

**В. Н. Александров, Б. Д. Диновецкий, А. В. Косточко,
П. О. Сафронов**

РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ ПОРОХА ОСНОВНОГО ЗАРЯДА В УСЛОВИЯХ МИНОМЕТНОГО ВЫСТРЕЛА

Ключевые слова: минометный выстрел, порох, спад давления, горение, повторное воспламенение.

Приведены результаты определения режима горения пороха основного метательного заряда в трубке стабилизатора в условиях выстрела из 120мм миномета. Показано, что горение пороха при спаде давления происходит в режиме «повторное воспламенение», для которого характерно: погасание, остановка горения и воспламенение погасшего пороха. Определены характеристики режима – время погасания и остановки горения.

Keywords: shot from a mortar, gunpowder, pressure drop, burning, reignition.

The results of determining the mode of burning gunpowder main propellant charge in the tube of the stabilizer in a shot from a 120 mm mortar. It is shown that the combustion of gunpowder in the pressure drop occurs in the "reignition", which is characterized by: extinction, stop combustion and ignition of gunpowder extinct. The characteristics of the regime - the time and stop the extinction of combustion.

Основные боевые качества минометного вооружения - это большая огневая мощь, скорострельность, простота устройства и боевого применения, постоянная готовность к немедленному открытию огня без особой подготовки и надежность эксплуатации в любых климатических условиях, в любое время года и суток. Существенным достоинством минометов является большая крутизна траектории полета мин, позволяющая поражать цели, не поражаемые оружейным, пулеметным и артиллерийским огнем, а также возможность применения в условиях пересеченной и труднопроходимой местности. В связи с этим минометы занимают прочное место в вооружении современных армий всех стран [1, 2].

Уровень баллистических характеристик и эффективность действия по цели минометного выстрела в значительной степени определяются совершенством порохового метательного заряда, модернизации которого уделяется значительное внимание [3, 4]. Это в свою очередь требует разработки научно-обоснованных методик проектирования, базирующихся на современных представлениях о закономерностях горения пороха в условиях минометного выстрела.

Метательный заряд состоит из основного заряда (ОМЗ), помещенного в картонную гильзу, которая располагается в перфорированной трубке стабилизатора и дополнительного заряда (ДМЗ), размещенного на трубке стабилизатора мины. Порох дополнительного заряда воспламеняется под действием продуктов сгорания основного заряда, истекающих через огнепередающие отверстия после разрушения стенки картонной гильзы. Движение мины происходит под действием суммарного давления газов ОМЗ и ДМЗ. ОМЗ, расположенный в отдельном объеме, играет роль особого воспламенителя, обеспечивающего стабильную работу всего порохового заряда создавая устойчивые, однообразные условия воспламенения пучков дополнительного заряда при различных температурах, обеспечивая удовлетворительную

величину рассеивания начальных скоростей мины [5].

Горение пороха ОМЗ в начальный момент происходит в условиях замкнутого объема. Затем, после пробития отверстий в стенках картонной гильзы под действием давления пороховых газов, при одновременном истечении пороховых газов в замкнутое пространство, горение пороха происходит при спаде давления, и сопровождается выбросом в замкнутое пространство значительной части (около 60-70%) пороха [5]. Спад давления происходит до некоторого уровня, величина которого определяется массой ОМЗ и объемом замкнутого пространства. Определенное влияние на уровень этого давления оказывают теплотери и истечение части пороховых газов в зазор между центрирующим утолщением мины и стенками канала ствола миномета [6].

Горение пороха ОМЗ происходит в напряженных условиях, при значительных по величине и противоположных по знакам градиентах изменения давления во времени. Горение части пороха происходит при спаде давления, которое имеет ряд особенностей. Так, исследования горения пороха НДТ-3 при спаде давления в условиях, близких к горению пороха в условиях минометного выстрела показали, что горение пороха может происходить в двух режимах: горение (Г) и повторное воспламенение (ПВ) [7]. При горении порох сгорал. При ПВ через некоторое время после начала спада давления погасал, а затем, снова воспламенялся и сгорал. Режим горения пороха зависит от параметров спада давления (P_n , P_k , P'). В литературе отсутствуют данные о параметрах спада давления и режимах горения пороха в условиях минометного выстрела. Характеристики режимов горения пороха существенно различны и могут влиять на параметры минометного выстрела.

В настоящей работе приводятся результаты определения режимов горения штатного (баллистического, пироксилинового) и опытного порохов ОМЗ в условиях штатного и опытного выстрелов из миномета калибром 120 мм.

Определение режима горения пороха

проводили путем сопоставления критических скоростей спада давления пороха ($P'_{кр}$) со значениями скоростей спада давления в трубке стабилизатора (P'). Если $P' > P'_{кр}$, то горение пороха происходит в режиме ПВ, если $P' < P'_{кр}$, то в режиме Г.

Значения $P'_{кр}$ порохов определяли по экспериментальным зависимостям $P'_{кр} = f(P_n)$, $P'_{кр} = f(P_n, h)$ в следующей последовательности:

- определяли значения $P'_{кр}$ порохов при

$P_k = 0,1$ МПа по зависимостям [8]:

для пороха НДТ-3:

$P'_1 = 55P_n - 200$, $P_n = (25-75)$ МПа;

$P'_1 = 242P_n - 16370$, $P_n > 80$ МПа;

для пороха НБ:

$P'_1 = 94,8P_n - 344$, $P_n = (25-75)$ МПа;

$P'_1 = 416,2P_n - 28156$, $P_n > 75$ МПа;

для пироксилинового пороха:

$P'_1 = 20P_n + 4800$, $P_n = (20-70)$ МПа;

$P'_1 = 447P_n - 22680$, $P_n > 70$ МПа;

для опытного пороха:

$P'_1 = 13,75P_n - 50$, $P_n = (25-75)$ МПа;

$P'_1 = 60,5P_n - 4092$, $P_n > 75$ МПа

- определяли значения $P'_{кр}$ пороха НДТ-3 при $P_k > 0,1$ МПа [7];

- для наружной поверхности порохового элемента (НП):

$P'_2 = P'_1 + 496P_n h$;

- для поверхности канала порохового элемента (ПК):

$P'_2 = P'_1 + 34515P_n h$;

- определяли значения $P'_{кр}$ порохов при $P_k > 0,1$ МПа:

$P'_{кр} = P'_1 k$, где k - отношение значений критических скоростей спада давления пороха НДТ-3 при $P_n > 0,1$ МПа и $P_n = 0,1$ МПа.

Спад давления в трубке стабилизатора характеризовали уровнем начального (P_n) и конечного (P_k) давлений, глубиной спада ($h = P_k/P_n$) и скоростью спада давления $P' = -dP/dt$ - скоростью изменения давления во времени. Параметры спада давления в трубке (P_n, P') определяли по результатам экспериментальных исследований горения ОМЗ в установке, имитирующей трубку стабилизатора [5].

Анализ результатов исследований (таблица 1) свидетельствует, что во всех рассмотренных выстрелах горение порохов по НП происходит в режиме ПВ ($P' > P'_{кр}$). Горение пироксилинового пороха в 120 мм оп. выстреле по наружной поверхности происходит в режиме ПВ ($P' > P'_{кр}$), а по поверхности канала в режиме Г ($P' < P'_{кр}$). Горение ОП по наружной поверхности и поверхности канала происходит в режиме ПВ ($P' > P'_{кр}$). Под ОП подразумевали пороховую композицию, обладающую наименьшим из исследованных порохов значением $P'_{кр}$ [8]. Воспламенение погасших при ПВ образцов возможно при $P_k > 1,3 - 2,5$ МПа [9]. В условиях минометного выстрела давление больше этой величины, следовательно, воспламенение произойдет.

В таблице 1 приведены средние по длине трубки параметры спада давления. Однако, результаты исследований [5] показали существенную разницу в параметрах спада давления в различных частях трубки, у воспламенителя и у пыжа. Наиболее

значительно это различие при горении комбинированного заряда, состоящего из навески пороха НБПл, расположенной у воспламенителя и навески пороха ВТМ, расположенной у пыжа (опытный ОМЗ). Различие в этом случае составляет $\pm 20\%$ по величине P_n и $\pm 23\%$ по величине P' . Несмотря на значительную разницу в параметрах спада давления режим горения порохов расположенных в разных концах трубки одинаков - ПВ (табл. 2). Только горение в каналах пороха ВТМ происходит в режиме Г ($P' < P'_{кр}$). Различие в режимах горения порохов возможно только для порохов, значения $P'_{кр}$ которых составляют $(60-40) \cdot 10^3$ МПа/с - для 120 мм шт. выстрела и $(69-111) \cdot 10^3$ МПа/с - для 120 мм оп. выстрела. Такие достаточно высокие значения $P'_{кр}$ характерны для поверхности каналов пироксилиновых порохов.

Таблица 1 - Параметры спада давления и режимы горения порохов

| Выстрел | | 120 мм штат. | | 120 мм опыт. | |
|----------------------------|---------------------------------|--------------|-------|--------------|---------|
| P_n , МПа | | 66 | | 87,5 | |
| P_k , МПа | | 9,8 | | 9,9 | |
| h | | 0,15 | | 0,11 | |
| $P' \cdot 10^{-3}$, МПа/с | | 55,9 | | 89,3 | |
| τ_b , мс | | 5-12 | | 5-12 | |
| НБПл | $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с | 14,4* | - | 16,9* | - |
| | Режим горения | ПВ | - | ПВ | - |
| ПП | $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с | - | - | 34,2* | 129,8** |
| | Режим горения | - | - | ПВ | Г |
| ОП | $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с | 2,1* | 9,3** | 2,5* | 9,6** |
| | Режим горения | ПВ | ПВ | ПВ | ПВ |

*- наружная поверхность порохового элемента

** - поверхность канала порохового элемента

Режим ПВ характеризуется временем погасания (τ_n) и остановки (τ_0). Основываясь на результатах исследования горения пороха НДТ-3 проведем оценку этих величин применительно к условиям минометных выстрелов [7]. Характерной особенностью значений τ_n и τ_0 является то, что при скоростях спада (P'_2) которые существенно больше критических ($P'_3 \gg P'_{кр}$) они практически не изменяются, а значения τ_n не зависят от природы пороха. Минимальное значение τ_n при $P' > P'_3$ пороха НДТ-3 при параметрах спада давления близких к условиям минометного выстрела составляет 5-8 мс (таблица 3). Для порохов ОМЗ значение τ_n будет таким же. Значение времени остановки (времени задержки воспламенения) пороха НДТ-3 при P_k равно 4 мс. Величина τ_0 для более мелких НБ и ВТМ будет не более 4 мс. Общее время первых двух стадий горения пороха в режиме ПВ (горение при $P' > P'_{кр}$ - остановка горения) составит $\tau_{пв} < (9-12)$ мс.

Таблица 2 - Параметры спада давления и режимы горения порохов

| Выстрел | 120 мм штат. | | 120 мм опыт. | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------|--------------|---------|------|----------|
| P_n , МПа | 74,7* | 58,1** | 70,4* | 105,9** | | |
| P_k , МПа | 9,8 | 9,8 | 9,9 | 9,9 | | |
| h | 0,13 | 0,17 | 0,14 | 0,09 | | |
| $P' \cdot 10^{-3}$, МПа/с | 62,8 | 49,2 | 69,7 | 111,4 | | |
| НБ | $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с | 8,4 | 13,5 | 14,7 | - | |
| | Режим горения | ПВ | ПВ | ПВ | - | |
| ВТМ | $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с | - | - | - | 37,3 | 112,2*** |
| | Режим горения | - | - | - | ПВ | Г |

*- у воспламенителя

** - у пыжа

*** - поверхность канала порохового элемента

Таблица 3- Характеристики режима ПВ пороха НДТ-3

| | | | | | | |
|--|------|------|---------|--------|---------|-------|
| P_n , МПа | 30 | 30 | 30 | 100 | 100 | 100 |
| P_k , МПа | 3 | 7 | 15 | 15 | 30 | 50 |
| h | 0,1 | 0,23 | 0,5 | 0,15 | 0,3 | 0,5 |
| $P'_{кр} \cdot 10^{-3}$, МПа/с | 0,93 | 1,01 | 1,18 | 13,06 | 18,18 | 25,1 |
| $P'_3 \cdot 10^{-3}$, МПа/с | ~10 | ~14 | ~15 | ~25 | ~30 | ~32 |
| $(P'_3 - P'_{кр}) \cdot 10^{-3}$, МПа/с | ~9 | ~13 | ~14 | ~12 | ~12 | ~7 |
| τ_n , мс | 70-5 | 20-6 | 10-8 | 14-8,4 | 13-7,6 | 8-6,5 |
| τ_o , мс | 4-49 | 3-9 | 1,5-2,7 | 2-3,1 | 1,5-1,8 | 1-1,5 |

Реализация всех стадий горения пороха в режиме ПВ возможна только, если $\tau_{пв}$ больше времени выстрела (τ_b). Но в любом случае будет первая стадия (горение при $P' > P'_{кр}$) и в этом случае, как показали результаты экспериментальных исследо-

ваний [8], скорость горения пороха будет в два раза меньше, чем при $P' < P'_{кр}$.

Наличие стадий с низкой скоростью горения, остановки горения может оказать влияние на полноту сгорания пороха и величину баллистических характеристик минометного выстрела [10,11].

Отмеченные особенности горения пороха ОМЗ, следует учитывать при расчете параметров рабочего процесса в трубке стабилизатора и минометного выстрела в целом.

Литература

1. Б.А. Прохоров Боеприпасы артиллерии. Машиностроение, Москва, 1973, 512 с.
2. В.В. Бурлов, В.В. Грабин, А.Ю. Козлов, Баллистика ствольных систем. Машиностроение, Москва, 2006, 461с.
3. Э.Г. Гулицкий, В.Н. Чистюхин, В.Ю. Фролов, Г.В. Игнатъев, Ю.М. Михайлов. Вестник Казанского технологического университета, 13, 8, 199-203 (2010).
4. Э.Г. Гулицкий, Р.И. Мухаметлатыпова, Г.В. Игнатъев, В.Н. Чистюхин, Р.Ф. Гатина, Ю.М. Михайлов Вестник Казанского технологического университета, 14, 17, 146-150 (2011).
5. Г. Г. Валеев, В. Ф. Сопин, Б. А. Соков. Основы проектирования и функционирования метательных зарядов для артиллерийских систем. КГТУ, Казань, 2005, 316 с.
6. М.Е. Серебряков. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. Оборонгиз, Москва, 1962,703 с.
7. В. Н. Александров, Б. Д. Диновецкий, А. В. Косточко. Вестник Казанского технологического университета, 13, 10, 104-113 (2010).
8. В. Н.Александров. Дис. канд. техн. наук. КХТИ, Казань, 1984, 149 с.
9. В. Н. Александров, Б. Д. Диновецкий, А. В. Косточко. В сб. Успехи в специальной химии и химической технологии, РХТУ им. Менделеева, Москва, 2010, Ч2, С. 7-11
10. В.П. Курина, В. Н. Александров, Б. Д. Диновецкий, А. В. Косточко. В сб. Химическая физика процессов горения и взрыва. XII Симпозиум по горению и взрыву, Черноголовка, 2000. Ч1. С. 174-175.
11. В. Н. Александров, Б. Д. Диновецкий, А. В. Косточко, П.О. Сафронов. В сб. Успехи в специальной химии и химической технологии, РХТУ им. Менделеева, Москва, 2010, Ч2, С. 328-331.

© **В. Н. Александров** - к.т.н, доцент кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений КНИТУ, labgor@kstu.ru; **Б. Д. Диновецкий**- д.т.н., профессор той же кафедры, labgor@kstu.ru; **А. В. Косточко** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой химии и технологии высокомолекулярных соединений; **П. О. Сафронов** – к.т.н, доцент той же кафедры, labgor@kstu.ru.