористого натрия, как цветопламенной добавки в фейерверочных составах желтого огня /5,6/. Активизировались направления по внедрению новых технологий, которые позволили бы улучшить специальный эффект, такие как модификация, гранулирование, золь-гель технология. Исследуемый компонент представлял собой ксерогель, полученный отверждением жидкого натриевого стекла высаливающими добавками – нитратами щелочных металлов /7,8/. В ходе предварительных исследований было установлено оптимальное содержание нитрата натрия (нитрата калия) для получения технологичного геля, которое составило 10-25%. Для исследования специальных характеристик была выбрана группа составов со следующим содержанием компонентов: Нитрат щелочного металла: 10 – 25% Жидкое натриевое стекло: 30 – 65% Металлический порошок: 25 – 45 % Пироэлементы готовились двумя способами. Первая группа образцов была приготовлена методом литья. В гель вводился металлический порошок, составы перемешивались, прессовались в оболочку 15 мм. После чего их сушили естественным путем в течение 6 дней. Второй способ – традиционный для пиротехники. Измельченный ксерогель перемешивался с окислителем и металлическим порошком, составы уплотнялись методом глухого прессования при давлении 1000 кгс/см² в картонную оболочку диаметром 15 мм, измерялась высота образца, рассчитывался коэффициент уплотнения. Испытание образцов проводилось в вертикальной камере сжигания без обдува воздухом. При испытании определялись специальные светотехнические характеристики методом фотометрирования по ГОСТ 2389-70: сила света, удельная светосумма и время горения. Образцы, приготовленные методом литья, не давали требуемого специального эффекта, горели неравномерно, происходило зашлаковывание фронта горения, что ухудшало зрелищный эффект. Поэтому в дальнейшем эта технология не применялась. Образцы, приготовленные по традиционной технологии, хорошо воспламенялись. Для этих составов была проведена оптимизация по скорости горения, силе света и удельной светосумме с использованием симплекс-решетчатых планов Шеффе по пятой модели построения локальных симплексов. На рисунках 1-2 приведена оптимизация составов по скорости горения и удельной светосумме, в таблице 1 – оптимизация составов по силе света. Рис. 1 – Оптимизация составов по скорости горения: а

нитрата калия; б нитрата натрия Рис. 2 – Оптимизация составов по удельной светосумме: а нитрата калия; б нитрата натрия По результатам оптимизации, можно заметить, что максимальные значения силы света и удельной светосуммы можно достичь, изменяя содержание ЖНС от 35 до 55%. Зависимость скорости горения от содержания ксерогеля в обоих составах аналогична.

Светотехнические характеристики составов на нитрате натрия выше составов на нитрате калия примерно в 2 раза. Максимальную скорость горения имели составы с 25%-ным содержанием геля. Таблица 1 – Оптимизация составов по

силе света на основе ксерогеля МПФ, % ЖНС, % KNO₃/ NaNO₃ Сила света, кд 25 65 10 11225,57 12983,50 25 50 25 11251,15 15983,10 45 30 25 83835,12 138962,00 45 45 10 84769,40 126303,60 25 57,5 17,5 11216,56 12645,39 35 55 10 35014,85 65077,17 35 40 25 44694,39 79119,94 45 37,5 17,5 103564,70 153903,10 35 47,5 17,5 45513,08 66786,49 30 50 20 27444,11 25737,18 40 45 15 88476,85 173262,40

Экспериментально показано, что с увеличением содержания ЖНС в ксерогеле скорость горения составов увеличивалась. Оптимальное соотношение между ЖНС и нитратом составило 50:50, при этом скорость горения составов близка к штатным и составила 5-8 мм/сек. Изучив полученные экспериментальным путем данные, можно сделать следующие рекомендации по соотношению компонентов в составе: Нитрат натрия 17,5-20%; ЖНС 37,5-50%; Магний 35-45%. Высушенный гель, представляющий собой твердую трудно разрушаемую массу, перед введением в состав подвергался измельчению, что сопровождалось большими энергозатратами. Для облегчения процесса измельчения в гель вводились разрыхляющие добавки: сульфат кальция, карбонат кальция, карбонат стронция. Добавки вводились в состав в количестве 5% сверх 100%. Сушка гелей производилась в печи при температуре 80-90°C в течение 2,5 часов, после чего полученные ксерогели легко измельчались вручную. Введение данных технологических добавок способствовало снижению скорости горения составов с 6-11 мм/с до 4-6 мм/с. Сила света составов понижалась незначительно (на 10%), при этом удельная светосумма находилась на уровне штатного состава и составила 81 ккд*с/г. Из литературных источников известно, что ПАМ менее чувствителен в щелочной среде, на основании этого была произведена замена металлического горючего с МПФ на ПАМ. В качестве добавки был выбран сульфат кальция, на основании ранее полученных данных. Результаты эксперимента представлены в таблице 2. Таблица 2 – Сравнительные характеристики составов на отвержденном ксерогеле и штатных составов

Шифр состава	Содержание компонентов%	Скорость горения, мм/с	Сила света, кд	Уд светосумма, кд*с/г
ПАМ-3	35	2,79	75000	86000
Нитрат натрия	22,75	ЖНС 42,25		
Сульфат кальция	5	Ш-1 1,74	55088,24	88471,7
Ш-2	2,05	72816,79	106531	

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность использования ксерогеля кремнезема в качестве компонента пиротехнических составов. Особенность технологического процесса приготовления составов заключается в

переводе геля в ксерогель путем введения в ЖНС нитратов щелочных металлов, и использовании в качестве добавок, улучшающих технологические свойства гелей, карбонатов и сульфатов металлов, с дальнейшим измельчением ксерогеля и применением его в качестве компонента пиротехнического состава. Предложена рецептура пиротехнического состава на основе ксерогеля кремнезема. Применение ЖНС позволило существенно (до 40%) снизить содержание нитрата натрия и нитрата калия в составе. Изучено влияние добавок на скорость горения и светотехнические характеристики составов. Показано, что жидкое натриевое стекло является перспективным компонентом. По результатам исследования рекомендована следующая рецептура пиротехнического состава (% масс.): ПАМ-3 – 30-40% ЖНС – 35-45% Нитрат натрия – 20-25% Сульфат кальция – 5% Сравнение с характеристиками штатного состава показало, что светотехнические характеристики предложенного состава находятся на уровне штатного.