

Глава 6. Замедлительные составы

Замедлительными составами называют пиротехнические смеси, предназначенные для снаряжения дистанционных трубок, запалов, огнепроводных шнуров. Сгорая с постоянной скоростью, они обеспечивают временную задержку в срабатывании боеприпаса, пиротехнического изделия или какого-либо элемента автоматики. В англоязычной литературе обозначаются как «delay compositions».

Различают:

- замедлительные составы, образующие при сгорании газы;
- малогазовые (безгазовые) замедлительные составы (МГС).

С появлением черного пороха, первых пороховых бомб, гранат и ракет возникла необходимость обеспечения задержки срабатывания этих изделий. Задержка была необходима для того, чтобы успеть удалиться на безопасное расстояние, метнуть изделие в сторону противника либо осуществить подрыв заряда в нужный момент. Для обеспечения продолжительной задержки использовались простейшие фитили – куски бечевки, пропитанные раствором калиевой селитры. Такой фитиль горел со скоростью 1-2 см/мин, был ненадежен в сырую погоду. В гранатах и бомбах использовали трубки, набитые дымным порохом – прообразы современных огнепроводных шнуров. А в увеселительных целях для воспламенения пиротехнических изделий использовались и до сих пор используются стопины – быстрогорящие огнепроводные шнуры.

Дымный порох в качестве замедлителя имеет как определенные преимущества, так и недостатки. Он сочетает хорошую технологичность, повторяемость свойств от партии к партии, легкость в воспламенении, доступность компонентов. В то же время его существенными недостатками являются гигроскопичность и образование при сгорании значительного количества газов. Образование газов приводит к установлению сильной зависимости скорости горения от давления, что вынуждает использовать открытые замедлительные узлы для удаления газообразных продуктов сгорания. Вращение снарядов при полете также приводит к неустойчивости горения и требует огромных экспериментальных работ по подгонке свойств замедлителей для каждого конкретного случая [2].

Впрочем, ввиду отсутствия реальной альтернативы дымному пороху, с его недостатками долгое время мирились, и лишь после Первой мировой войны (середина 20-х годов 20 века) в Германии и Англии начались работы по созданию малогазовых замедлительных составов (в США – в 1926 г.).

В 1930 г. немцы предложили свой первый малогазовый состав на основе перманганата калия и железа [90]. С начала 30-х годов 20 века немцы начали снаряжать свои пиротехнические замедлители малогазовой смесью перманганата калия и сурьмы, преимущественно в соотношении 64/36. В конце Второй мировой войны во многих германских боеприпасах вошли в обиход смеси свинцового сурика и кремния, связанные нитроцеллюлозой в соотношении 72,0/25,3/2,7, и т.н. «смесь 121», состоящая из 50% хромата свинца, 25% перхлората калия, 25% кремния и 0,8% нитроцеллюлозы (сверх 100%) [3].

Примечание.

В отношении малогазовых замедлительных смесей распространен также термин «безгазовые» составы. Действительно, при составлении теоретического уравнения процесса сгорания таких составов продуктами горения являются лишь конденсированные вещества. В реальных же условиях в определенном количестве выделяются пары металлов, окислов, адсорбированные в компонентах газы и др. В качестве вспомогательных компонентов применяются органические вещества, дающие при сгорании газообразные продукты. Поэтому более правильным было бы называть эти составы малогазовыми, нежели безгазовыми.

Первый американский малогазовый состав появился в 1931 г., он состоял из 84% свинцового сурика, 15% кремния и 1% глицерина. Смесь сгорала достаточно быстро, поэтому вскоре (в 1932 г.) был разработан медленногорящий состав из 89% хромата свинца, 10% кремния и 1% олифы, который довольно успешно использовался в замедлителях авиабомб времен Второй мировой войны [2, 4]. В американском патенте [68] также предложен быстрогорящий вариант, содержащий 44% оксида свинца, 16% ферросилиция, 39% хромата свинца и 1% олифы.

В 1934 г. в США была запатентована замедлительная смесь на основе перекиси бария и халькогенидов (селена и теллура), которая до сих пор используется в коммерческих электродетонаторах.

Японцы начали работы по малогазовым смесям в 1937 г., учитывая достижения американцев. Первые японские малогазовые составы, испытанные в 1943 г., содержали перекись бария и горючее (серу или селен). Составы с перекисью бария оказались не слишком удачными для использования в нарезной артиллерии, т.к. давали большой разброс замедления из-за образования при горении жидких шлаков. Вдобавок эти составы плохо хранились во влажной атмосфере. Наиболее удачной следует признать японскую смесь «П-4» для снаряжения артиллерийских взрывателей «тип 3», содержащую 10% свинцового сурика, 20% кремния, 60% хромата свинца и 10% фосфида меди, покрытого каучуком. Также в 1944 г. японцы скопировали ряд американских смесей на основе свинцового сурика, ферросилиция и хромата свинца. При соотношении этих компонентов, как 25/25/50, скорость горения составляла 3-4 мм/сек [79]. При соотношении 16/38/46 скорость горения составляла 4,5 мм/сек. Последняя рецептура была внедрена незадолго до окончания Второй мировой для снаряжения взрывателей «Тип АА» и в 5-секундных взрывателей для глубинных бомб.

В СССР на малогазовые замедлительные композиции обратили внимание в середине 30-х годов 20 века. Первый отечественный малогазовый состав марки «БЛ» был разработан Ф.А. Баумом и Н.А. Левковичем в Артиллерийской академии им. Ф.Э. Дзержинского. Он содержал свинцовый сурик, ферросилиций и сплав FeSiCrAl с добавкой небольшого кол-ва нитроцеллюлозы в качестве связующего. В ходе испытаний выявился существенный недостаток новой смеси – повышенная зависимость скорости горения от начальной температуры. Разница во времени замедления в зимних и летних условиях составила порядка 10 сек., что

было совершенно недопустимым. Поэтому вместо «БЛ» в 1942 г. на вооружение был принят малогазовый состав «МК», разработанный в 1937-1940 гг. Р.В. Мусселиусом и С.Н. Королевым, а также очень похожий «высотный» состав «19Ц» (авторы Ф.А. Баум, Н.А. Левкович, В.А. Ждановский). «МК» широко использовали в армии и на флоте во взрывателях МГ-8, К-3 и АВ-1, тогда как «19Ц» нашел применение в зенитной артиллерии из-за способности устойчиво сгорать на высоте, превышающей 10-11 км. Состав «МК» оказался настолько удачным, что еще довольно долго находился на вооружении Советской Армии и армий стран Восточной Европы [10].

Хотя американцы являются пионерами в разработке малогазовых композиций, усиленно заниматься малогазовыми составами они начали только с 1942 г. В эти годы была создана композиция из 74-77% хромата бария, 20-22% марганца и 3-4% серы (из-за плохой термостойкости впоследствии замененная другими составами) [4]. По контракту с ВМС США разрабатывалась известная впоследствии смесь циркония, никеля, хромата бария и перхлората калия.

Переоснащение армий замедлителями на основе малогазовых составов проходило достаточно вяло; таким образом, в начале Второй мировой войны в большинстве стран продолжали применять черный порох.

В послевоенное время нашли применение в качестве горючего ранее мало-доступные бор и вольфрам, а смесь порошков циркония и никеля заменили более дешевым и безопасным сплавом этих металлов.

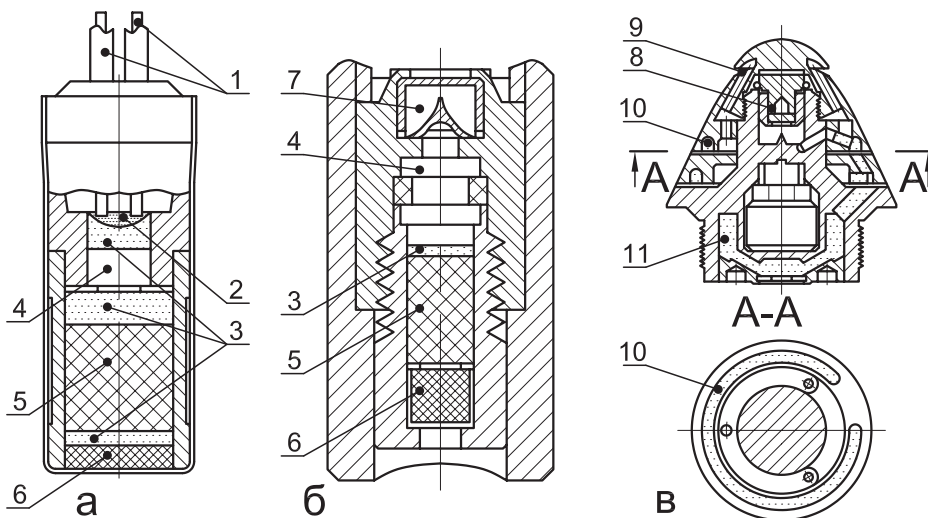


Рис. 6.1. Схемы основных типов замедлительных устройств [2].

а) – герметичный электродетонатор замедленного действия Mk-148, б) – герметичная цепь замедления T2E1, в) – кольцевой замедлитель открытого типа (артиллерийский воспламенитель);

1 – электрические провода, 2 – мостик накаливания, покрытый теплочувствительным составом, 3 – воспламенительный состав, 4 – расширительная камера, 5 – малогазовый замедлительный состав, 6 – инициирующее ВВ, 7 – ударный капсюль-воспламенитель, 8 – накольный капсюль-воспламенитель, 9 – выхлопные отверстия, 10 – замедлительные элементы из черного пороха, 11 – навеска черного пороха.

В отечественных композициях используются наиболее дешевые и доступные горючие – сера, сульфиды сурьмы, ферросилиций, ферросиликохром, кремний и т.п. [57, 74].

В качестве добавок малогазовые составы могут содержать замедлители и стабилизаторы горения (гексафторсиликат бария, криолит, диатомит), агенты, снижающие восприимчивость к механическим воздействиям (дисульфид молибдена), связующие (нитроцеллюлоза, фторкаучук).

Для расширения температурных диапазонов устойчивого горения в состав часто добавляют небольшое количество дополнительного окислителя типа перхлората калия [5].

К настоящему времени большинство перечисленных композиций осталось в употреблении в несколько модифицированном виде, в некоторых случаях токсичный хромат свинца был заменен хроматом висмута.

Такие связующие, как нитроцеллюлоза, обладают полезным свойством уменьшать температуру воспламенения малогазовых смесей. Так, например, добавка всего 3% нитроцеллюлозы к смеси 30% ферросиликохрома и 70% свинцового сурика снижает температуру вспышки с 597 до 357°C [6].

Многие замедлительные составы недостаточно восприимчивы к первичным средствам воспламенения типа капсуля-воспламенителя и надежно воспламеняются лишь от специальных воспламенительных малогазовых смесей. В целях повышения надежности срабатывания замедлительной цепи, по возможности лучше использовать самые легковоспламеняющиеся составы.

Сами замедлители могут быть как открытыми (с возможностью истечения газообразных продуктов сгорания в атмосферу), так и закрытыми (герметичными). Естественно, герметичным отдается предпочтение.

Хотя существует большое количество смесей, при сгорании не образующих газов, в действительности лишь немногие из них могут быть использованы в качестве замедлителей из-за следующих требований [1]:

- стабильное, не прерывистое горение;
- способность сгорать в сравнительно небольших диаметрах;
- малая зависимость скорости горения от температуры (небольшой температурный коэффициент);
- устойчивость горения при низких температурах;
- отсутствие гигроскопичности;
- возможность продолжительного хранения с минимальными отклонениями параметров;
- доступность компонентов;
- малая зависимость скорости горения от давления;
- безотказность срабатывания в разреженной атмосфере;
- образование твердых, нетекучих шлаков (требование для замедлителей в нарезной артиллерии).

Особенностью малогазовых замедлительных композиций является наличие в их составе сравнительно малоактивных окислителей и горючих, поэтому энергетика и температура горения в них сравнительно невелики. Низкая температура способствует уменьшению количества выделяющихся при сгорании газообразных продуктов. Как правило, при сгорании 1 г малогазового замедлительного состава выделяется 5-10 мл газообразных веществ, которые могут влиять на время замедления. Поэтому в герметичных замедлителях всегда присутствует небольшая расширительная камера, компенсирующая влияние выделяющихся газов на процесс горения состава [70].

Характеристики малогазовых составов:

- *Скорость горения* – отношение длины столбика замедлительного состава к времени, за которое он сгорает. В зарубежной литературе пользуются обратной величиной – т.н. «временем горения». На скорость горения в большой степени оказывают влияние: размер частиц компонентов, количество примесей, точность отмеривания компонентов, степень запрессовки и диаметр замедлительной трубки, в которую запрессован состав. Все эти параметры должны воспроизводиться с очень большой точностью, чтобы минимизировать отклонения в параметрах от партии к партии. Изготовление замедлительных смесей и самих замедлительных устройств требует самой высокой культуры производства в военной пиротехнической отрасли.

Обычно замедлительные составы различаются по скорости (времени) горения на быстрогорящие, составы со средней скоростью горения и медленногорящие (Табл. 6.1). Применяющиеся на практике замедлительные смеси имеют скорость горения 0,6-2500 мм/сек. Существуют практические ограничения на размеры столбика замедлителя, поэтому хорошо воспроизводимых результатов можно добиться для диапазона замедления от 5 мс до 5 минут. При необходимости микросекундной задержки используют смеси на основе инициирующих ВВ в комбинации с активными пиротехническими компонентами, например, можно указать на смесь циркония, свинцового сурика и азида серебра [5, 96]. Задержки более 5 минут создаются за счет замедлительных устройств, основанных на других физических и химических принципах [5]. На Рис. 6.2 и Рис. 6.3 показан характер изменения скорости горения газообразующих смесей, по сравнению с малогазовыми, в зависимости от содержания окислителя.

Табл. 6.1. Замедлительные составы по времени задержки в изделиях [1]

Составы по времени задержки	Скорость горения, мм/сек	Примеры составов
миллисекунды	более 30-50	PbO_2/Zr , PbO_2/Si , $KClO_4/Mo$, $BaCrO_4/PbO_2/B$, $Pb_3O_4/Fe-Si-Cr$, $PbO_2/Fe-Si-Cr$, CuO/Si , $Pb_3O_4/Ca-Si$, $Pb_3O_4/Fe-Si$
несколько секунд	3-30	черный порох, BaO_2/Se , $KMnO_4/Fe$, $KMnO_4/Sb$, $BaCrO_4/B$, $BaCrO_4/PbCrO_4/Mn$, $BaCrO_4/KClO_4/сплав\ Zr-Ni$, Pb_3O_4/Si
десятки и сотни секунд	менее 2-3	$BaCrO_4/KClO_4/W/диатомит$, $BaCrO_4/KClO_4/Sb_2S_3/НЦ$, $PbCrO_4/Fe-Si/Sb_2S_3/НЦ$

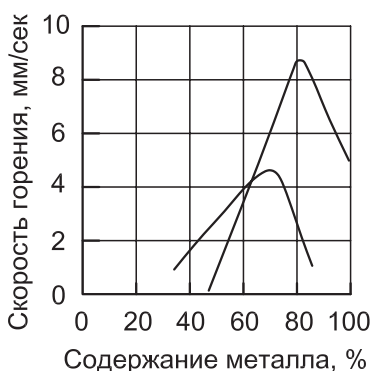


Рис. 6.2. Зависимость скоростей горения смесей разных металлов с нитратом калия от содержания металла в смеси [6].

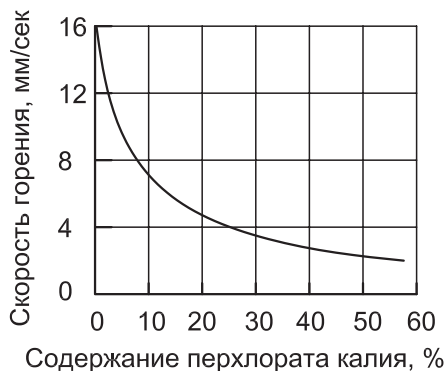


Рис. 6.3. Зависимость скорости горения смеси 40% ферросилиция + 60% хромата свинца от содержания в ней окислителя – ПХК [6].

- *Критический диаметр горения* – это минимальный диаметр столбика пиротехнического состава, в котором не происходит затухания при сгорании замедлительной смеси. Существование критического диаметра обусловлено теплоотдачей в окружающую среду, или точнее – на стенки трубки, в которую запрессован замедлительный состав. Если теплоотдача превышает энергию, которую необходимо затратить на воспламенение последующих слоев смеси, то состав попросту перестает гореть. Следовательно, критический диаметр будет зависеть от коэффициентов теплопроводности и теплоемкости материала корпуса, куда запрессован заряд. Соответственно, чем больше скорость горения состава, тем, в общем случае, будет меньше критический диаметр, т.к. тепло не будет успевать передаваться стенкам корпуса. Критический диаметр горения изменяется от 2,5 мм для смесей KMnO_4/Sb до >5 мм для смеси 20% ферросилиция, 30% PbCrO_4 и 50% KClO_4 [6].
- Другой важной характеристикой замедлительных составов является *температурный коэффициент*. Он показывает, на сколько возрастает скорость горения в процентах при увеличении температуры на 1 градус. Это весьма важный параметр, в конечном счете определяющий, насколько задержка срабатывания боеприпаса будет отличаться в условиях пониженной и повышенной температуры окружающей среды. Для большинства смесей он составляет доли процента на 1 градус. В массовых американских изделиях с временем замедления до 20 сек. разброс срабатывания составляет как минимум $\pm 12\%$ при изменении температуры от -65F до 165F (от -54°C до +74°C). Для больших времен замедления или использования замедлителей в неблагоприятных условиях температурный разброс срабатывания может составлять до $\pm 30\%$ [70]. Температурный разброс современных отечественных изделий составляет 10-11,5% для быстрогорящих составов и 11,7-19% для медленногорящих (в диапазоне температур $\pm 60^\circ\text{C}$) [94].

6.1. Замедлительные составы, выделяющие при сгорании газы

В настоящее время газообразующие замедлительные составы служат для изготовления массовых дешевых средств замедления типа огнепроводных шнуров, когда необходима продолжительная задержка с возможностью её оперативного регулирования путем изменения длины этого самого шнура. Горение этих составов более восприимчиво к внешним условиям, поэтому газообразующие замедлительные композиции используют, когда нет нужды в особой точности временной задержки [1].

С древних времен вплоть до начала Второй мировой войны практически единственным замедлительным составом был трубочный дымный порох. По сути, он ничем не отличался от обычного дымного пороха, имел тот же самый состав и ту же самую технологию изготовления. Однако измельчение компонентов проводили более тщательно, а также использовались компоненты более высокой чистоты. С начала 20 века, в связи с резким повышением дальности артиллерии, вызванного принятием на вооружение бездымных порохов, оказалось, что скорость горения обычных трубочных порохов в штатных дистанционных трубках слишком велика. Понижения скорости горения до 5-7 мм/сек (у обычных трубочных порохов – 8-10 мм/сек) удалось добиться за счет введения связующих (шеллак, канифоль, парафин) или наполнителей (1-6% сульфата бария). Такие пороха получили название «медленногорящие трубочные пороха» (МГП). Стоит отметить, что порох с добавкой 2% шеллака завозился в Россию из Франции с 1909 г. и до конца Первой мировой войны: отечественным специалистам так и не удалось наладить производство отечественного аналога.

После войны был создан отечественный МГП марки «О», содержащий 1,5% канифоли. Дальнейшие попытки снизить горение трубочных порохов путем наращивания количества связующего не привели к успеху, т.к. при этом резко падала стабильность горения и наблюдались затухания. Вторым, как оказалось, более эффективным способом снижения скорости горения пороха стало использование специальных сортов древесного угля с пониженным содержанием углерода [69]. Таким образом, в 1938-39 гг. в СССР был разработан МГП марки «Кр-75», уже в 1940 г. принятый на вооружение. Он состоял из 75% калиевой селитры, 10,1% серы, 10,9% угля из крушины с содержанием углерода 60% и 4% угля из коры ивы с содержанием углерода 72%. В дистанционной трубке Т-3 (УГ) МГП «Кр-75» давал замедление, равное 75 сек. Также он использовался во взрывателях Т-5 и Д-1.

В Японии с 1920-х годов применялся трубочный порох «Мк3» с добавкой шеллака: 75% нитрата калия, 14,5% древесного угля, 10% серы и 0,5% шеллака. С 1943 г. для снаряжения взрывателей «тип 89 АА» использовали МГП с повышенным содержанием серы: 55% калиевой селитры, 15% древесного угля и 30% серы. Скорость горения Мк3 и Мк4 в диапазоне давлений 300-760 мм рт. ст. составляла 5-10 и 2,9-3,3 мм/сек, соответственно [79].

Трубочные пороха плохо подходят для применения в снарядах высокобойной артиллерии: уже на высотах 5–6 км наблюдаются частые отказы в виде затухания. Специальной конструкцией взрывателя (например, взрыватель Т-3) можно увеличить порог по высоте до 7,5 км, но реальным решением этой проблемы является только переход к малогазовым составам [10].

Газовые составы в значительной степени вытеснены МГС, однако производство трубочных порохов в ряде стран не остановлено, более того, выпускаются несколько марок порохов этого типа.

Хотя среди газовых замедлительных составов на практике обычно применяется дымный порох, существуют и исключения. Многие английские замедлители снаряжались смесями на основе тетранитрокарбазола или тетранитрооксанилида в паре с окислителем. В частности, композиция SR-74 содержит 60% нитрата бария и 40% тетранитрооксанилида [11].

Также известны другие устаревшие композиции: SR-214 (60% нитрата калия и 40% лактозы) [12], RM1A1 (76% нитрата калия, 10% серы и 14% синтетической смолы DDP 5081) [13] и RD202 для кольцевых замедлителей: ПХА – 74,2%, древесный уголь – 23%, крахмал – 2,8%.

Не так давно французский концерн GIAT предложил [39] медленногорящие замедлительные смеси на основе перхлората аммония и антрацена. Например, смесь 88% ПХА, 7% антрацена и 5% воска, запрессованная в 3,1 мм трубку имеет скорость горения 0,94–0,97 мм/с в диапазоне температур от –32 до +44°C.

Китайские огнепроводные шнуры «зеленый виско», использующиеся в развлекательной пиротехнике, содержат смесь перхлората и терефталата калия с добавкой графита.

Для передачи огневого импульса в некоторых фейерверочных изделиях и в пировавтоматике требуются быстрогорящие огнепроводные шнуры.

В России широко используется композиция, содержащая 55–80% титана, 24–42% перхлората калия и модификаторы – целлюлоза, метилцеллюлоза, каучук СКН-40НХ. В ПВХ оболочке скорость горения состава достигает 5 м/с [75, 76, 77].

В [78] предложены эластичные шнуры на основе металлических горючих и фторкаучуков со скоростями горения 10–100 мм/сек.

В Российском патенте [40] предложен быстрогорящий эластичный пиротехнический материал для передачи огневого импульса, он может содержать: перхлорат калия – 12%, хромат бария – 48%, титан – 32%, фторопласт – 5%, асбест – 3%. Скорость горения – 3–4 м/с, газовыделение – 40–50 см³/г, теплота сгорания – 3,77 МДж/кг.

Для инициирования пожаротушащих аэрозольных генераторов применяются гибкие безоболоченные шнуры с профильным каналом, изготавливаемые методом экструзии. Такие шнуры обычно базируются на основе нитроцеллюлозы, пластифицированной энергонасыщенным пластификатором – нитроэфиром или 2,4-диазидо-6-азидоэтоксимметричным триазином (вещество «МАДА»), и сгорают в беспламенном режиме. Благодаря низкой температуре воспламенения эти шнуры также служат теплочувствительными датчиками пожара [76, 77].

6.2. Малогазовые составы, обеспечивающие миллисекундную задержку

Наиболее универсальные и известные малогазовые составы для миллисекундной задержки в большинстве стран обычно базируются на смеси циркония или кремния с оксидами свинца. Наилучшими свойствами обладает смесь 28% циркония и 72% двуокиси свинца со скоростью горения около 500 мм/сек [2]. В странах Восточной Европы используется смесь 40% циркония и 60% двуокиси свинца, ее скорость горения – 400 мм/сек. Эта же композиция с добавкой 1-3% нитроцеллюлозы (сверх 100%) выполняет функцию воспламенителя для малогазовых составов [6]. Порошкообразный цирконий способствует легкости воспламенения, однако он весьма чувствителен к статическому электричеству и опасен в обращении. По этой причине в массовых изделиях с миллисекундной задержкой применяется сплав железа, кремния и хрома (ферросиликохром), а также сплав железа, кремния и циркония (ферросиликоцирконий). В качестве окислителя обычно используется свинцовый сурик или двуокись свинца. Для уменьшения скорости горения в состав может вводиться до 10% двуокиси титана [6, 97].

Американские замедлительные элементы T2E1 с задержкой 0,01 и 0,025 сек. базировались на смеси циркония и оксида железа, тогда как времена задержки в 0,12 и 0,24 сек. обеспечиваются составом цирконий/хромат бария [70].

В США и Англии также находят применение быстрогорящие смеси перхлората калия с молибденом. В неуплотненном состоянии они сгорают довольно активно с выбросом раскаленного шлака. Для замедления горения молибденовые композиции могут содержать хромат бария и до 5% диатомита [1, 7].

Табл. 6.2. Миллисекундные композиции

Состав:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
свинцовый сурик - Pb ₃ O ₄	50	85	-	-	-	-	-	70	54	-	-	-	-	-	-	50	-	85	-
двуокись свинца - PbO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-
окись висмута - Bi ₂ O ₃	-	-	-	67	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	50
окись меди - CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	80	-	-	-	-
перхлорат калия - KClO ₄	-	-	4	-	20	11	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
перекись бария - BaO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-
хромат бария - BaCrO ₄	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	79	-	-	-	-	-	-	-
сульфат бария - BaSO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
окись железа III - Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-
молибден - Mo	-	-	-	-	80	89	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
кремний - Si	45	-	-	28	-	-	-	-	7	-	-	-	50	12	20	-	-	-	-
аморфный бор - B	-	5	-	-	-	-	-	-	-	10	25	-	-	-	-	-	-	10	-
цирконий - Zr	-	9	-	5	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-
вольфрам - W	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ферросиликохром	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	50	60	-	-
ферросиликоцирконий	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50
титан - Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
прочее *	5	1	16	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1	2	-
скорость гор. мм/сек	65	-	90	76	2540	635	254	100	45	-	34,5	-	-	-	-	-	-	-	-

1. Согласно чешскому патенту, состав содержит смесь оксидов свинца и до 20% криолита для регулировки скорости горения: * – криолит [41].
2. Немецкий состав: * – аэросил. Температура вспышки – 180°C. 50 мг образец обеспечивает задержку, в среднем, в 8 мс в 3 мм трубке [42].
3. Французский состав, для применения в шахтах, опасных по газу: * – марганец [43].
4. Малотоксичный шведский состав фирмы Nitro Nobel AB [44].
- 5 – 7. Американские составы [7].
8. Состав, применяющийся в странах бывшего Варшавского договора [6].
9. Состав по патенту WO2008035289 (2008 г): * – ПАВ Acrinol 296D [45].
10. Английский состав SR-57 [14].
11. Австралийский состав для 0,2 сек замедлителя [15].
12. Американский состав DP-162 для замедлителя T2E1 [16]. Параметры подобных смесей с цирконием описаны в [27].
- 13 – 17. Отечественные составы для снаряжения ЭД замедленного действия [72, 73].
18. Отечественный термостойкий состав СТВ-3: * – лак СКФ-260 [87, 88].
19. Современный чешский экологичный состав для неэлектрических КД [93].

Достаточно интересными быстрогорящими замедлителями являются биметаллические проволоки, объединенные названием «Pyrofuse». Первый патент на подобные изделия был получен в США в 1958 г. [67]. Pyrofuse состоят из алюминиевой сердцевинки и оболочки, выполненной либо из никеля, либо из сплава палладия с добавкой 2% рутения. При их термическом или электрическом инициировании возникает быстрая тепловая реакция с выделением разогретых до 2800°C интерметаллических продуктов. Биметаллические проволоки используются в особенно ответственных замедлительных системах, работающих в условиях вакуума или широкого температурного диапазона. Они обеспечивают высокую точность задержки с чрезвычайно малой зависимостью скорости горения от температуры. Проволочки выпускаются диаметром 0,0015-0,02 дюйма (0,0381 – 0,508 мм). Скорость горения в зависимости от используемых материалов составляет 240 – 542 мм/сек [7].

6.3. Малогазовые составы, обеспечивающие задержку в единицы секунд

Можно выделить следующие виды составов, обеспечивающих задержку в несколько секунд:

- *Свинцовый сурик/кремний.* Достаточно недорогие, устойчивые при хранении смеси, разработанные перед Второй мировой войной. В ответственных изделиях не применяются из-за пониженной надежности, вызванной склонностью к образованию пузырей паров металлического свинца при сгорании в длинных каналах [4, 16]. Хорошо совместимы со смесями хромат бария/бор и могут служить воспламенителями для этих композиций. Плотность снаряжения 2,8-3,8 г/см³. Скорость горения в среднем составляет около 16 мм/сек. Для замедления горения могут содержать до 7% диатомита. Исследование процесса сгорания смесей Pb_3O_4/Si опубликовано в [17]. Составы $Pb_3O_4/Si/Sb_2S_3$ используются в Китае для миллисекундной задержки [95].
- *Селен/перекись бария.* Замедлительные смеси с селеном были разработаны в США еще до Второй мировой войны и довольно широко применялись до

1970 гг. 20 века. Например, известна композиция из 84% перекиси бария, 16% селена и 0,5% талька (сверх 100%) со скоростью горения 11 мм/сек при плотности 4,4 г/см³ [8]. Плохо хранятся в присутствии влаги и при сгорании образуют легкоплавкие шлаки, поэтому в настоящее время используются лишь в коммерческих КД американского производства. Замедлительные композиции с другим халькогенидом – теллуром – были запатентованы [46], но в массовых изделиях, похоже, не применялись. Селен и теллур могут быть как горючими, так и окислителями (в смеси с металлом), что использовалось в специальных воспламенительных смесях [2].

- **Хромат бария/бор (Т-10).** Наиболее устойчивые при хранении малогазовые составы. Количество бора в реально используемых смесях составляет 3-15%, а скорость горения изменяется в пределах 3,2-70 мм/сек. Мало чувствительны к удару и детонации. Легко воспламеняются. Их компоненты доступны, а технология производства достаточно проста. Многими специалистами смеси хромат бария/бор считаются лучшим выбором для замедлителей с задержкой в несколько секунд. Из недостатков следует отметить повышенную чувствительность к трению и статическому электричеству, а также необходимость тщательной сушки и герметизации изделий из-за способности аморфного бора к окислению во влажном воздухе. Смеси с кристаллической модификацией бора горят в несколько раз медленнее, чем с аморфной. Известны подобные композиции с добавкой окиси хрома. Однако, в связи с большой зависимостью скорости горения от изменения процентного соотношения компонентов состава, смеси с окисью хрома так и не получили широкого распространения [8].
- **Марганец/хромат бария/хромат свинца (D-16).** Были разработаны сразу после Второй мировой войны в США. Смеси марганец/хромат бария/хромат свинца, известные как D-16, очень надежные, дешевые композиции, не слишком чувствительные к тонкостям производства. Единственным существенным их недостатком является необходимость использования герметичных корпусов и тщательной сушки, т.к. под воздействием влаги происходит довольно быстрая коррозия содержащегося в смеси марганца, ведущая к изменению параметров сгорания смеси. При этом предварительная пассивация марганца, по-видимому, не может полностью устранить этот эффект. Скорость горения находится в пределах 1,85-12,5 мм/сек [8, 16, 95].

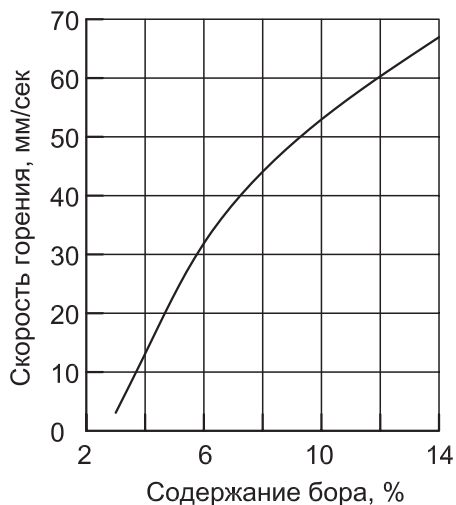


Рис. 6.4. Скорость горения смесей хромат бария + бор в зависимости от содержания бора [18].

- *Сплав цирконий-никель/перхлорат калия/хромат бария (Z-1)*. Смеси сплава цирконий-никель/хромат бария обладают широким диапазоном скоростей горения, кроме того, они отлично хранятся, легко воспламеняются, обладают низкой чувствительностью к механическим воздействиям и выделяют наименьшее кол-во газов среди всех известных малогазовых составов. Наилучшие свойства этих смесей проявляются при замедлении в несколько секунд. Широко используются в различных изделиях производства США, например, в запалах ручных гранат. Первые составы с никелем, разработанные к концу Второй мировой войны в США, содержали отдельно приготовленные порошки никеля и циркония. Однако порошок циркония опасен в обращении и чувствителен к статическому электричеству, а порошок никеля производился весьма дорогим методом испарения ртутной амальгамы. Применение сплава этих металлов в начале 50-х годов 20 века позволило решить эти проблемы [8, 16]. По стандарту США MIL-D-85855(AS) от 1990 г., эти композиции называются Z-1, они содержат 60% хромата бария, 14% перхлората калия, остальное – сплавы цирконий-никель 70/30 и 30/70 в различных соотношениях [19].
- *Молибден/перхлорат калия/хромат бария*. Смеси с широким диапазоном времени замедления от миллисекунд до десятков секунд. Однако в силу ряда причин молибдену отдают предпочтение в составах с миллисекундным временем замедления. Параметры горения составов с молибденом описаны в [4, 20, 21, 95].
- *Сурьма/перманганат калия*. Эта смесь, в соотношении 36/64, была разработана в начале 30-х годов 20 века и широко использовалась в немецких 4- и 7-секундных замедлителях времен Второй мировой войны. Регулировка скорости горения производилась путем изменения дисперсности компонентов. Также находили применение медленногорящая композиция 70/30 и быстрогорящая 46/54 [3]. Композиции на основе перманганата калия и сурьмы отличаются довольно низкой стабильностью при хранении и нагревании, однако благодаря доступности и легкой воспламеняемости к этим составам все еще проявляется интерес со стороны горной промышленности. Так, например, в патенте [47] для замедлителей со временем задержки более 150 мс предложена смесь 33-45% сурьмы, 55-65% перманганата калия и 0,1-2,0% кремния. Смесь 60% перманганата калия и 40% цинка применялась для воспламенения пороха «Hydrox» и безопасна по отношению к метано-воздушной смеси. Параметры смесей Sb/KMnO_4 подробно изучены и описаны в [83, 84, 85].
- *Прочие малогазовые составы*. В американских патентах 60-х годов 20 века встречаются составы на основе хромата бария и металлов типа хрома, ниобия и тантала, они обладают достаточно неплохими свойствами, но, по-видимому, широкого применения в США так и не нашли из-за существования освоенных аналогов и дороговизны таких компонентов, как тантал и ниобий [5]. В малогазовых составах отечественного производства, а также производства стран Восточной Европы и Азии обычно используются дешевые и не дефицитные горючие типа ферросилиция, ферросиликохрома, серы и сульфидов

сурьмы. Следует отметить, что смеси, содержащие сульфиды сурьмы, теряют свои свойства при хранении во влажной атмосфере, поэтому их необходимо хорошо герметизировать [6].

Находят применение малогазовые смеси термитного типа. Они не токсичны и малочувствительны к внешним воздействиям. Из серьезных недостатков следует отметить плохую воспламеняемость подобных смесей и высокий разброс параметров от партии к партии. В патенте [47] описана композиция: 80-60% Fe_2O_3 , 20-40% Si . Скорость горения для соотношения компонентов 70/30 – 6,15 мм/сек. В шведском патенте [49] заявлены смеси на основе окиси меди, например спрессованная смесь 60% окиси меди и 40% олова горит со скоростью 10 мм/сек. Нетоксичные шведские составы из [54] содержат BaSO_4 – 45-70% и Si – 30-55%, и имеют скорость горения 4,28-7,5 мм/сек. Температурный коэффициент 0,059%/К.

Шведский концерн Voforgs разработал [50] несколько экологически чистых вариантов смесей с применением оксидов олова и титана: бор – 5%, цирконий – 8%, двуокись титана – 28%, двуокись олова – 56%, хлоркаучук – 3%. Скорость горения в трубке диаметром 3,5 мм составляет 6 мм/сек. Скорость горения для других вариаций состава – 3-20 мм/сек.

В конце 80-х годов 20 века в Англии и Австралии были разработаны нетоксичные композиции на основе окиси железа и бора, способные воспламеняться напрямую от капсюля-воспламенителя. Их скорость горения составляет 2,5-25 мм/сек [22].

В последние годы находят применение нетоксичные малогазовые композиции на основе оксида висмута Bi_2O_3 и бора. При изменении содержания бора от 8% до 3% скорость их горения изменяется в пределах 1,5-4,2 мм/сек [71]. Американцы ведут исследования в области нетоксичных МГС: $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Sb}_2\text{O}_3$ /кремний, $\text{W}/\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{KIO}_4$ /связка, $\text{Ti}/\text{C}-3\text{Ni}/\text{Al}$ [80, 99, 100].

Табл. 6.3. Смеси на основе свинцовый сурик/кремний

Состав	1	2	3	4	5	6
свинцовый сурик - Pb_3O_4	80	85	87,5	90	87	80
кремний - Si	20	15	12,5	10	12,5	16
шеллак	-	-	-	-	0,5	-
фторкаучук - viton A	-	-	-	-	-	4
нитроцеллюлоза, сверх 100%	1,8	1,8	1,8	1,8	-	-
теплота реакции, МДж/кг	1,4	1,37	1,34	1,07	-	-
температура вспышки, °С	671	721	713	765	-	-
объем газов, мл/г	11	10,6	15	14	-	-

1. Delay mixture V. Область применения: замедлители M201A1 для ручных гранат XM54, AN-M14, M6A1, M53 замедлитель для авиабомбы BLU 16/B [16, 23].
2. Delay mixture VII. Область применения: замедлители для мины XM42 (E5) [16, 23].
3. Область применения: замедлители M201A1 с задержкой 3-5 сек для ручных гранат [16].
4. Delay mixture IV. Область применения: бомбы BE 7501b, E153R1, E50, запалы M220, замедлители для плавучих дымовых шашек AN-M7A1 и AN-M7 [16].
5. Смесь для замедления в дымозажигательном патроне DM-34 [51].
6. Широко используется в современных американских изделиях как в качестве замедлительного состава, так и в качестве воспламенительного [82, 86].

Табл. 6.4. Смеси на основе бора и марганца

Состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
хромат бария - BaCrO ₄	90	95	90	85	81	44	43	45	-	30	37	36	-	-	-
хромат свинца - PbCrO ₄	-	-	-	-	-	-	-	26	55	37	30,2	27	-	-	-
оксид висмута - Bi ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-
оксид хрома - Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	41	44	-	-	-	-	-	25	-	-
оксид молибдена - MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	93
бор аморфный - В	10	5	10	15	19	15	13	-	-	-	-	-	12	11	7
марганец - Mn	-	-	-	-	-	-	-	29	45	33	32,8	34	-	-	-
цирконий - Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
связка «VAAR» - св. 100%	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
теплота реакции, кДж/кг	2,16	1,11	1,94	2,10	1,16	-	-	1,08	1,09	1,07	1,10	-	-	2,36	1,86
температура всп., °С	615	553	560	706	656	-	-	452	336	460	420	-	-	474	587
объем газов, мл/г	3,1	4	29,5	5	12	-	-	12,6	15,4	18,3	11,4	-	-	2,0	3,1
плотность, г/см ³	2,73	2,89	1,95	2,96	2,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1. Смесь DP906, более известная как смесь T-10. Область применения: замедлители для фотографической бомбы M112 и сигнального средства M49A1. Аналогичная смесь под индексом RD1365 применяется в Англии [16].
2. Смесь DP587. Область применения: замедлители для фотографической бомбы M112. Скорость горения 10,2 мм/сек. Аналогичная смесь под индексом RD1368 применяется в Англии в замедлителях для ручных гранат [16].
3. Смесь DP973. Область применения: замедлители для сигнальной мины M49A1 [16].
4. Смесь DP523 [16].
5. Смесь DP602 [16].
6. Скорость горения 5,6 мм/сек [9, 24].
7. Скорость горения 3,0 мм/сек [9, 24].
8. Состав D16 по спецификации MIL-M-21383. Применяется в Mk4 Mod 0 [16].
9. Состав D16 type A [16].
10. Состав D16 type B [16].
11. Состав D16 type C [16].
12. Чешская композиция с цирконием. Скорость горения 4 мм/сек [52].
13. Английская композиция. Скорость горения 8,45 мм/с [14].
14. Английская композиция SR-37. Скорость горения 15 мм/с [81].
15. Английская композиция SR-38. Скорость горения 6 мм/с [81].

Табл. 6.5. Смеси на основе сплава цирконий-никель (смеси Z-1) [16, 25, 26] и молибдена [7]

Состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
хромат бария - BaCrO ₄	31	80	60	60	60	77	80	75	83	40	55	65
перхлорат калия - KClO ₄	15	3	14	14	14	-	-	5	-	15	10	5
сплав Zr/Ni 70/30	54	-	26	9	3	-	-	-	-	-	-	-
сплав Zr/Ni 50/50	-	17	-	-	-	23	20	20	17	-	-	-
сплав Zr/Ni 30/70	-	-	-	17	23	-	-	-	-	-	-	-
молибден - Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	35	30
теплота реакции, кДж/кг	1,37	0,84	2,18	-	-	0,85	0,80	0,94	0,71	-	-	-
температура вспышки, °С	335	407	325	-	-	375	351	-	-	-	-	-
объем газов, мл/г	9	0,7	13	-	-	1,0	0,8	1,4	-	-	-	-
скорость горения, мм/сек	10	1,64	12,7	5,1	2,1	-	-	-	-	12,7	4,2	1,4

1. Американский состав. Используется в запалах M112.
2. Американский состав.
3. DP-1415 type I. Замедлители для ручных гранат (M204A2, M206A2 и M205A2).
4. DP-1415 type II.
5. DP-1415 type III.
- 6 - 12. Американские композиции.

Табл. 6.6. Прочие замедлительные составы для изделий с задержкой в несколько секунд

Состав:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
хромат бария - BaCrO ₄	79	82	-	72	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	3	31
хромат свинца - PbCrO ₄	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-	58	-	-	-	87	53	36
хромат висмута - (BiO) ₂ CrO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	-	-	-	-	-
хромат калия - K ₂ CrO ₄	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
дихромат калия - K ₂ Cr ₂ O ₇	-	-	-	-	92	90	91,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
перхлорат калия - KClO ₄	10	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
свинцовый сурик - Pb ₃ O ₄	-	-	-	-	-	-	-	59	53	57	61	21	-	85	80	-	-	-
ферросилиций - FeSi	-	-	20	-	-	-	-	-	10	6	2	-	-	-	-	-	-	-
кремний - Si	-	-	-	-	4	6	4	-	-	-	-	19	10	-	8	13	-	-
сера - S	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
антимоний - Sb ₂ S ₃	-	-	-	20	-	-	-	-	37	37	37	-	-	-	-	-	-	-
сульфид сурьмы V - Sb ₂ S ₅	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
аморфный бор - B	-	-	-	-	4	4	4,5	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
титан - Ti	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
магний - Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	33
цирконий - Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-
фтористый литий - LiF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-
прочее *	1	2	-	1	-	-	-	5	-	-	-	2	2	1	3	-	-	-

1. Отечественный высотный состав «19Ц» времен Второй мировой войны: * – НЦ сверх 100% [10]. Скорость горения 5 мм/сек.
2. Отечественный состав для снаряжения кольцевого замедлителя к парашютной сигнальной ракете: * – НЦ сверх 100% [53].
3. Состав использовался в изделиях стран Варшавского договора [6]. Скорость горения 10 мм/сек.
4. Индийский состав: * – НЦ сверх 100% [28]. Скорость горения 4,3 мм/сек.
5. Устаревший английский состав SR-53 [29].
6. Устаревший английский состав SR-58 [30].
7. Устаревший английский состав SR-68 [31].
8. Немецкий состав. * – НЦ [55].
- 9 - 11. Японские составы для применения в горной промышленности [32].
12. Отечественный термостойкий состав: * – лак кремнеорганический [56]. Может использоваться как ВС к малогазовым составам. Скорость горения 15 мм/сек.
13. Отечественный состав для запалов гранат: * – НЦ. Скорость горения 5,3 мм/сек [57].
14. Отечественный состав СЦ-1, заменивший трубочный порошок ТО-34 в некоторых изделиях: * – НЦ [87, 88].
15. Отечественный состав для снаряжения гибких разводов: * – сополимер тетрафторэтилена с винилиденфторидом. Скорость горения 4,5 мм/сек [98].
16. Китайский состав. Скорость горения 22,1 мм/сек [95].
17. Китайский состав. Скорость горения 3,7 мм/сек [95].
18. Китайский состав. Скорость горения 14,3 мм/сек [95].

6.4. Малогазовые составы, обеспечивающие задержку в десятки секунд

В настоящее время к медленногорящим малогазовым смесям проявляется повышенный интерес, т.к. на их основе можно создавать малогабаритные замедлительные узлы пониженной стоимости. С усовершенствованием медленногорящих составов прослеживается тенденция перехода от замедлителей с кольцевыми каналами к простым в производстве замедлительным втулкам [58].

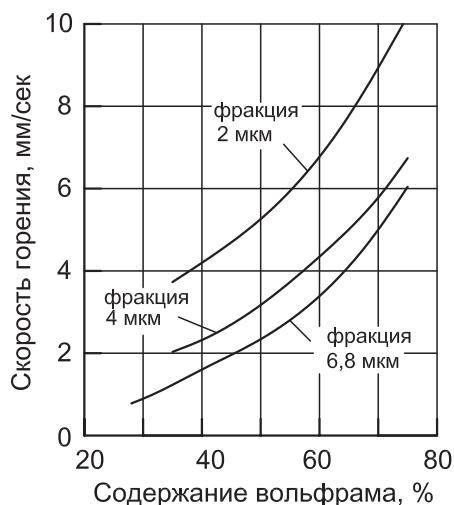


Рис. 6.5. Зависимость скорости горения составов $\text{BaCrO}_4/\text{KClO}_4$ /вольфрам/связка от содержания вольфрама в смеси и его фракционного состава [35].

С целью получения медленногорящих замедлительных смесей, в США в конце 50-х годов 20 века были разработаны композиции хромат бария/вольфрам/перхлорат калия. Перхлорат калия добавляется с целью увеличения теплоты сгорания, воспламеняемости и придания составу способности гореть при низких температурах. Смеси с вольфрамом устойчивы при хранении, малочувствительны к удару и трению, но довольно восприимчивы к статическому электричеству. В зависимости от соотношения компонентов имеют большой диапазон изменения скорости горения – от 0,5 до 250 мм/сек, однако на практике обычно используются самые медленногорящие композиции. Отличаются низкой температурой воспламенения и малым разбросом скоростей горения в зависимости от температуры. В целях уменьшения скорости, повышения устойчивости горения и улучшения прессуемости, в состав вводят диатомит или аэросил, в более поздних модификациях – гексафторсиликат бария или фторид кальция. Инертные добавки также способствуют снижению температурного коэффициента. Исследование сгорания вольфрамовых МГС и зависимость параметров горения от размера частиц приведены в [33, 34].

По одному из последних американских стандартов MIL-D-82710(OS) от 1984 г., подобные смеси состоят из 25-75% вольфрама, 12-62% хромата бария, 7% перхлората калия, 5% диатомита и 1% фторорганического связующего (Viton). В зависимости от времени горения подразделяются на 3 класса (Табл. 6.7).

Табл. 6.7. Требования к замедлительным составам на основе вольфрама [35]

Класс	Время горения сек/дюйм при н.у.	Погрешность, %
I	2,5-7,5 (10,2-3,4 мм/сек)	10
II	7,5-12,5 (3,4-2,0 мм/сек)	7
III	12,5-32,5 (2,0-0,8 мм/сек)	5

Смесь, состоящая из 27% вольфрама, 58% хромата бария, 10% перхлората калия, 5% диатомита, имеет самую низкую скорость горения – 0,635 мм/сек, высокую надежность и устойчивость процесса горения, и по сочетанию этих качеств аналогов не имеет (по данным американцев).

Концерном Vofors в патенте [62] был предложен малотоксичный состав: бор – 4%, сурьма – 10%, двуокись титана – 31%, двуокись олова – 50%, перхлорат калия – 5%, полиакриловое связующее – 0,5% (сверх 100%). Скорость горения 2,5 мм/сек в трубке диаметром 3,5 мм.

Созданный в конце 1930-х годов в СССР состав МК хоть формально и назывался медленногорящим, однако уровень скорости горения 2-3 мм/сек достаточно велик и в современных условиях его следует считать «переходным».

Поэтому в период с 1960 по 1972 г. были созданы две композиции со скоростями горения 1,1-1,2 мм/сек, а в период с 1979 по 1989 г. – еще две со скоростями горения 0,5-0,7 мм/сек. Один из составов был предназначен для использования в полузакннутом объеме (взрыватели), второй – в замкнутом (герметичные средства инициирования) [101].

Современные отечественные медленногорящие композиции в качестве горючих вместо вольфрама содержат менее дефицитные карбиды и бориды металлов, более старые – антимоний и ферросилиций [64, 65, 94].

Не так давно американская фирма Talley разработала прототип малогабаритного пиротехнического замедлительного устройства, основанного на задержке теплопередачи (Heat Transfer Delay) [91, 92]. Устройство имеет диаметр 4,8 мм, длину 25,4 мм и предназначено для использования в компактных узлах самоликвидации, обеспечивая задержку от 74 секунд (при н.у.) до 100 секунд (при -40°C). Устройство разработано по программе модернизации малогабаритной бомбы М-80, используемой в кассетных боеприпасах армии США. Оно содержит столбик теплогенерирующего пиротехнического состава (46,67% титана, 23,33 бора и 30% хромата бария) и столбик состава с низкой температурой вспышки (24,75% нитрата гуанидина, 20,4% AgNO_3 , 14,25% KNO_3 , 39,6% порошка Mo и 1% аэросила). Столбики разделены теплопроводящей перегородкой и помещены в трубку из теплоизолирующего материала. При воспламенении теплогенерирующего состава тепло медленно передается через перегородку и инициирует воспламенение теплочувствительной композиции, вызывающей срабатывание детонатора.

Табл. 6.8. Смеси на основе хромата бария, вольфрама и перхлората калия

Состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
хромат бария - BaCrO_4	24	55	55	10	10	32	36,5	64	60	66	40	47
вольфрам - W	65	30	30	75	64	58	49	24	33	18,9	50	40
перхлорат калия - KClO_4	10	10	10	10	10	10	14,5	12	7	9,4	10	13
связующее «VAAR»	1	-	-	-	1	0,12	1	-	-	-	-	-
диатомит	-	4	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
прочее *	-	1	-	-	15	-	-	6	1	5,7	-	-
теплота реакции, кДж/кг	1,04	-	-	1,10	1,08	-	-	-	1,08	1,42	0,98	1,03
температура вспышки, °C	370	391	388	445	385	-	-	-	-	-	270	305
объем газов, мл/г	7	5,8	6	5,5	6,3	-	-	-	-	15	4,3	4,1

1. Смесь 8269017/8836967. Область применения: замедлители для сигнального средства M49A1 [16].
2. Смесь WS12607. Область применения: замедлители для Mk279 mod 2: * – Viton A [16].
3. Температурный коэффициент 0,1%/К. Скорость горения 1,36 мм/сек. Плотность снаряжения 4,88 г/см³ [16].
4. Скорость горения 1,36 мм/сек. Плотность снаряжения 4,88 г/см³ [16].
5. Смесь DP1448: * – дехлоран [16].
6. Смесь для снаряжения 48-секундного замедлителя M84A1: * – VAAR св. 100% [37].
7. Замедлитель для 105 мм американского снаряда M913: * – VAAR св. 100% [36].
8. Состав фирмы Dynamit Nobel: * – 4% гексафторсиликата бария и 2% аэросила сверх 100%. Скорость горения при температурах от +71 до –54°C 0,8-0,67 мм/сек. В условиях вращения 17000 об/мин 0,65-0,54 мм/сек. Область применения: замедлители для снарядов [59].
9. Состав концерна GIAT для снаряжения гибких узлов замедления с внутренним диаметром 3,1 мм: * – аэросил (сверх 100%). Скорость горения 2,0-2,5 мм/сек в диапазоне температур от –50 до +60°C [60].
10. Отечественный состав: * – 1,9% фторопласта-4 и 3,8% дисульфида молибдена. Скорость горения 2,5 мм/с [61].
- 11 - 12. Американские составы [16].

Табл. 6.9. Прочие замедлительные составы с малой скоростью горения

Состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
хромат бария - BaCrO ₄	78	-	-	-	84	44	-	-	70	74	-	-
хромат свинца - PbCrO ₄	-	78	88	-	-	-	70	78	-	-	90	85
гидроксихромат висмута - BiOHCrO ₄	-	-	-	72	-	40	-	-	-	-	-	-
перхлорат калия - KClO ₄	10	10	-	8	8	8	2	3	9	-	-	-
оксид свинца - PbO	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-
ферросилиций - FeSi	-	5,5	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
циркония карбид - ZrC	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
титана карбид - TiC	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-
циркония борид - ZrB ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-
сера - S	-	-	-	-	8	8	-	-	-	-	-	-
антимоний - Sb ₂ S ₃	11	5,5	5,5	20	-	-	-	-	-	-	-	-
поливинилиденфторид - ПВДФ	-	-	-	-	-	-	10	8	-	13	10	-
политетрафторэтилен - ПТФЭ	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	14
криолит - Na ₃ AlF ₆	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
прочее*	1	1	1	1	2	2	6	1	2	5	-	1
скорость горения, мм/сек	2,5	2	-	2,3	2,2	1,3	0,59	1,56	0,7	0,8	0,91	0,48

1. Отечественный состав «МК», разработанный в 1937-1940 гг. Применялся в кольцевых замедлителях в странах Варшавского договора: * – НЦ [6, 10].
- 2 - 3. Составы использовались в изделиях стран Варшавского договора: * – НЦ [6].
- 4 - 6. Экспериментальные индийские составы: * – НЦ [28, 38].
7. Отечественный состав: * – сополимер тетрафторэтилена с винилиденфторидом [58].
8. Промышленный замедлительный состав (один из примеров): * – НЦ [63].
9. Термостойкий (до 200°C) отечественный состав: * – НЦ. Состав внедрен в ракетные снаряды системы «Град» и в изделие ВМГ-М «Пламя» [64].
10. Термостойкий (до 270°C) состав, способный сгорать в узких каналах: * – 2,5% LiF и 2,5% сополимера винилиденфторида с фторэтиленом [65].
11. Отечественный состав [66].
12. Отечественный состав, способный сгорать в узких каналах: * – алюминий [89].