

# 12, декабрь 2015

УДК 681.523.2

### **Исследование возможности использования элементов струйной техники во взрывателях**

*Лаврентьев В.В., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Автономные информационные управляющие системы»*

*Метляев Д.Д., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Автономные информационные управляющие системы»*

*Научный руководитель: Ефремов А.К., к.т.н., доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Автономные информационные управляющие системы»*

[aefremov@bmstu.ru](mailto:aefremov@bmstu.ru)

#### **Структурная схема струйного взрывателя**

Обобщенная структурная схема взрывателя (любого типа) включает следующие функциональные элементы: инициирующую (сенсорную) систему, огневую цепь и систему предохранения. Проведенный анализ современных взрывателей свидетельствует об актуальности и перспективности разработки новых принципов их действия и построения с целью наиболее эффективного выполнения повышенных тактико-технических требований, с учетом жестких условий боевого применения и служебного обращения [1-3].

В связи с этим определенным интерес представляет исследование возможности использования ЭСТ в соответствующих функциональных узлах и блоках структурной схемы взрывателя. Струйная техника – раздел пневмоавтоматики, охватывающий изучение, разработку и использование устройств автоматического управления, в которых передача, преобразование и представление информации основано на взаимодействии струй газа между собой и стенками каналов, изменении скорости потока и других газодинамических эффектах [1, 4-9].

Элементы струйной техники можно разделить на три основные группы:

- пассивные (фильтры, емкости, камеры, резонаторы, индуктивности, сопла, дроссели, сопротивления);
- активные (дискретные и пропорциональные);
- логические.

Перспективность применения ЭСТ определяется рядом их преимуществ по сравнению с механическими, электромагнитными, и электрическими устройствами, а именно простотой в изготовлении (технологичностью), дешевизной, безотказностью действия, практически неограниченным сроком службы, возможностью работы в широком диапазоне температур (-270...1000 °С). Кроме того, ЭСТ обладают высокой степенью устойчивости по отношению к внешним дестабилизирующим факторам (механические, электромагнитные и радиационные воздействия). Вместе с тем ЭСТ имеют некоторые недостатки, например большую инерционность по сравнению с электронными элементами и отсутствие микроэлементной базы.

Для работы системы, состоящей из ЭСТ, требуется источник питания для подачи рабочего газа на ее вход, это – одна из сложных задач, связанных с проектированием струйного взрывателя. Потенциально возможны три варианта:

1. Пиротехнический источник питания: при выстреле, под действием осевой силы инерции происходит накол жалом ударника капсюля-воспламенителя или запала; образующиеся при этом пороховые газы после фильтрации поступают на вход струйной системы.

2. Баллон со сжатым газом: при выстреле происходит прорыв выпускного отверстия, и возникает мощный целенаправленный поток газа.

3. Аэродинамический источник питания: на траектории полета боеприпаса в специальный приемник попадает поток воздуха, который фильтруется от пыли, капель воды и других частиц, и подается в систему струйных элементов.

Далее будет рассмотрена возможная структурная схема струйного взрывательного устройства (СВУ). Наиболее перспективно использование струйных элементов в системе предохранения и исполнительной системе, поскольку одним из важнейших требований к взрывателю является обеспечение надежности и безопасность во всех условиях применения. СВУ, как и взрыватель любого типа, должно выполнять ряд типовых функций, которые реализуются с помощью следующих блоков: механизм дальнего взведения (МДВ), программно-временное устройство (ПВУ), ударный механизм, блок струйного источника. В структуру СВУ могут входить логические и дискретные струйные элементы. Так, струйное программно-временное устройство (СПВУ) предназначено для

выдачи команды на исполнительное устройство через заданное время с заданной точностью. В качестве опорного генератора используется генератор в струйном исполнении.

Структурная схема струйного взрывателя с аэродинамическим источником питания представлена на рис. 1.

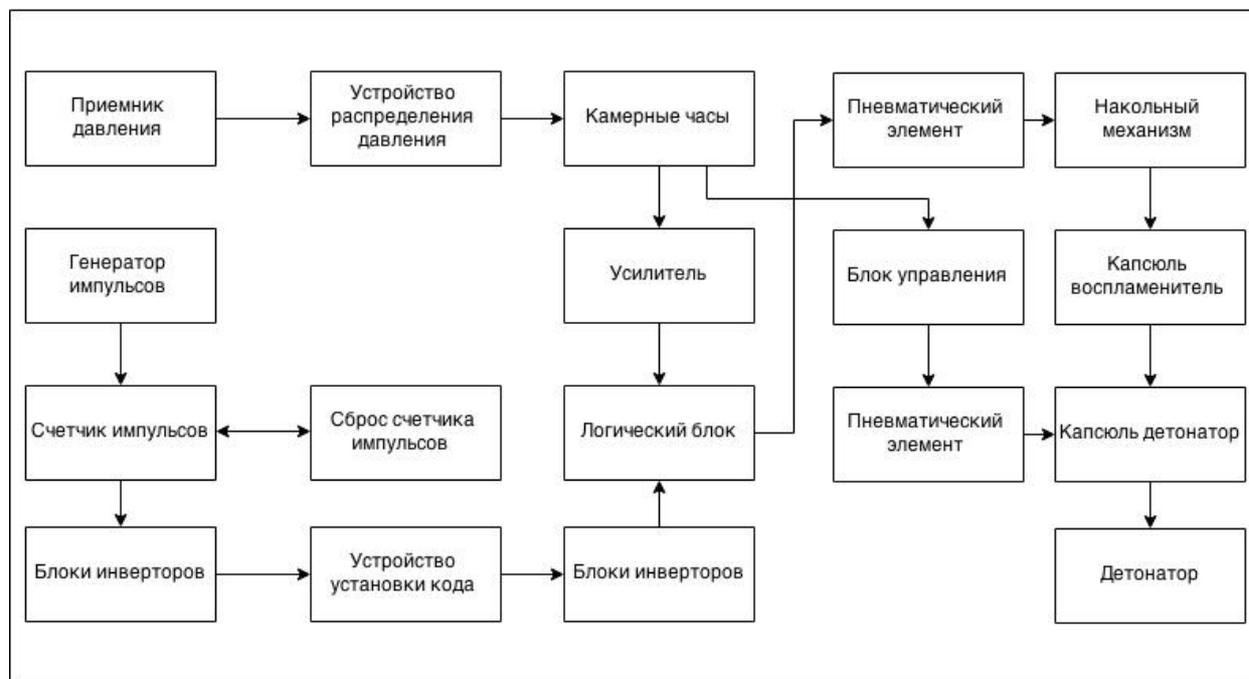


Рис. 1. Структурная схема струйного взрывателя

Питание системы осуществляется от набегающего потока воздуха, который поступает на вход приемника и подается на струйные элементы через коллектор и понизители давления, выполненные в виде дроссельных делителей давления (устройство распределения давления). МДВ, представленный в структурной схеме камерными часами, отсчитывает заданное время и подает сигнал на пневматический исполнительный элемент через блок усилителей, в результате чего перемещается втулка с капсюлем детонатором и замыкает огневую цепь, завершая подготовку взрывателя к срабатыванию при встрече с целью. После отсчета заданного времени выдается команда на исполнительное устройство. Опорный генератор выдает импульсы с заданной частотой на счетчик. В начальный момент времени происходит сброс счетчика на «О», после чего начинается отсчет импульсов.

Установка времени осуществляется с помощью преобразователя угол – код, который коммутирует соответствующие выходы счетчика импульсов через усилители с логическими блоками. Блоки инверторов до и после установщика кода необходимы для упрощения схемы логического блока, уменьшения числа элементов в нем, тем самым

сокращая задержку передачи сигнала. Логический блок выдает сигнал только в том случае, если есть разрешающий сигнал с МДВ. После этого сигнал поступает на пневматический элемент, который приводит в действие накольно-воспламенительный механизм. Установка времени осуществляется поворотом кольца механизма установки на необходимый угол с помощью ключа.

Основной составной частью большинства взрывателей является программно-временное устройство, обеспечивающее последовательную выдачу команд в соответствии с заданной программой [4]. Учитывая преимущества дискретного отсчета времени, при разработке ПВУ предпочтение было отдано дискретным элементам.

### Аэродинамический источник питания

В данной работе рассматривается аэродинамический источник питания, изображенный на рис. 2.

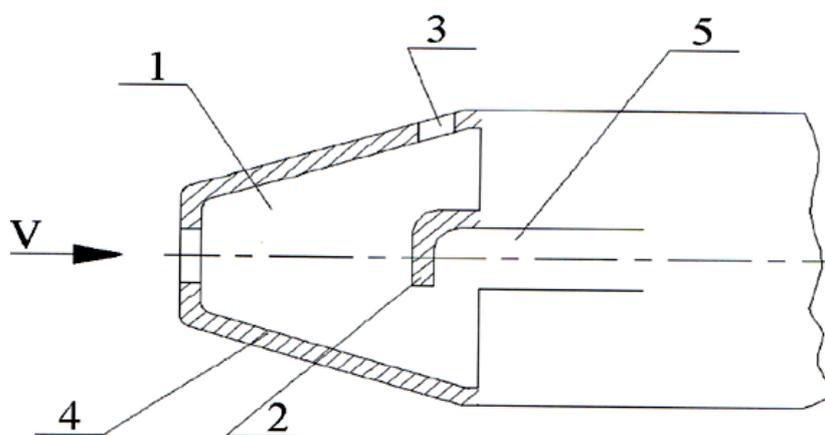


Рис. 2. Аэродинамический источник питания

Воздушный поток со скоростью  $V$  тормозится у входа в камеру 1. Воздух через трубку 5 подается по магистрали к элементам схемы струйного взрывателя. Дренажное отверстие 3 с козырьком 2 в корпусе 4 предназначено для отвода влаги из камеры 1.

Рассчитаем параметры воздушного потока на входе трубки 5, используя работу [10]. Приемник фиксирует полное давление  $p$ , т.е. давление, приложенное к единице поверхности тела, плоскость которого нормальна к вектору скорости набегающего потока  $V$ :

$$p = p_{ст} + p_{дин},$$

где  $p_{ст}$  – статическое давление;

$$p_{дин} = \rho V^2 / 2 \text{ – давление скоростного напора;}$$

$\rho$  – плотность воздуха..

При расчете источника питания необходимо учитывать особенности полета снаряда. При обтекании снаряда сверхзвуковым потоком непосредственно перед головной частью снаряда (и, соответственно, взрывателя) возникает прямой скачок уплотнения, после которого поток воздуха сохраняет первоначальное направление, а его скорость может быть определена из соотношения

$$\frac{V_1}{V} = \frac{1}{k+1} \cdot \left( k - 1 + \frac{2}{M^2} \right), \quad (1)$$

где  $M = V/a$  – число Маха;

$a$  – скорость звука в данной точке траектории;

$k$  – показатель адиабаты (для воздуха  $k \approx 1,4$ ).

Плотность воздуха  $\rho_1$  после скачка уплотнения может быть найдена из соотношения

$$\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{k+1}{k-1 + \frac{2}{M^2}}. \quad (2)$$

Запишем уравнение движения элементарного участка горизонтального воздушного потока длиной  $dl$  и площадью сечения  $ds$

$$\rho_1 \cdot ds \cdot dl \cdot \frac{dV}{dt} = \rho_1 \cdot ds \cdot VdV = [p - (p + dp)]ds,$$

т.е.

$$\rho_1 VdV = -dp.$$

Интегрируя, получим:

$$\rho_1 \cdot \frac{V^2 - V_1^2}{2} = p - p_1 = p_1 \cdot \left( \frac{p}{p_1} - 1 \right) \quad (3)$$

Учитывая сжимаемость воздуха, и принимая адиабатическую зависимость  $p_1/p = (\rho/\rho_1)^k$ , будем иметь

$$\rho_1 \frac{V^2 - V_1^2}{2} = \rho \cdot \frac{\rho_1}{\rho} \frac{V^2 - V_1^2}{2} = \frac{\rho V^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V} \right)^2 \right] \cdot \frac{\rho_1}{\rho} = p_1 \cdot \left[ \left( \frac{\rho_1}{\rho} \right)^k - 1 \right],$$

Откуда:

$$p_1 = \frac{\rho V^2}{2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V} \right)^2 \right] \cdot \frac{\rho_1/\rho}{(\rho_1/\rho)^k - 1} \quad (4)$$

Таким образом, искомое давление выражено через скоростной напор в головной части снаряда (взрывателя). Вследствие потерь полное давление в конце приемника меньше входного:

$$P_K = \sigma_k \cdot P_1,$$

где  $\sigma_k$  – коэффициент сохранения полного давления в приемнике, который можно вычислить по формуле

$$\sigma_K = 1 - \frac{k}{k-1} \cdot \xi \cdot \lambda^2,$$

где  $\lambda = V_1/a_{кр}$ ;

$a_{кр}$  – критическая скорость звука;

$$\xi = (S_k/S_1 - 1)^2;$$

$S_1$  и  $S_k$  – площади входного и конечного сечений.

В общем случае  $\sigma_k < 1$ ; при постоянстве сечения, очевидно,  $\sigma_k = 1$ , т.е. потери отсутствуют.

В качестве примера проведем расчет применительно к зенитной автоматической 57-мм пушке С-60 [1]. Методики расчета процессов внутренней и внешней баллистики приведены в [1, 11]. Предельная дальность стрельбы из данного орудия 6 км, предельная высота 4 км. На рис. 3 показан закон изменения скорости снаряда при выстреле; видно, что дульная скорость  $V_0 = 1000$  м/с.

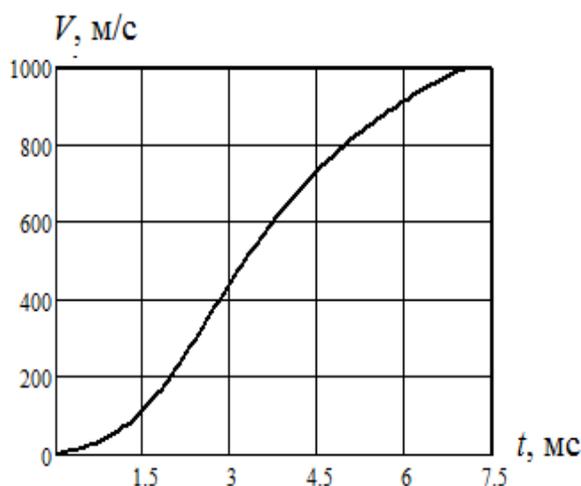


Рис. 3. Закон изменения скорости снаряда при выстреле из пушки С-60

Оценку работоспособности аэродинамического источника питания проведем от точки выстрела до предельной высоты, охватывая, таким образом, всю траекторию. Параметры воздуха определяем с помощью стандартной атмосферы (ГОСТ 4401-81), при

нормальных условиях. При расчете используем формулы (1) – (4). Расчет параметров траектории снаряда проводим при угле возвышения, типичном для зенитной пушки –  $60^\circ$  (при ограничении высоты ее предельным значением 4 км). На рис. 4 показан график изменения скорости снаряда в зависимости от высоты полета.

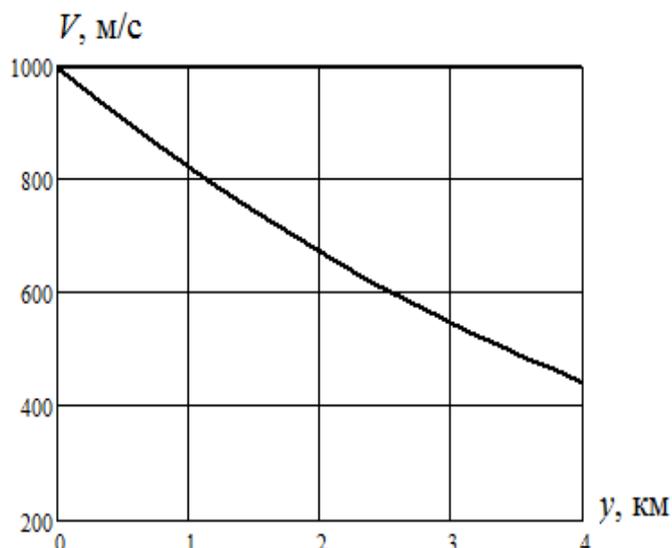


Рис. 4. Изменение скорости снаряда в зависимости от высоты полета

Результаты вычислений для ряда значений высоты приведены в таблице.

$y$ , км	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$a$ , мс	$p_{ст}$ , МПа	$V$ , м/с	$M$
0	1,225	340,3	0,101	1000	2,94
1,0	1,117	336,4	0,0899	925	2,75
2,0	1,006	332,5	0,0795	680	2,045
3,0	0,909	328,6	0,0701	550	1,673
4,0	0,819	324,5	0,0617	440	1,356

$y$ , км	$V_1/V$	$\rho_1/\rho$	$\rho V^2/2$ , МПа	$p_1$ , МПа	$\Delta p = p_1 - p_{ст}$ , МПа
0	0,264	3,78	0,612	0,416	0,315
1,0	0,276	3,623	0,479	0,316	0,226
2,0	0,366	2,732	0,232	0,178	0,098
3,0	0,464	2,155	0,137	0,120	0,050
4,0	0,619	1,615	0,0793	0,082	0,0208

Из таблицы видно, что избыточное давление на входе струйной системы, т.е. работоспособность аэродинамического источника питания, обеспечивается в пределах

всей предельной траектории. Это гарантирует дальнейшее взведение и надежное функционирование струйных элементов и блоков взрывателя до момента встречи с целью. Вопрос о способах фильтрации воздушного потока в приемнике в данной работе не рассматривается.

Следует отметить достаточно высокое давление на начальном участке траектории снаряда, и не исключена необходимость дросселирования воздушного потока в приемнике на этом участке.

В дальнейшем предполагается проведение математического и физического моделирования процесса функционирования струйных элементов для обоснования параметров ЭСТ с точки зрения их возможного использования во взрывателях.

### Список литературы

1. Ефремов А.К. Автономные информационные и управляющие системы. В 4 т. Т. 4. / под ред. А.Б. Борзова. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011. 332 с.
2. Средства поражения и боеприпасы: учебник / под общей ред. В.В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 984 с.
3. Андрейкин П.В., Зезекало А.В., Исаев И.Ш. Теория проектирования мехатронных устройств. В 2 ч. Ч. 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. 104 с.
4. Ефремов А.К., Кощеев В.Н. Программно-временные устройства на струйных элементах // Вопросы проектирования приборных устройств. Труды МВТУ, № 391, 1982. С. 67-75.
5. Залманзон Л.А. Теория элементов пневмоники. М.: Наука, 1969. 507 с.
6. Шполянский Б.А. Хронометрия. М.: Машиностроение, 1974. 656 с.
7. Алексеев М.Н., Белов В.В., Кулешов Ю.П. Программные устройства на пневматических струйных элементах // Пневматические средства и системы управления. М.: Наука, 1970. С. 291-305
8. Чудаков А.Д. Цифровые устройства пневмоники. М.: Энергия, 1971. 112 с.
9. Мурзинов В.Л. Методы пневмоники в управлении струйными потоками в системах транспортирования на воздушной подушке // Научный журнал КубГАУ. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 74(10). 2011. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/13.pdf> (дата обращения 30.11.2015).
10. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1. Изд. 5-е. М.: Наука, 1991. 600 с.

11. Бурлов В.В., Грабин В.В. Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя / под ред Л.Н. Лысенко, А.М. Липанова. 1-е изд. М.: Машиностроение, 2006. 461 с.