

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Часть 1 Краткая история японского фейерверка</b>	1
<b>Часть 2 Искусство фейерверков</b>	3
1. Составляющие искусства фейерверка	3
1.1. Природа в качестве фона	3
1.2. Элементы фейерверка	4
1.3. Схематический рисунок	6
1.4. Название фейерверка	12
2. Оформление фейерверка	16
2.1. Простота и понятность	16
2.2. Гармония и контраст	16
2.3. Нарушение гармонии	20
2.4. Напряжение и расслабление	21
2.5. Ритм и музыка фейерверка	22
3. Примеры удачных цветков в фейерверках	23
4. Примеры показов	27
<b>Часть 3 Наука фейерверка</b>	31
5. Термит и принципы горения	31
6. Воспламенение и энергия активации	32
6.1. Энергия активации	32
6.2. Воспламенение от теплового излучения	34
6.3. Воспламенение по теплопроводности	35
(1) использование черного пороха в качестве первичного состава	36
(2) использование красного термита в качестве первичного состава	36
6.4. Воспламенение механическим воздействием	37
7. Горение и взрыв	41
7.1. Процесс горения	41
7.2. Стабильность горения	44
7.3. Взрыв	49
7.4. Сила взрывчатых веществ	50
8. Зрение	51
8.1. Человеческое зрение	51
8.2. Яркость и цвет	53
9. Пламя	59
9.1. Низкотемпературное пламя	60
9.2. Высокотемпературное пламя	63
9.3. Химические реакции в пламени	64
9.5. Спектры пламени составов для фейерверка	65
(1) Спектр стронция	65
(2) Спектр бария	66

(3) Спектр кальция	67
(4) Спектр меди	67
(5) Спектр натрия	69
(6) Спектр $\text{VO}_2$	70
9.5. Регулирование цвета пламени	70
9.6. Нежелательные отклонения окраски пламени	71
(1) Нарушение окраски пламени окислителем и другими неорганическими веществами	72
(2) Нарушение окраски пламени топливом	72
10. Искры	74
10.1. Структура огненных частиц	74
10.2. Окраска пламени огненных лент	75
10.3. Распыление огненных частиц	75
10.4. Эффект Сенько-Ханаби (Senko-Hanabi) (Японские искристые свечи)	76
10.5. Различные варианты эффекта Сенько- Ханаби	82
10.6. Металлические искры	84
11. Дым	84
11.1. Принцип образования дыма	84
11.2. Физический дым	85
11.3. Химический дым	88
11.4. Нарушение окраски дыма	90
(1) Конденсация А-вещества	91
(2) Фильтрация А-вещества	91
(3) Разложение А-вещества	91
(4) Сгорание А-вещества	92
12. Звук или шум	93
<b>Часть 4 Пиротехника</b>	95
13. Материалы	95
13.1. Окислители	96
(1) Нитрат калия, $\text{KNO}_3$	96
(2) Хлорат калия, $\text{KClO}_3$	98
(3) Перхлорат калия, $\text{KClO}_4$	103
(4) Перхлорат аммония, $\text{NH}_4\text{ClO}_4$	106
13.2. Окислители окрашивающие пламя	110
(5) Нитрат стронция, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	110
(6) Нитрат натрия, $\text{NaNO}_3$	113
(7) Нитрат бария, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	114
(8) Хлорат бария, $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	116
13.3. Вещества окрашивающие пламя	116
(9) Карбонат стронция, $\text{SrCO}_3$	118
(10) Оксалат стронция, $\text{SrC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	119

## VIII

(11) Карбонат кальция (порошок мела, ) $\text{CaCO}_3$	120
(12) Оксалат натрия, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	121
(13) Карбонат натрия, $\text{Na}_2\text{CO}_3$	121
(14) Бикарбонат натрия, $\text{NaHCO}_3$	122
(15) Хлористый натрий, $\text{NaCl}$	122
(16) Карбонат бария, $\text{BaCO}_3$	123
(17) Ацетатоарсенит меди (парижская зелень), $3\text{CuO} \cdot \text{As}_2\text{O}_4 + \text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	124
(18) Арсенит меди, $\text{CuHAsO}_3$	125
(19) Сульфат меди, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	125
(20) Порошок меди, $\text{Cu}$	126
(21) Основной карбонат меди	126
13.4. Горючие вещества (топливо)	127
(22) Шеллак	127
(23) Канифоль (колофонская смола)	129
(24) Сосновый вар	131
(25) Янтарная пудра	132
(26) Акароидная смола (красная смола)	132
(27) Древесная пыль	132
(28) Древесный уголь	133
(29) Конопляный уголь	136
(30) Сажа (ламповая сажа)	137
(31) Алюминий, $\text{Al}$	137
(32) Магний, $\text{Mg}$	139
(33) Магналий	142
(34) Железные опилки, $\text{Fe}$	143
(35) Титан, $\text{Ti}$	144
(36) Кремний, $\text{Si}$	145
(37) Ферросилиций	145
(38) Цинковая пыль, $\text{Zn}$	146
(39) Крахмал, $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	147
(40) Молочный сахар, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O}$	147
(41) Тростниковый сахар, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	148
(42) Декстрин, $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \times \text{H}_2\text{O}$	148
(43) Сера, $\text{S}$	149
(44) Реальгар, $\text{As}_2\text{S}_2$	150
(45) Трисульфид сурьмы, $\text{Sb}_2\text{S}_3$	152
(46) Красный фосфор, $\text{P}$	153
13.5. Красители	156
(47) Родамин Б	157
(48) Паранитроанилиновый красный	158
(49) Жирорастворимый красный	158
(50) Жирорастворимый оранжевый	159
(51) Аурамин	160
(52) Жирорастворимый желтый	161

(53) Фталоцианиновый синий	162
(54) Индиго	163
13.6. Другие химические вещества	163
(55) Железный сурик, $Fe_2O_3$	163
(56) Свинцовый сурик, $Pb_3O_4$	164
(57) Оксид цинка, $ZnO$	164
(58) Дихромат калия (хромпик), $K_2Cr_2O_7$	165
(59) Борная кислота, $H_3BO_3$	167
(60) Бор, В	168
(61) Ультрамарин, $Na_2S_2 \cdot 3NaAlSiO_4$	169
(62) Хлорированный изопреновый каучук, Parlon (в США), ADEKA rubber (в Японии)	169
(63) Гексахлорэтан, перхлорэтан, $C_2Cl_6$	170
(64) Поливинилхлорид, ПВХ, $(CH_2CHCl)_n$	170
(65) Гексахлорбензол, ГХБ, $C_6H_6Cl_6$	172
(66) Антрацен, $C_{14}H_{10}$	172
(67) Нафталин, $C_{10}H_8$	173
(68) Пикриновая кислота (тринитрофенол), $C_6H_2(NO_3)_3OH$	173
(69) Галловая кислота, $C_6H_2(OH)_3COOH + H_2O$	174
(70) Нитрат гуанидина, $NHC(NH_2)_2HNO_3$	175
13.7. Клеи и связующие (цементаторы)	176
(71) Растворимый рисовый крахмал (Mizinko)	178
(72) Пшеничная мука	184
(73) Пшеничный крахмал	184
(74) Казеин	185
(75) Желатин	186
(76) Нитроцеллюлоза (нитроклетчатка)	186
(77) Полиэфиры (ненасыщенные полиэфиры)	188
13.8. Бумага	191
(78) Бумага Козо (Kozo-paper)	192
(79) Бумага Гампи (Gampi-paper)	193
(80) Бумага Митсумата (Mitsumata-paper)	194
(81) Бумага Тенгуджио (Tengujo-paper)	195
(82) Крафт-бумага	195
(83) Картон	195
(84) Другие виды бумаги	195
(85) Бумажные полусферы	196
13.9. Промышленные пиротехнические изделия	198
(86) Черный порох (дымный порох)	198
(87) Замедлители	200
13.10. Другие материалы	200
(88) Хлопковые и конопляные нити	200
(89) Семена хлопчатника	201
(90) Рисовая шелуха и незрелый рис	201

## Х

14.	Технологические процессы	202
14.1.	Подготовка компонентов	202
	(1) Процесс сухого смешивания материалов	203
	(2) Мокрый процесс смешивания материалов	206
14.2.	Формирование	207
	(1) Резанные звездки	208
	(2) Накатка звездок	211
	(3) Выдавливание звездок	215
	(4) Прессование звездок	216
14.3.	Загрузка составов	217
	(1) Загрузка порошкообразных составов	218
	а) Непрерывный процесс	218
	б) Ступенчатый процесс	218
	(2) Загрузка тестообразных составов	222
14.4.	Изменение объема заряженных составов	223
14.5.	Оклейка	224
	(1) Наклеивание порошкового состава на бумагу или ткань	225
	(2) Изготовление стопина	225
	(3) Изготовление запала	227
14.6.	Изготовление замедлителя	228
14.7.	Сушка	228
	(1) Сушка на солнце	228
	(2) Сушка инфракрасным излучением	231
	(3) Сушка теплым воздухом	232
	(4) Сушка горячей водой	233
	(5) Сушка с помощью вакуума или путем удаления влаги воздухом	234
15.	Составы и компоненты фейерверков	235
15.1.	Разрывной заряд	235
15.2.	Составы для звездок	243
	(1) Цветопламенные составы	243
	А) Низкотемпературные составы	244
	Б) Высокотемпературные составы	245
	В) Высокотемпературные составы с перхлоратом аммония	247
	(2) Серебристые составы	249
	(3) Составы огненных лент	250
	А) Металлические составы огненных лент	250
	Б) Угольные составы огненных лент	251
	В) Металло-пороховые составы огненных лент	251
	(4) Мерцающие составы	252
	(5) Осветительные звездки	255
	(6) Дымовые звездки	256

А) Составы дымовых звездок с красителем	256
Б) Составы дымовых звездок без красителя	258
15.3. Шумовые (свето-шумовые) сигналы	260
15.4. Свистки	262
15.5. «Пчелки»	263
15.6. «Кометы», «цветочные кометы»	264
15.7. Малые цветы	264
15.8. «Листопад»	267
15.9. «Куоку»	267
15.10. «Водопад»	266
16. «Хризантема» (Warimono)	267
16.1. Общее устройство зарядов «Хризантем»	267
16.2. Изготовление компонентов заряда	268
16.3. Сборка «Хризантемы»	272
16.4. Оклеивание оболочек	279
16.5. Стандартные размеры звездок для «Хризантем»	282
17. «Пока» (Рока)	282
17.1. Изготовление обычного заряда «Пока»	283
17.2. Сборка зарядов «Пока»	283
17.3. Оклейка сферических оболочек «Пока»	287
18. Другие сферические снаряды	289
18.1. Малые цветы	289
18.2. Малые цветы в оболочке «Хризантемы»	290
18.3. «Корончатая ива»	290
18.4. Трещащие звездки	290
18.5. «Лунная ива»	290
18.6. Огненный шар	291
19. Заряды итальянского типа	291
20. Куоку-до (Kuoku-do)	292
20.1. «Восходящий серебряный дракон (хвост)»	292
20.2. «Восходящий хвост тигра»	294
20.3. «Восходящие кометы»	294
20.4. «Букет малых цветов»	295
20.5. «Раскаты грома»	295
21. Композиции фейерверков	296
21.1. Фигуры из лансов (огненные рисунки)	296
21.2. Бураки (мины)	298
21.3. Римская свеча	299
21.4. «Золотая рыбка»	300
21.5. Огненное колесо («Саксон»)	301
21.6. «Водопад»	302
22. Пиротехнические игрушки	303
22.1. Специальные требования для пиротехнических игрушек	303

## **XII**

22.2. Составы и процесс изготовления пиротехнических игрушек	306
(1) Хлоратно - фосфорный состав	307
(2) Реальгар-хлоратный состав	309
(3) Состав «Фараонова змея»	310
(4) Другие составы для пиротехнических игрушек	312
22.3. Проектирование пиротехнических игрушек (матричный метод)	312
<b>Часть 5 Организация производства и показа фейерверков</b>	<b>318</b>
23. Принципы контроля безопасности	318
24. Проектирование фейерверков	319
24.1. В соответствии с принципом осторожности	319
24.2. В соответствии с принципом постоянства	324
24.3. В соответствии с принципом понятности	324
24.4. В соответствии с принципом простоты	325
24.5. В соответствии с принципом разделения и изоляции	326
25. Производство фейерверков	326
25.1. Сочетание процессов	326
25.2. Технологические схемы производства фейерверков	329
(1) Заряд «Хризантема»	329
(2) Заряд «Пока»	330
(3) Фигура из лансов	331
(4) Рождественская хлопушка (конусная хлопушка)	331
25.3. Применение принципов безопасности на производстве фейерверков	332
(1) Осторожность	332
(2) Постоянство	332
(3) Понятность	333
(4) Простота	334
(5) Разделение и изоляция	334
23.4. Применение принципов безопасности при эксплуатации оборудования	334
(1) Осторожность	334
(2) Постоянство	336
(3) Понятность	336
(4) Простота	336
(5) Разделение и изоляция	337
26. Показ фейерверков	337

26.1. Меры пожарной безопасности	337
26.2. Осечки	338
26.3. Подготовка к показу	341
26.4. Подготовка зарядов	342
26.5. Разделение труда	343
26.6. Пусковые операции	343
(1) Обычный запуск	343
(2) Быстрая стрельба	344
(3) Очистка мортир	346
26.7. Меры предосторожности, при нештатных ситуациях	346
26.8. Меры безопасности при показе других фейерверков	348
26.9. Особенности большого показа	348
26.10. Практические характеристики снарядов, влияющие на стрельбу	351
<b>Часть 6 Разное</b>	352
27. Чувствительность составов для фейерверков	352
28. Характер горения некоторых основных составов	356
29. Парашюты, флаги и воздушные шары	358
30. Разные составы	361



## ТАБЛИЦЫ

Таблица 1.	Классификация источников света в фейерверке.	5
Таблица 2.	Стандартные диаметры круглых цветов	9
Таблица 3.	Экспериментальные значения критической скорости ветра.	46
Таблица 4.	Скорость детонации для некоторых составов.	50
Таблица 5.	Температура пламени составов с различными видами топлива.	62
Таблица 6.	Характеристики распространенных пирогенов.	87
Таблица 7.	Пределы содержания хлората калия в составах цветных дымов.	92
Таблица 8.	Интенсивность звука шумовых сигналов у земли.	94
Таблица 9.	Интенсивность звука шумовых сигналов в воздухе.	94
Таблица 10.	Сравнительные характеристики шеллака и акароидной смолы, в составах.	132
Таблица 11.	Устойчивость защитных покрытий магния против различных химических веществ.	141
Таблица 12.	Сравнение устойчивости алюминия, магния и магналия к воздействию солей.	143
Таблица 13.	Серия качественных тестов смесей красного фосфора и окислителя для определения чувствительности к удару и трению с помощью молотка и наковальни из разных металлов.	155
Таблица 14.	Сравнение защитного эффекта слабых кислот на разложения алюминиевой пудры, во влажных составах.	167
Таблица 15.	Сравнение характеристик водорастворимых связующих в звездках, объемом 10 мм <sup>3</sup> .	177
Таблица 16.	Влияние химических веществ на вязкость растворимого рисового крахмала.	180
Таблица 17.	Сферические оболочки из разных сортов бумаги.	197
Таблица 18.	Применения методов сушки.	234
Таблица 19.	Характеристики разрывных зарядов для «Хризантем».	239
Таблица 20.	Чувствительность разрывных зарядов.	240

Таблица 21.	Оптимальное соотношение веса разрывного заряда по отношению к весу ядер.	242
Таблица 22.	Составы мерцающих звездок на основе перхлората аммония.	254
Таблица 23.	Стандартные размеры звездок для зарядов «Хризантем».	282
Таблица 24.	Количество разрывного заряда в стандартных оболочках «Пока».	288
Таблица 25.	Примеры пиротехнических игрушек, встречающихся в продаже.	316
Таблица 26.	Величина заряда статического электричества, вызываемого трением материала А о В.	335
Таблица 27.	Практические характеристики зарядов на показе (Осака, 1975).	351
Таблица 28.	Классификация чувствительности основных двухкомпонентных составов.	352
Таблица 29.	Результаты испытаний составов на чувствительность к удару, падением молотка, весом 2 кг, с высоты 50 см.	354
Таблица 30.	Результаты испытаний составов на чувствительность к трению, машиной Yamada, с нагрузкой в 50 кг.	355
ЛИТЕРАТУРА		364
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ		366
ПРИЛОЖЕНИЕ I	Стабильность составов для фейерверка.	374
ПРИЛОЖЕНИЕ II	Механизм образования цветного пламени в нитратных составах, без магния.	382
ПРИЛОЖЕНИЕ III	Фейерверки на фестивале PL.	393
ПРИЛОЖЕНИЕ IV	Исследование японского эффекта Сенько-Ханаби.	407