

Пневмогидравлическое метательное устройство для разгона крупногабаритных объектов при испытаниях авиационной техники на удар посторонним предметом

Кулаков В.В., **Петров С.Б.**, Петров Д.С., Никифоров В.С., Сафронов А.В.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

e-mail: dspetrov@ciam.ru

Предложен пневмогидравлический способ разгона метаемых снарядов для проведения прочностных испытаний авиационной техники. Спроектировано и изготовлено пневмогидравлическое метательное устройство. Предложена схема обвязки для проведения его испытаний. Приведены расчетные зависимости скорости гидравлической струи от давления вытесняющего воздуха.

Ключевые слова: испытания на удар, прочностные испытания, удар посторонним предметом, метательное устройство

Pneumohydraulic throwing device for accelerating large-sized objects in the process tests of aircraft equipment on impact with a foreign object

Kulakov V.V., **Petrov S.B.**, Petrov D.S., Nikiforov V.S., Safronov A.V.

CIAM, Moscow

There is proposed the pneumatic-hydraulic method of shooting projectiles. We designed and produced the pneumatic-hydraulic throwing device. We have proposed a scheme for supplying compressed air to this device for its testing. There are the calculated dependences of the hydraulic jet speed on the displacement air pressure.

Keywords: impact tests, strength tests, foreign object impact, throwing device

Введение

В ЦИАМ под руководством С.Б. Петрова было развито направление создания и эксплуатации установок для проведения испытаний авиадвигателей и летательных аппаратов на попадание посторонних предметов и накоплен большой опыт работ, связанных с метанием крупногабаритных объектов (мелкая стайная птица, средняя и крупная птицы, средний и крупный град, различные предметы цилиндрической и иных форм с поперечным сечением, укладываемым в описанную окружность диаметром 150 мм) с помощью пневматической пушки, разработанной в ЦИАМ (рис. 1 и рис. 2).

Стенд ЦИАМ был аттестован на выстрел со скоростью метаемого объекта от 20 до 280 м/с, а затем был

модернизирован и прошел переаттестацию на повышенную скорость, 305 м/с, при пусконаладочных испытаниях с использованием специальных средств была достигнута скорость более 400 м/с.

Существующая пушка имеет конструктивное ограничение: объект, которым ведется стрельба, должен поместиться в канал ствола, что ограничивает номенклатуру метаемых изделий по габаритным размерам. Для преодоления этого ограничения С.Б. Петровым был предложен способ разгона метаемого снаряда, послуживший основой изобретения, зарегистрированного его сотрудниками [1]. Рассматриваемое пневмогидравлическое метательное устройство (ПМУ) – результат дальнейшего развития авторами идей С.Б. Петрова.

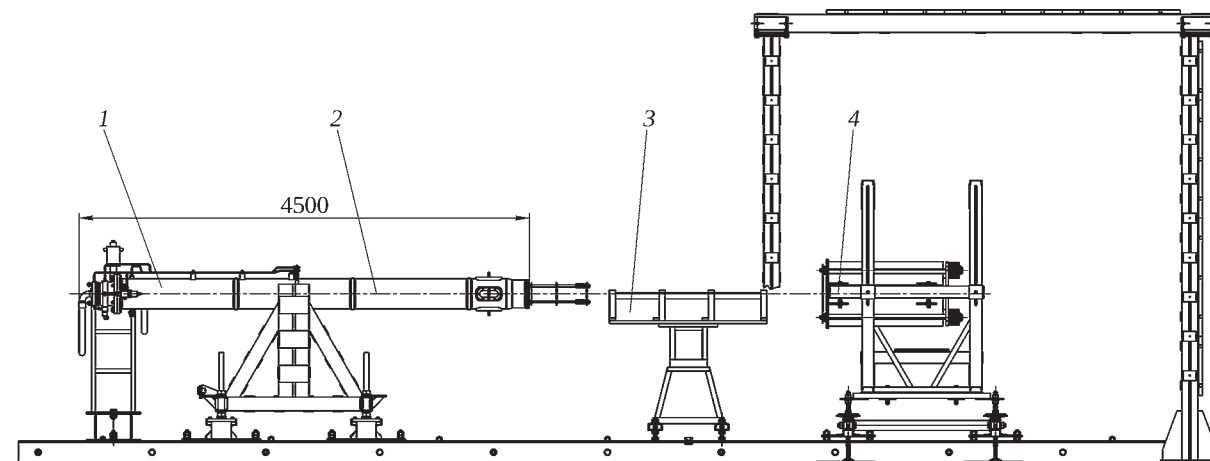


Рис. 1. Существующая пневматическая пушка (в компоновке с мишенью и уловителем) (вид сбоку):
1 – опытная метательная установка; 2 – ось выстрела; 3 – система замера скорости; 4 – мишень с уловителем

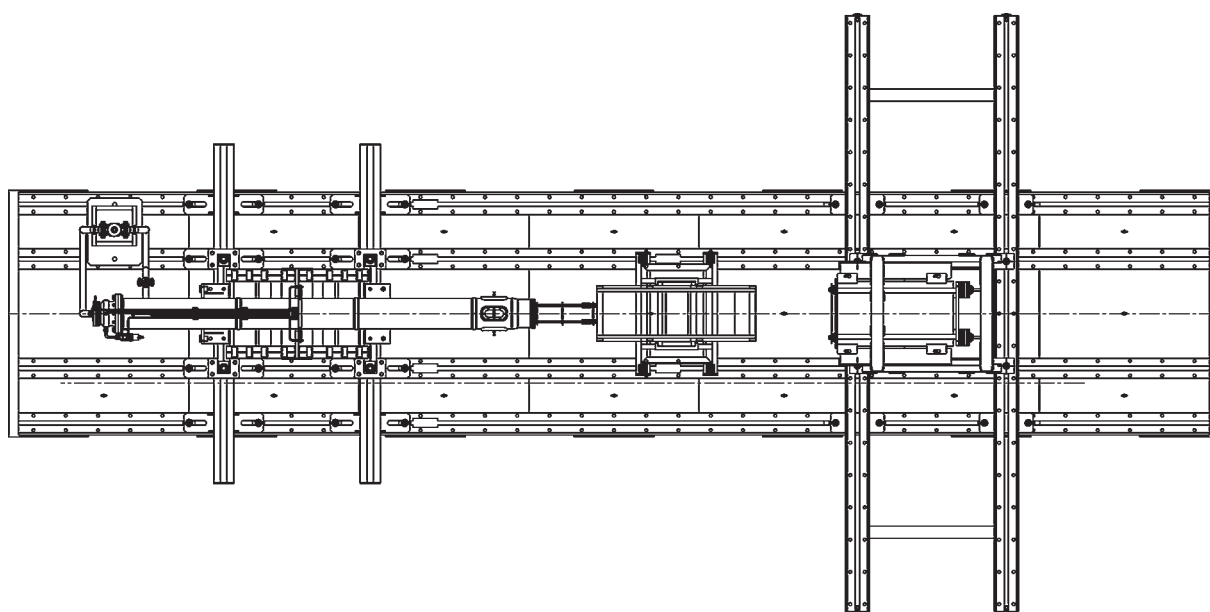


Рис. 2. Существующая пневматическая пушка (бокс защитный не показан) (вид сверху)

Описание устройства

Принцип действия устройства следующий. Гидроцилиндр разделен на две полости (рис. 3): одна из них заполнена водой, во вторую подается воздух под давлением. Поршень, двигаясь под действием давления воздуха, вытесняет воду через сопло, формируя струю, движущуюся с высокой скоростью. Водяная струя, воздействуя на каретку с метаемым снарядом, разгоняет их

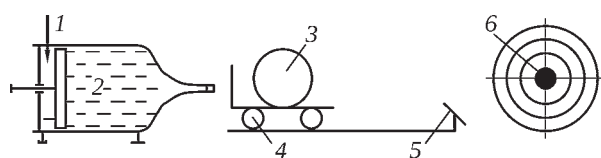


Рис. 3. Принцип действия устройства:
1 – воздух; 2 – вода; 3 – снаряд; 4 – каретка;
5 – стопор каретки; 6 – мишень (испытуемый объект)

по направляющей. В конце разгонного участка каретка останавливается с помощью стопора, а снаряд продолжает движение в сторону мишени.

Регулирование параметров выстрела может быть выполнено несколькими способами:

- 1) изменение давления в баллоне/емкости, откуда сжатый воздух поступает в ПМУ;
- 2) установка калиброванного сужающего устройства (дроссельной шайбы) на входе воздуха в ПМУ;
- 3) изменение количества воды при заправке ПМУ.

На рис. 4 показан состав пневмогидравлического метательного устройства. Сопло выполнено с профилем, максимально приближенным к профилю сопла Витошинского (с учетом возможностей производства). В исследовании [2] сопла, выполненные по профилю Витошинского, характеризуются как формирующие максимально компактную струю, обладающие макси-

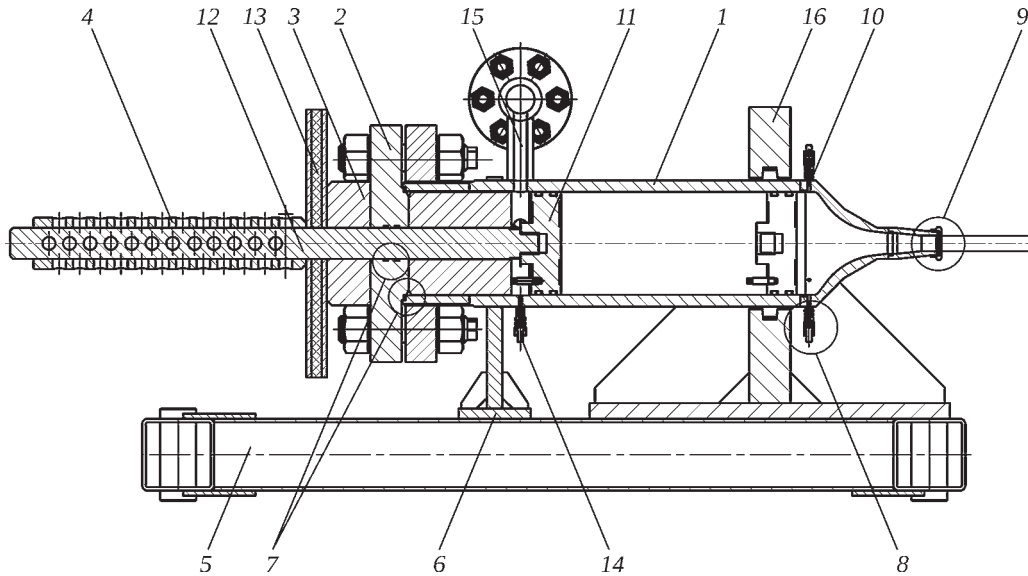


Рис. 4. Пневмогидравлическое метательное устройство:

- 1 – корпус; 2 – крышка задняя; 3 – упор; 4 – гильза упорная; 5 – станина; 6, 16 – опоры; 7 – уплотнения; 8 – штуцер залива воды; 9 – сопло; 10 – штуцер дренажный; 11 – поршень; 12 – шток; 13 – амортизатор; 14 – штуцер дренажный; 15 – штуцер подачи воздуха

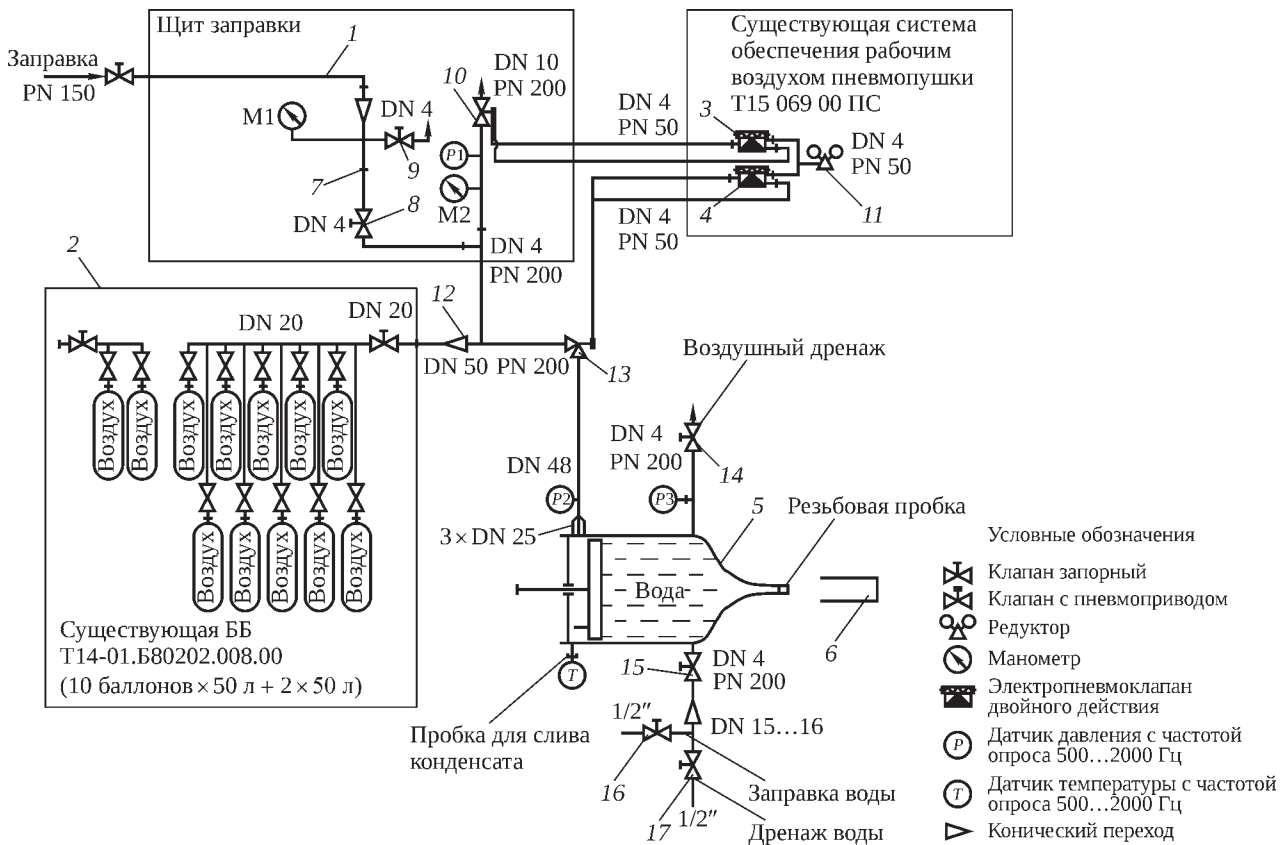


Рис. 5. Схема подключения экспериментального ПМУ.

- Существующее оборудование: 1 – магистраль PN 150; 2 – баллонная батарея, 10 баллонов × 50 л; 3, 4 – электропневмоклапан двойного действия; 5 – генератор водяной струи; 6 – уловитель; 11 – редуктор РВ-90.
 Новое устанавливаемое оборудование: 7 – разъемное соединение; 8, 9, 14, 15 – клапан запорный DN 4; 10 – клапан запорный DN 10; 12 – конический переход; 13 – клапан пневмоуправляемый; 16, 17 – краны 1/2" для подвода и слива воды

мальным коэффициентом преобразования энергии и давлением на преграду, а также минимальной скоростью струи. Также отмечается, что при увеличении расстояния до преграды меньше всего давление на преграду снижается у сопла Витошинского. Предметами сравнения в [2] были сопла коноидального, катеноидального, экспоненциального, конического профилей. Характеристики, обеспечивающие максимальный импульс, передаваемый струей воды, на максимальной дистанции, предопределили выбор сопла Витошинского для проектирования.

При выполнении предварительных расчетов рассматривался вариант пороховой гидравлической пушки вместо пневматической, однако он был отвергнут из-за слишком высокой скорости струи, формируемой такими устройствами, – 800...1560 м/с [3]. На таких скоростях возможно разрушение каретки и/или метаемого объекта, а также срыв каретки с направляющих из-за возможных неточностей процедуры прицеливания струи – отклонения струи от центра масс системы каретка – объект.

На рис. 5 приведена схема подключения экспериментального ПМУ для проведения исследований. В ходе предварительных исследований ПМУ, с ограничением по рабочему давлению, были проведены испытания, позволившие оценить дистанцию, на которой струя не разрушается, зависимость начальной скорости струи от давления вытесняющего воздуха, характер изменения давления воды и воздуха, температуры воздуха в ПМУ во время выстрела.

Расчетные характеристики устройства

ПМУ проектируется для метания снарядов с относительно большим поперечным сечением (более 150 мм), обладающих в реальных условиях относительно невысокой скоростью соударения с объектом (20...90 м/с). Основные выбранные характеристики ПМУ:

Давление воздуха на входе, МПа ≤ 30
Начальный объем воздушной полости, м ³ 0,86·10 ⁻³
Начальный объем запоршневой (водной) полости, м ³ ≤ 0,86·10 ⁻³
Диаметр сопла для воды, м 0,03
Скорость струи воды, м/с ≤ 140
Длина разгонного пути заряда, м ≤ 5
Масса заряда с разгонной тележкой, кг 10

На рис. 6 приведены расчетные зависимости скорости струи от начального давления вытесняющего воздуха. Расчетные результаты получены для следующих допущений и условий. Рабочий процесс, который начинается с момента начала открытия быстродействующего клапана и заканчивается моментом, когда поршень ПМУ переместится от нулевого положения

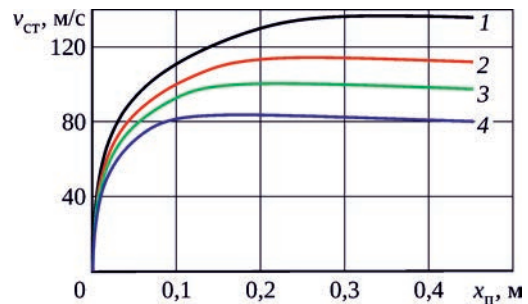


Рис. 6. Расчетное изменение скорости струи в зависимости от величины перемещения поршня в процессе выстрела для разного начального давления в баллонной батарее:

1 – p_б = 300 бар; 2 – p_б = 200 бар;
3 – p_б = 150 бар; 4 – p_б = 100 бар

на расстояние 450 мм, будем называть полным выстрелом. Баллонная батарея (источник воздуха высокого давления) состоит из 10 баллонов объемом 0,04 м³ (40 литров). Расчеты процесса опорожнения баллона, процесса заполнения воздушной полости (ствола) и работы по перемещению поршня выполнены в рамках модели идеального газа. Давление воздуха на входе в быстродействующий клапан равно текущему давлению в баллоне в течение всего процесса выстрела. Проходное сечение клапана изменяется пропорционально в течение времени срабатывания: $S_{кл} = S_0 \tau / \tau_{кл}$.

Результаты предварительных экспериментов

После изготовления ПМУ (рис. 7) было принято решение провести серию стрельб для уточнения параметров установки. Была выполнена обвязка ПМУ (см. рис. 5), использовалась существующая мобильная баллонная рампа.

Измерение скорости проводилось с помощью датчиков (фотоэлектрических), установленных на выносном блок-участке, вдоль движения струи. Сигнал с датчиков подается на частотомер, обеспечивающий фиксирование скорости с погрешностью не более 2%.

Эксперимент показал работоспособность пневмогидравлического метательного устройства, однако скорость истечения стабилизировалась в пределах 34...40 м/с (рис. 8), тогда как при давлении 100...150 бар ожидалась скорость 80...100 м/с.

Анализ элементов демонстратора технологии показал, что использование существующей баллонной рампы привело к заужению проходных сечений (согласно расчету, необходимо ~DN 50), в особенности в баллонных вентилях (10 шт. × DN 4 – эквивалентное сечение DN 14) и рамповом коллекторе (DN 20). Независимость скорости водяной струи от давления вытесняющего воздуха позволяет предположить заклинивание трубопровода. (Результат ожидаемый, но неизбежный, так как

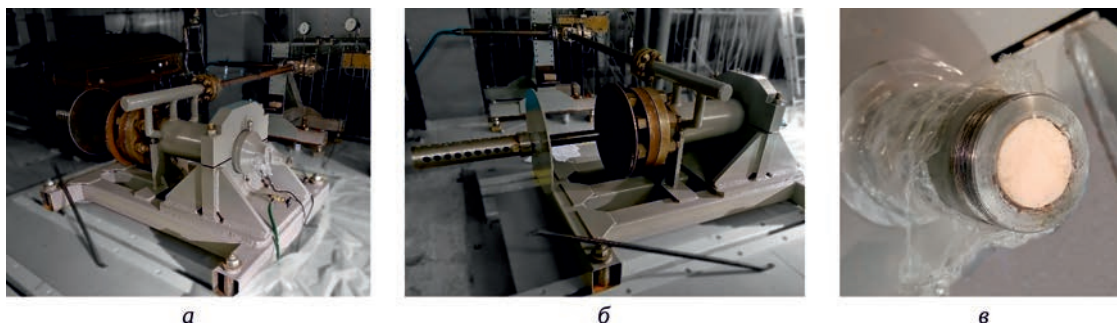


Рис. 7. Экспериментальный образец ПМУ:
а – вид спереди; б – вид сзади; в – срез сопла с заглушкой из пенополистирола

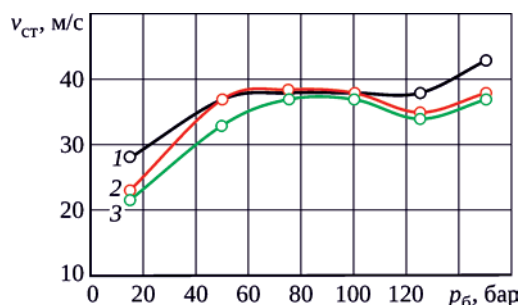


Рис. 8. Экспериментальные зависимости скорости струи от начального давления в баллонной батарее для разного исходного положения поршня:

1 – поршень выдвинут на 410 мм;
2 – на 259 мм; 3 – на 165 мм

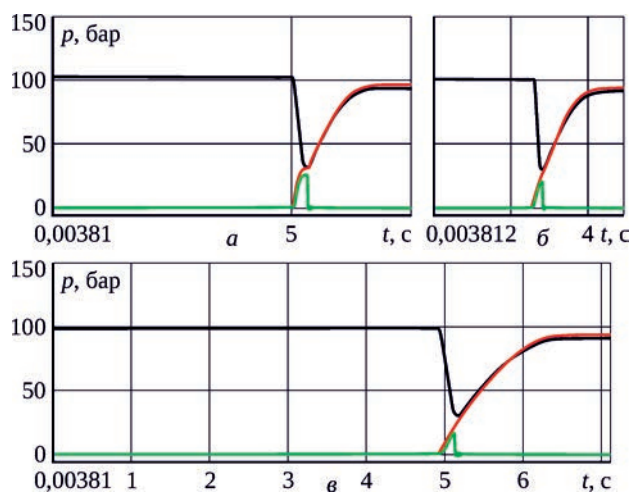


Рис. 9. Экспериментальные графики давления, полученные по показаниям датчиков Р1 (черная линия), Р2 (красная линия) и Р3 (зеленая линия)

для разного исходного положения поршня:
а – поршень выдвинут на 410 мм;
б – на 259 мм; в – на 165 мм

другой баллонной батарее на момент тестовых стрельб первого этапа не было.)

В качестве примера на рис. 9 приведены данные трех выстрелов с давлением вытесняющего воздуха 100 бар и различным исходным положением поршня. С помощью датчиков Р1, Р2 и Р3 измерялось давление на выходе из баллонной батареи, на входе в воздушную

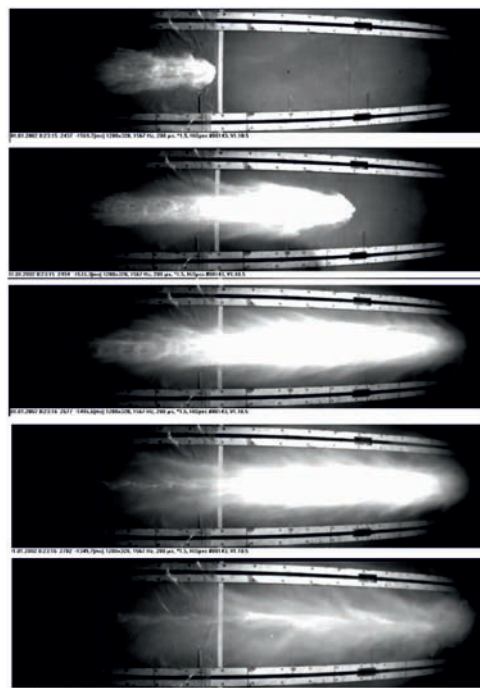


Рис. 10. Струя воды при выстреле с давлением воздуха в баллонной батарее 100 бар и поршнем, выдвинутым на 410 мм

полость ПМУ и в водяной полости соответственно. На всех графиках виден провал давления на выходе из баллонной батареи, восстанавливающийся со временем, что говорит о недостаточном проходном сечении в обвязке баллонов.

На рис. 10 показаны кадры высокоскоростной съемки движения струи воды в процессе выстрела с начальным давлением в баллонной батарее 100 бар.

В ходе дальнейших работ следует создать каретку, направляющие для разгона метаемого снаряда, доработать или заново изготовить баллонную батарею/ресивер, откуда подается сжатый воздух.

Заключение

В работе описан пневмогидравлический способ метания снарядов для проведения прочностных испытаний.

Разработана конструкторская документация на пневмогидравлическое метательное устройство, пневмогидравлическая схема подключения к питающим сетям.

Изготовлен экспериментальный образец устройства. Проведена серия пробных стрельб, по итогам которых сделаны предложения о пути развития данной системы.

Литература

1. Пневмогидравлическое устройство для заброса тушек птиц и других предметов при испытаниях летательных аппаратов : описание изобретения к патенту RU 2562926 C1 / Шершаков С.М., Сафронов А.В., Петров Д.С. Заявка 2014123237/28, 09.06.2014 ; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. 11 с.
2. Решетняк В.В., Семенко А.Н. Влияние формы сопла на параметры гидропушки // Прикладна гідромеханіка. 2010. Т. 12, № 3. С. 62–74.
3. Козак Т.Н. Измерение давления в стволе пороховой гидропушки // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2010. № 1. С. 96–102. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2010_1_18.

References

1. Pnevmo gidravlicheskie ustroystvo dlia zabrosa tushek ptits i drugikh predmetov pri ispytaniikh letatel'nykh apparatov: opisaniye izobreteniia k patentu RU 2562926 C1 [Air-fluid device to throw birds' carcasses and other articles at aircraft tests: description of the invention for patent RU 2562926 C1]. Shershakov S.M., Safronov A.V., Petrov D.S. Application 2014123237/28, 09.06.2014; published on 09/10/2015, Bulletin no. 25. 11 p.
2. Reshetniak V.V., Semenko A.N. The effect of nozzle form on hydrogun parameters. Prikladna gidromekhanika [Applied Hydromechanics]. 2010. Vol. 12, no. 3. P. 62–74.
3. Kozak T.N. Izmereniye davleniia v stvole porokhovoii gidropushki [Measurement of pressure in a powder hydraulic gun's barrel]. Nauchnyi vestnik Donbasskoi gosudarstvennoi mashinostroitel'noi akademii [Scientific Bulletin of Donbass State Mechanical Engineering Academy]. 2010. No. 1. P. 96–102. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2010_1_18.

Материалы получены редакцией 11.02.2021