

Известные, в полигонной практике, случаи вылета недогоревших пороховых элементов при стрельбе из орудий свидетельствуют о погасании пороха в условиях артиллерийского выстрела [1,2]. Исследование причин и условий недогорания пороха представляется важным для разработки мероприятий исключающих это негативное явление, для изучения и оптимальной организации процессов происходящих при выстреле, для создания методик проектирования порохов и пороховых зарядов, учитывающих особенности горения пороха при спаде давления. Одной из причин недогорания может быть погасание пороха в канале ствола орудия. С этой точки зрения явление недогорания пороха не рассматривалось. Исследовали возможность погасания пороха при спадах давления в основной период выстрела (после достижения максимального давления в стволе) и в период последействия (после вылета снаряда из ствола). В последнем случае рассматривали возможность погасания пороха в двух вариантах: порох остается в стволе и порох вылетает из ствола вслед за снарядом. Оценка возможности погасания осуществлялась путем сопоставления значений критических скоростей спада давления, т.е. минимальных значений скоростей спада давления, приводящих к погасанию пороха ($P'_{кр}$) со значениями скоростей спада давления в стволе (P'). Если скорость спада давления в стволе меньше критической, то порох сгорит, а если больше то погаснет. Критические скорости спада давления штатных и опытных порохов определяли на модельной установке, горение пороха в которой происходило в условиях, близких к условиям горения пороха в стволе орудия. Значения критических скоростей спада давления, в зависимости от уровня давления перед спадом в стволе P_n , рассчитывали по зависимостям [3]: для баллиститного пороха (БП) $P'_{кр} = 55P_n - 200$, $P_n = (25-75)$ МПа; $P'_{кр} = 242P_n - 16370$, $P_n > 75$ МПа; для пироксилинового пороха (ПП) $P'_{кр} = 20 P_n + 4800$, $P_n = (20-75)$ МПа; $P'_{кр} = 447P_n - 22680$, $P_n > 75$ МПа, для опытных порохов (ОП) $P'_{кр} = 0,25 P'_{кр} \text{ БП}$

Параметры спадов давления (P_m , P_d , P' , P'_k , P'_d , $t_{сп}$) в артиллерийских системах определяли по расчетным кривым изменения давления во времени. Как следует из результатов исследований (табл.1), в большинстве рассмотренных систем скорости спада давления в основной период выстрела меньше критических, т.е. погасания пороха в них произойти не может (Г). Погасание пороха возможно в 23, 25, 30, 37 и 76 мм пушках (П). Результаты оценки возможности погасания могут быть существенно другими при замене пороха, используемого в штатных зарядах, на пороха с меньшей устойчивостью горения при спаде давления. Так, замена пироксилинового пороха в заряде к 76 мм пушке на баллиститный или опытный, имеющий наименьшую устойчивость из всех исследованных порохов, показывает, что в этом случае $P' > P'_{кр}$, т.е. погасание этих порохов возможно.

Таблица 1 - Параметры спада давления и режимы горения пороха в основной период артиллерийского выстрела № п/п АС d, мм P_m , МПа $P' \cdot 10^{-3}$, МПа/с $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с Режим горения $t_{сп}$, мс

№ п/п	АС d, мм	P_m , МПа	$P' \cdot 10^{-3}$, МПа/с	$P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с	Режим горения	$t_{сп}$, мс
1	Пушка 23	255	255	91	П	45

П 2,4 2 Пушка 25 295 119 109 55 П П 2,5 3 Пушка 30 300 250 111 56 П П 2,8 4
 Пушка 37 280 114 102 51 П П 3,5 5 Пушка 76 250 69 89 44 Г П 3,7 6 Пушка 85 270
 38 98 49 Г Г 5,0 7 Пушка 100 287,3 36 106 53 Г Г 6,3 8 Пушка 107 250 39 89 44 Г Г
 7,0 9 Пушка 115 246 34 87 43 Г Г 7,0 10 Пушка 122 274 40 99,7 50 Г Г 7,0 11
 Пушка 152 305,2 32 114 39 Г Г 7,6

Возможность погасания пороха зависит от калибра системы, она максимальна в системах малого калибра, где скорость спада давления наибольшая (рис. 1). С увеличением калибра скорость спада давления уменьшается, соответственно уменьшается возможность погасания пороха. Указанная зависимость справедлива для пушек с характеристиками, близкими к рассмотренным ($P_m \approx 280$ МПа, $V_0 \approx 900$ м/с). Если на эту зависимость нанести прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой, равной значению $P^*_{кр}$ исследованных порохов при $P_m \approx 280$ МПа, то график позволит наглядно и оперативно производить оценку возможности погасания пороха в условиях артиллерийского выстрела. Погасание пироксилинового пороха возможно в системах калибра 40 мм, баллиститного 70 мм, опытного во всех рассмотренных системах. Таким образом, возможность погасания пороха повышается с уменьшением калибра системы и значения $P^*_{кр}$ пороха.

Рис. 1 - Зависимость $P^*_{кр}$ - d

Погасание пороха при спаде давления происходит во времени и этот фактор необходимо учитывать при оценке возможности реализации погасания при $P^* > P^*_{кр}$. Время погасания пороха ($t_{п}$) уменьшается с увеличением скорости спада давления и составляет 9-10 мс при спадах давления с $P_m > 60$ МПа и $P^* \gg P^*_{кр}$ [4]. Сравнение времен спада давления в стволе ($t_{сп}$) и времен погасания пороха показывает, что во всех рассмотренных системах $t_{сп} > t_{п}$. Следовательно, несмотря на то, что $P^* > P^*_{кр}$, погасание штатных порохов в указанных артиллерийских системах не успеет произойти. Погасание пороха не произойдет, однако при $P^* > P^*_{кр}$ скорость горения пороха при спаде давления, как показали результаты экспериментальных исследований, будет в два раза меньше, чем при $P^* = P^*_{кр}$ [4]. Уменьшение скорости горения приведет к увеличению времени горения пороха и в определенных условиях к недогоранию его в стволе орудия. Расчеты показали, что для 76мм пушки время горения баллиститного пороха в стволе увеличивается на 27 % [5]. Следует отметить, что время сгорания порохового заряда в реальных условиях больше расчетного. Это связано как с разбросом размеров пороховых элементов, так и с неодновременностью воспламенения порохового заряда. Поэтому время горения пороховых элементов позднее воспламенившихся, имеющих размеры больше средних будет превышать расчетное. Если порох по каким-либо причинам не сгорит к моменту вылета снаряда из ствола, то возможность погасания его зависит от того, останется он в стволе или вылетит из него вслед за снарядом. В первом случае на порох будет воздействовать спад давления, параметры (P_d , $P^*_{кр}$) которого зависят от дульного давления, начальной скорости снаряда, калибра системы и конструкции ствола. Во втором случае (P_d , $P^*_{кр}$) возможность

погасания будет зависеть от дульного давления, скорости движения пороховых элементов и градиента давления по длине за дульным срезом [1]. Как следует из результатов исследований (табл.2), баллистический порох погаснет независимо от того останется он в стволе или вылетит из него. Пироксилиновый порох погаснет, если вылетит из ствола, а если он останется в стволе, то погасание произойдет в системах калибром 25, 37, 76 мм. Опытные пороха с низкой устойчивостью горения при спаде давления погаснут в любом случае. Поскольку в период последствий ограничения по времени отсутствуют, то погасание порохов произойдет. Наличие остатков погасшего пороха в стволе или перед ним зависит от склонности пороха к повторному воспламенению и параметров окружающей среды [6].

Таблица 2 - Параметры спада давления и режимы горения пороха в период последствий d , мм P_d , МПа $P'_{кр} \cdot 10^{-2}$, МПа/с $P'_k \cdot 10^{-2}$, МПа/с Режим горения $P'_d \cdot 10^{-2}$, МПа/с Режим горения

d , мм	P_d , МПа	$P'_{кр} \cdot 10^{-2}$, МПа/с	$P'_k \cdot 10^{-2}$, МПа/с	Режим горения
25	84,9	152	41	289
37	59,4	59	30	162
76	70	62	36	202
100	108,5	258	98	166
122	83,3	145	37	121
152	90	175	54	96
175	54	96	Г	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П
121	П	П	П	П
145	П	П	П	П
162	П	П	П	П
166	П	П	П	П
175	П	П	П	П
202	П	П	П	П
258	П	П	П	П
289	П	П	П	П
30	П	П	П	П
36	П	П	П	П
41	П	П	П	П
54	П	П	П	П
59	П	П	П	П
62	П	П	П	П
70	П	П	П	П
84,9	П	П	П	П
98	П	П	П	П
108,5	П	П	П	П