

УДК 533.5

ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПАРАМЕТРЫ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ ГИДРОПУШКИ

В. А. БИГВАВА, А. В. КОЧЕРГИН, Г. Л. ЛОГУНОВА, инженеры (НИПКИ «Искра», г. Луганск)

Исследованы параметры внутренней баллистики гидропушки. Приведены результаты сравнительных расчетов выстрела в воду и воздух, а также экспериментальных исследований. Показано, что окружающая среда в данном случае не оказывает практически значимого воздействия на внутреннюю баллистику гидропушки.

Досліджено параметри внутрішньої балістики гідрогармати. Наведено результати порівняльних розрахунків пострілу в воду та повітря, а також експериментальних досліджень. Показано, що навколишнє середовище в даному випадку не чинить практично вагомого впливу на внутрішню балістику гідрогармати.

Parameters of the hydraulic gun ballistics were investigated. Results of comparative calculations of shots into water and air as well as experimental investigations are presented. It is shown that the environment in this case does not exert practically significant effect on internal ballistics of a hydraulic gun.

Гидропушка представляет собой гидродинамическое устройство с пороховым зарядом для обезвреживания взрывоопасных предметов. Проблемы обезвреживания взрывоопасных предметов, методы и способы их нейтрализации или разрушения их оболочек без детонации с использованием скоростной водяной струи рассмотрены в работах [1, 2]. Баллистические характеристики гидроимпульсных устройств с пороховым зарядом исследованы в публикациях [3–5].

Теоретические исследования. Гидропушка, генерирующая импульсную струю жидкости, погружена в такую же жидкость. На некотором расстоянии L от среза сопла перпендикулярно оси ствола расположена плоская полубесконечная преграда. Необходимо оценить влияние окружающей среды на параметры внутренней баллистики гидропушки.

Математически задача сводится к совместному решению уравнений внутренней баллистики гидропушки и задаче о распространении и взаимодействии затопленной струи жидкости с преградой. Течение в гидропушке данного типа подробно рассмотрено в работе [6]. Поэтому детально остановимся на анализе течения затопленной струи жидкости и взаимодействии ее с преградой.

© В. А. БИГВАВА, А. В. КОЧЕРГИН, Г. Л. ЛОГУНОВА, 2009

Импульсный характер процесса и большие градиенты параметров течения позволяют пренебречь вязкостью жидкости и рассматривать течение в рамках модели газовой динамики для идеальной жидкости. Благодаря осевой симметрии можно использовать цилиндрическую систему координат, что упрощает задачу. Ось направим вдоль оси гидропушки, начало системы координат поместим на срезе сопла. В выбранной системе координат течение жидкости описывается следующей системой уравнений нестационарной газовой динамики:

$$\begin{aligned} \frac{dR_0 r}{dt} + \frac{dR_0 u r}{dx} + \frac{dR_0 v r}{dr} &= 0, \\ \frac{d}{dt}(R_0 u r) + \frac{d}{dx}(R_0 u + P)r + \frac{d}{dr}(R_0 u v r) &= 0, \\ \frac{d}{dt}(R_0 v r) + \frac{d}{dr}(R_0 v + P)r + \frac{d}{dx}(R_0 u v r) &= 0, \end{aligned}$$

которая замыкается уравнением изэнтропии в форме Тэта

$$P = B \left[\left(\frac{R}{R_0} \right)^n - 1 \right],$$

где t — время; x , r — осевая и радиальная координаты; u , v — компоненты скорости по

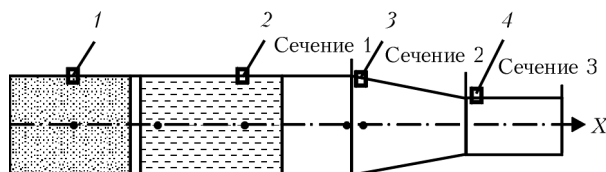


Рис. 1. Схема расположения расчетных сечений и датчиков по длине ствола гидропушки

осям x и r ; R_0 , P — плотность и давление воды; $n = 7,15$ — показатель адиабаты; $B = = 304,5$ МПа — эмпирическая константа.

Начальные условия: движение жидкости начинается с момента времени t_c :

$$u(t_c, x, r) = 0, \quad v(t_c, x, r) = 0, \quad P(t_c, x, r) = P_0,$$

когда $0 < x \leq L$; $0 \leq r \leq \infty$ струя достигает среза сопла гидропушки, где L — расстояние до преграды.

На срезе сопла граничные условия разрывны. Справа они определяются названными выше условиями, а слева устанавливаются в процессе расчета течения в гидропушке

$$u(t_c, x) = U_q, \quad P(t_c, x) = P_q, \quad x < 0,$$

где U_q , P_q — скорость и давление на фронте втекания.

Граничные условия: на преграде (правая граница) ставится условие непротекания

$$u(t, L, r) = 0, \quad 0 \leq r \leq \infty.$$

Подобное условие ставится на поверхности, проходящей через срез сопла и являющейся торцом гидропушки

$$u(t, 0, r) = 0, \quad r_c \leq r \leq \infty,$$

где r_c — радиус сопла гидропушки.

В выходном сечении гидропушки ($X = 0$, $0 < r < r_c$) никаких граничных условий не ставится и расчет производится сквозным образом.

На оси X ставятся условия симметрии течения

$$\left. \frac{du}{dr} \right|_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{dv}{dr} \right|_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{dP}{dr} \right|_{r=0} = 0,$$

$$0 \leq x < L, \quad t > t_c.$$

Решить поставленную задачу можно только численно конечно-разностными методами.

Для расчета осесимметричных нестационарных течений жидкости использовали метод Годунова [7], развитый в работах [8, 9]. Алгоритм расчета в связи с его сложностью опущен.

Были проведены сравнительные расчеты выстрела в воду и воздух для пороха марки ВТ. Гидропушка имела следующие конструктивные данные: диаметр ствола 40 мм; диаметр коллиматора 20 мм; сопло — конус с углом 15° ; длина коллиматора 80 мм; длина

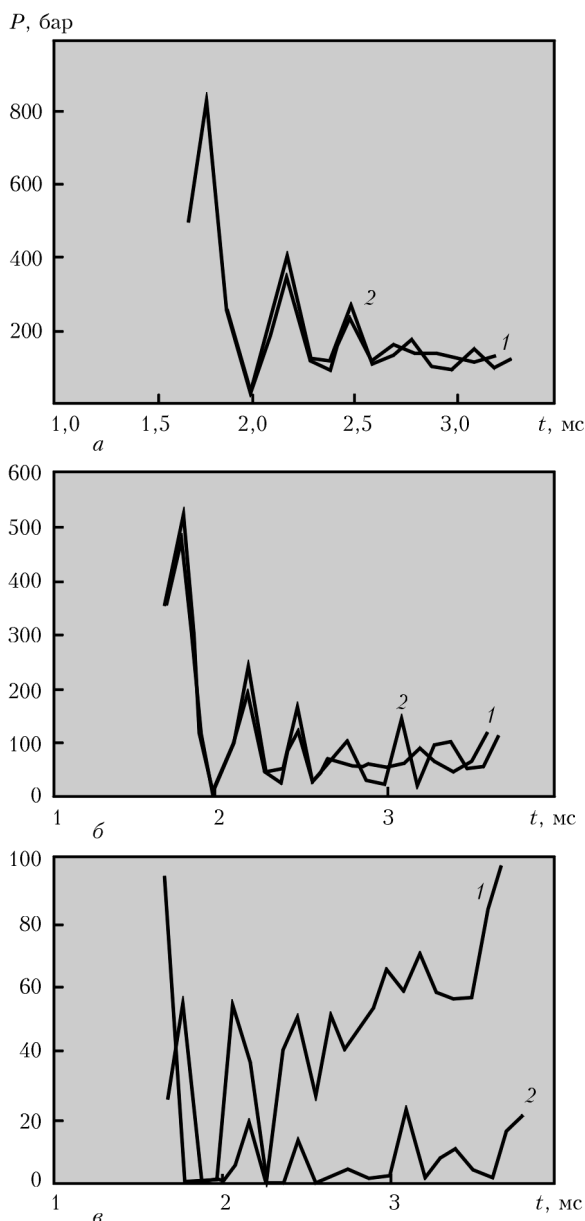


Рис. 2. Зависимость давления от времени при выстреле в затопленное пространство (1) и воздух (2) для трех сечений (а-в)

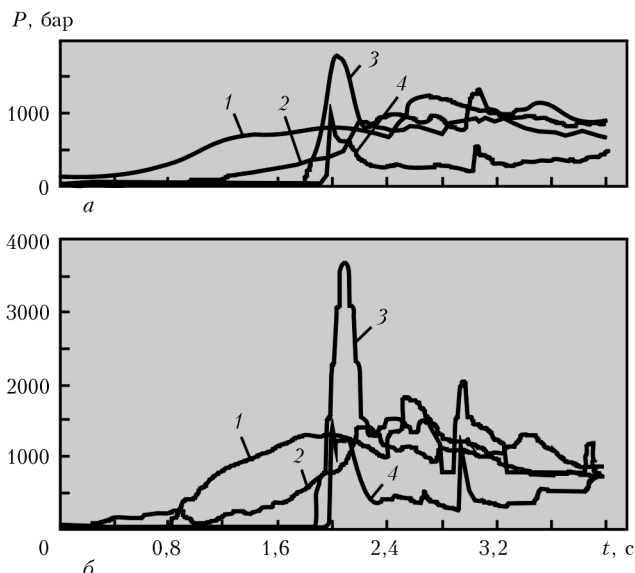


Рис. 3. Экспериментальные данные измерения давления при выстреле в затопленное пространство (а) и воздух (б) в зарядной камере (1), в стволе (2), на входе в сопло (3) и на входе в коллиматор (4)

цилиндрической части ствола 400 мм; объем зарядной камеры 135 мл; масса залитой воды 400 г; масса порохового заряда 80 г.

Расстояние до преграды принимали равным одному калибру (20 мм).

Схема расположения расчетных сечений и датчиков для замера реального давления по длине ствола гидропушки представлена на рис. 1.

На рис. 2 сравнивали расчетное давление в трех сечениях: у входа в сопло (1), у входа в коллиматор (2), на дульном срезе (3). Из приведенных зависимостей видно, что характер баллистических кривых для разных условий выстрела гидропушки заметно отличается только в непосредственной близости от дульного среза.

Экспериментальные исследования. Для проверки результатов расчетов проведены экспериментальные исследования. Контролируемыми параметрами являлись графики давления в контрольных точках. Давление измеряли на закрытом баллистическом стенде одновременно в четырех точках с помощью пьезодатчиков типа 6211 фирмы «Kistler». Для имитации затопленного пространства перед соплом гидропушки с нулевым зазором установлен тонкостенный бак размером 400×400×600 мм, заполненный водой. Испы-

тания проводили на баллистическом стволе с геометрическими характеристиками, адекватными принятым для расчетов. Использовали пороховой заряд из пороха марки СЕНФ 44/3.72 массой 100 г.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные измерения давления для выстрела в затопленное пространство и воздух. Сравнительный анализ характера изменения давления на входе в сопло (сечение 1 на рис. 1 и кривая 3 на рис. 3) и на входе в коллиматор (сечение 2 на рис. 2, б и кривая 4 на рис. 3) показывает удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. Полученные расчетные данные и их экспериментальное подтверждение позволяют сделать вывод о том, что в нашем случае окружающая среда, влияя на динамику истечения ультразвуки и давление в коллиматоре, практически не оказывает значимого воздействия на внутреннюю баллистику гидропушки. ☛

1. Шаповалов В. Д. Приборы и технологии для чрезвычайных ситуаций // Надзвичайна ситуація. — 2007. — № 8. — С. 56–59.
2. Литвин В. П. Гидродинамический способ обезвреживания взрывоопасных предметов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2007. — № 3. — С. 6–10.
3. Бигвава В. А., Семко А. Н. Исследование влияния затопленного пространства на баллистические характеристики безударной гидропушки с пороховым зарядом // Информационные технологии: Сб. тр. Науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-та «Искра». — 1998. — Вып. 1. — С. 231–243.
4. Кочергин А. В., Бигвава В. А., Губский В. И. и др. Математическая модель и баллистические характеристики безударной гидропушки с пороховым зарядом // Там же. — С. 243–248.
5. Атанов Г. А., Семко А. Н. Расчет импульсной струи пороховой гидропушки под водой // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. — 2002. — № 2. — С. 31–38.
6. Бигвава В. А., Кочергин А. В., Логунова Г. Л. Особенности применения гидропушек для обезвреживания взрывоопасных предметов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2008. — № 4. — С. 24–29.
7. Численное решение многомерных задач газовой динамики / Под ред. С. К. Годунова. — М.: Наука, 1976. — 400 с.
8. Атанов Г. А., Уланов Н. Г. Расчет удара струи с неплоской головной частью о плоскую преграду // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. — 1977. — № 2. — С. 187–188.
9. Атанов Г. А., Меско А. Н. Распространение ударной волны по струе воды // Там же. — 1977. — № 1. — С. 190–192.