

УДК 629.7.018.3

doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-105-114

Безопасные условия проведения исследований с баллистическими установками*

С.И. Герасимов^{1,2}, И.А. Одзерихо^{1,2}, Р.В. Герасимова¹, А.В. Сальников³,
А.П. Калмыков², Б.А. Яненко¹

¹ Саровский физико-технический институт — филиал НИЯУ МИФИ

² Институт проблем машиностроения РАН

³ Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Safe Conditions for Conducting Tests Using Ballistic Facilities

S.I. Gerasimov^{1,2}, I.A. Odzeriho^{1,2}, R.V. Gerasimova¹, A.V. Salnikov³,
A.P. Kalmykov², B.A. Yanenko¹

¹ Sarov Institute of Physics and Technology — Branch of National Research Nuclear University MEPhI

² Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

³ Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics

Исследование физических и механических свойств материалов, подвергаемых интенсивным динамическим нагрузкам, — важная задача, имеющая большое практическое значение для современной техники различного назначения. В результате ударно-волнового нагружения и последующего расширения в материалах возникают как обратимые, так и необратимые физические и механические процессы. Среди них: сильное сжатие твердых тел, высокие температуры разогрева, фазовые превращения, изменение электронной структуры, упрочнение твердых тел в ударных волнах, откольное разрушение и др. Методы и устройства для создания интенсивных нагрузок подразделяют на несколько групп. В настоящее время в мировой практике для исследования динамической сжимаемости, прочностных характеристик и откольных явлений в лабораторных условиях наибольшее распространение получили пушечные метательные установки. В них метаемый объект перемещается в трубе под действием сжатого газа. Установки различаются по применяемому газу и способу его сжатия. Особенности установок ограничивают возможности регистрации и постановки исследований. Рассмотрены примеры определения границы внутренней и внешней баллистики, а также влияния элементов поддона и условий безопасности на метаемый объект при исследовании его взаимодействия с топливной средой.

Ключевые слова: аэробаллистические испытания, пушечные метательные установки, внутренняя и внешняя баллистика

Understanding the physical and thermomechanical response of materials subjected to intense dynamic loading is a significant challenge that has a practical implication for modern engineering. Shock compression followed by expansion precipitates both reversible and irreversible physical and mechanical processes in the material. These processes include strong compression in solids, high heating rates, phase transformations, electronic structure change, work hardening, spalling. Methods and devices for producing intense shock loads can be subdivided into several groups. Presently, in worldwide practice, gun type launchers

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-08-01096).

have gained the widest acceptance in studying dynamic compressibility, strength characteristics, and spallation phenomena in laboratory conditions. In this type of facility, the launched body moves in a tube under the force of a compressed gas. The facilities differ depending on the gas used and the method of its compression. Specific features of the facilities impose certain limitations on the registration and format of the tests. Examples of determining the boundary between the interior and exterior ballistics, the influence of the launched body supporting elements and the conditions of safe testing at high-speed entry in fuel are considered in this work.

Keywords: aeroballistic testing, gun type launchers, near muzzle and exterior ballistics

Аэробаллистический эксперимент обладает рядом преимуществ перед другими способами решения практических задач в области ракетно-космической техники. Однако постановка эксперимента связана с учетом таких технических особенностей, как граница внутренней и внешней баллистики для заданного типа установки, калибр метаемого объекта, масса пороха, отделение элементов поддона и их уход или отсечка с траектории объекта испытания и пр.

Цель работы — анализ эффектов, сопровождающих проведение аэробаллистического испытания с использованием легкогазовой баллистической установки.

Ствольные баллистические установки (СБУ).

Такие установки [1] применяют на полигонах и баллистических трассах для решения прикладных задач и проведения фундаментальных научных исследований в области гиперзвуковой аэродинамики, теплообмена при обтекании, поведения материалов и конструкций в условиях интенсивных механических нагрузок.

Преимущество пушечных метательных установок перед другими средствами разгона заключается в обеспечении высокоскоростного метания объектов с заданными массой, формой и скоростью. Причем эти преимущества особенно проявляются при увеличении скорости и массы метаемых объектов (МО).

Для надежной работы СБУ в экспериментах необходимо определить параметры заряжания, гарантирующие достижение необходимой скорости метания при условии не превышения допустимых нагрузок на узлы установки и МО. При этом следует учитывать реальные возможности установки по обеспечению тех или иных параметров выстрела, трудоемкость подготовки испытаний, стоимость расходных материалов и т. д. В расчетах используют математическую модель, описывающую течение газопороховой смеси и легкого газа с учетом трения и теплоотдачи [2].

Так как при аэробаллистических испытаниях самым слабым звеном с точки зрения прочности является МО, а именно исследуемая модель и несущий ее поддон, поиск оптимальных параметров заряжания осуществляется исходя из условий обеспечения заданной скорости при минимальной нагрузке на МО. При ударных испытаниях фактором, ограничивающим дульную скорость, как правило, является несущая способность форкамеры.

При отработке наиболее мощных СБУ — легкогазовых пушек (ЛГП) — необходимо обеспечить стабильное горение метательных зарядов большой (до 21 кг) массы из зернового пироксилинового пороха и после выстрела экстракцию из форкамеры полиэтиленовых поршней массой 20...60 кг, внедряющихся в ее конический участок на глубину до 1,7 м [3, 4].

При ударных испытаниях в СБУ происходит разгон калиберных ударников, выполненных в виде цилиндров с относительным удлинением $\bar{l} = 1,1...1,4$. В качестве материала ударников, масса которых достигает 1...2 кг, используют полиэтилен, асботекстолит, сталь, алюминий и др. В опытах определяют скорость полета ударника, осуществляют скоростную киносъемку и рентгеновскую регистрацию, в том числе в процессе взаимодействия с преградой (мишенью).

Таким образом, для надежного получения информации в опыте с применением СБУ процесс выстрела не должен приводить к выходу из строя многократной регистрирующей аппаратуры (т. е. необходимо знать зону ее безопасного размещения с конкретными параметрами СБУ).

При этом для одноразовых контактных устройств регистрации на траектории полета МО также следует знать безопасное расстояние размещения от среза ствола по оси стрельбы, т. е. зону, начиная с которой МО выходит из дульного выхлопа. Кроме того, условием изучения взаимодействия МО с мишенью является

отсутствие ее дополнительного нагружения при контакте с сопутствующими элементами выстрела (частями поддона, расширяющимися продуктами).

Это, как будет показано далее, может иметь существенное значение в двух случаях: когда указанное взаимодействие относительно растянуто во времени и когда частицы мишени претерпевают химическое превращение при контактировании с относительно горячими расширяющимися продуктами.

Схема постановки эксперимента. Для определения скорости полета модели широко применяют метод хронографирования, основанный на измерении моментов срабатывания контактных электрических датчиков. Использовать этот метод можно при условии, что модель опережает воздушный поток и пороховые газы (ПГ), сопровождающие выстрел из СБУ.

В случае применения легкогазовой баллистической установки, где предусмотрено вакуумирование ствола до остаточного давления порядка 10^3 Па, при выстреле формируется дульный выхлоп, который состоит из воздушной пробки, индуцированной движением МО по вакуумированному баллистическому стволу, и рабочего газа (водорода), расширяющегося после выхода МО за дульный срез и перемешивающегося с воздухом.

Скачок уплотнения, формируемый при выходе воздушной пробки и рабочего газа за дульный срез в невозмущенную атмосферу воздуха, является источником дульной ударной

волны (УВ) [5–7]. Это обстоятельство требует определения границы промежуточной баллистики для эффективного размещения контактных датчиков при хронографировании и пуске регистрирующей аппаратуры.

Очевидно, что те же проблемы возникают и при использовании пороховых баллистических установок (ПБУ), где вакуумирование ствола не осуществляется, но также необходимо знать границу между промежуточной и внешней баллистикой для размещения на траектории изучаемого объекта контактных датчиков [8].

Эта граница соответствует минимальному расстоянию от среза разгонной установки, начиная с которого испытуемый объект перемещается в невозмущенном воздухе. Следовательно, на пути его движения можно размещать оптические и контактные электрические хронографические регистрирующие системы.

Для определения границы используют теневую схему регистрации, при которой изображение, включая оптические неоднородности, строится на диффузно отражающем экране с помощью точечного газоразрядного излучателя и фиксируется в проходящем свете камерой с электронно-оптическим затвором [9–11].

В данном случае для регистрации последовательных стадий течения, сопровождающего выстрел из отдельной ПБУ с конкретным МО и параметрами заряжания, предусмотрено тиражирование указанной схемы.

Схема проведения экспериментов, приведенная на рис. 1, предусматривает метание модели из ПБУ (пушки), ее полет вдоль экрана и

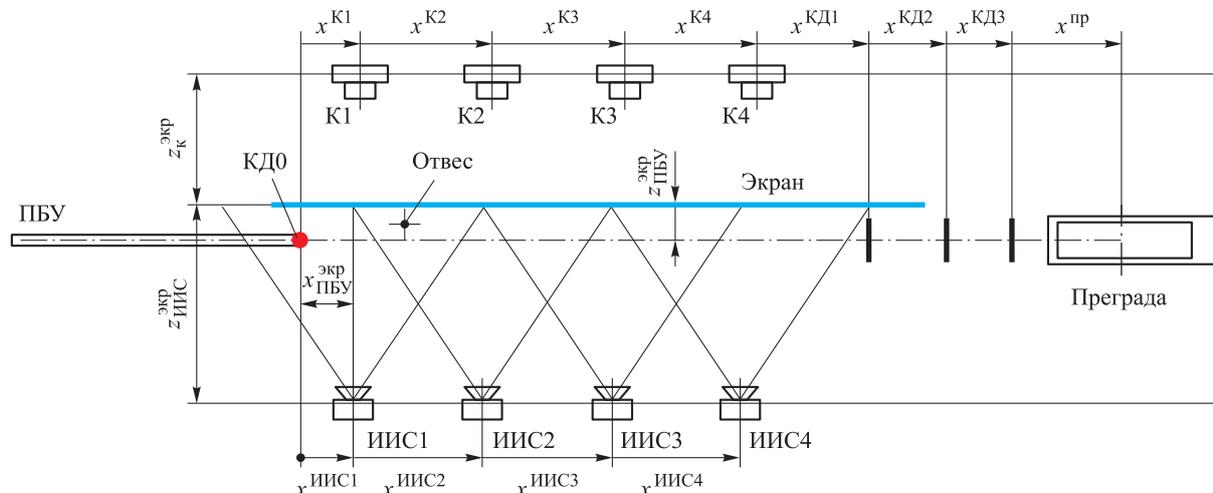


Рис. 1. Схема постановки эксперимента:

K1...K4 — камеры с электронно-оптическим затвором; ИИС1...ИИС4 — импульсные источники света; КД0 — запускающий датчик; КД1...КД3 — контактные датчики

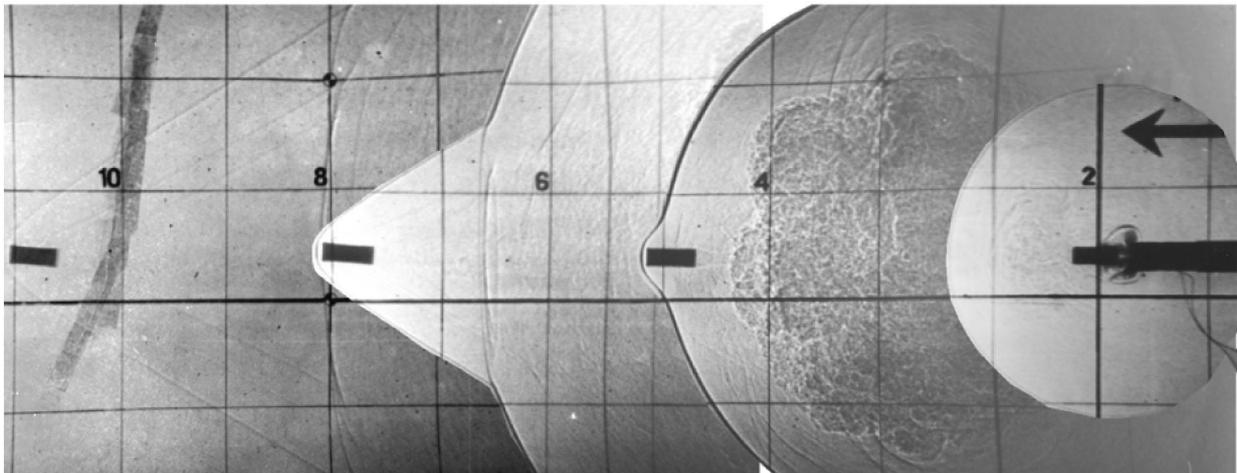


Рис. 2. Снимки камер, полученные в одном эксперименте и наложенные на единую масштабную сетку

хронографических датчиков с последующим внедрением в преграду (уловитель). На схеме (вид сверху) обозначены следующие параметры: $z_{\text{ИИС}}^{\text{экp}}$ — отстояние по оси z от источника света до экрана; $x_{\text{ПБУ}}^{\text{экp}}$ и $z_{\text{ПБУ}}^{\text{экp}}$ — расстояния от среза ствола до экрана по осям x и z ; $z_{\text{к}}^{\text{экp}}$ — отстояние по оси z от камер до экрана; $x^{\text{K1}} - x^{\text{K4}}$ — расстояния по оси x от среза ствола до камер К1–К4; $x^{\text{KD1}} - x^{\text{KD3}}$ — расстояния по оси x от среза ствола до контактных датчиков КД1–КД3; $x^{\text{ПР}}$ — расстояние по оси x от среза ствола до преграды; $x^{\text{ИИС1}} - x^{\text{ИИС4}}$ — расстояния по оси x от среза ствола до источников света ИИС1–ИИС4.

Использована пушка калибра 14,5 мм и модель в виде цилиндра диаметром $d_{\text{м}} = 14$ мм малого удлинения $\lambda = 2$ с обтюрирующей вставкой из полиэтилена, обеспечивающей отсутствие эффекта прорыва ПГ.

На диффузный полупрозрачный экран из лавсановой матовой пленки наносили масштабную сетку, образующую квадраты со стороной, равной 100 мм (толщина осевой линии составляла 2,5 мм, остальные линии — 1,5 мм), и нумерованными реперными знаками.

Пленку натягивали на рамки, образующие незамкнутый силовой контур, что обеспечивало ее сохранность после воздействия продуктов выхлопа из пушки. Экран вывешивали в плоскости, параллельной вертикальной плоскости стрельбы. Вертикальность поперечных линий сетки экрана до и во время эксперимента контролировали с помощью отвеса.

На рис. 2 приведена композиция газодинамических картин, полученных в одном опыте, после их совмещения по линиям сетки экрана и «обрезания справа» по фронту УВ.

Экспериментально показано, что при движении модели в канале ствола происходит вытеснение расположенного в нем столба воздуха, истекающего за дульный срез пушки с образованием сферической УВ.

После выхода модели за дульный срез наблюдается тороидальное истечение ПГ, образующих собственную УВ. По мере истечения ПГ опережают модель и принимают характерный вид «яблока», у которого задняя часть сферическая, передняя — тороидальная. На этой стадии ПГ еще «доразгоняют» модель.

Вследствие сопротивления в воздушном пространстве скорость движения ПГ уменьшается и в какой-то период времени становится соизмеримой со скоростью полета модели, достигшей своего максимума на участке разгона. Далее модель догоняет фронт УВ, отошедший от потока ПГ.

На основе полученных газодинамических картин и анализа погрешностей определения скорости полета модели методами оптического и контактного электрического хронографирования экспериментально показано, что при метании из ПБУ диаметром 14,5 мм со скоростью, в 2 раза превышающей звуковую, граница между участками промежуточной и внешней баллистики находится на расстоянии 45 калибров модели.

Расчетные данные. Знание воздействия, оказываемого дульными выхлопом и УВ на оборудование, а также расстояния, на котором МО выходит за фронт дульной УВ, помогает правильно расположить оборудование на рабочем поле и осуществить необходимую его защиту [9–11].

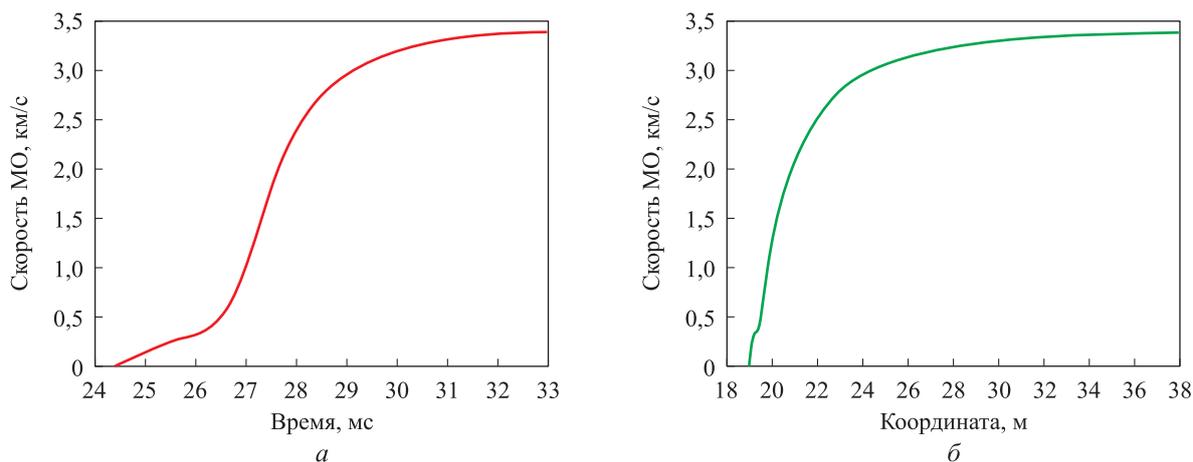


Рис. 3. Зависимости скорости МО при разгоне в стволе ЛПП от времени (а) и координаты (б)

При обращенных ударных испытаниях, когда МО устанавливают близко к дульному срезу баллистического ствола, знание параметров дульного выхлопа позволяет предпринять необходимые технические меры с целью минимизации преднагружения испытываемого объекта дульным выхлопом. Максимальная скорость, при которой проводят испытания, составляет примерно 10М (М — число Маха). Такой скорости могут достигать объекты массой до 2,4 кг.

Режим метания из СБУ объекта массой 2,4 кг со скоростью 10М (3,4 км/с) рассчитывали с использованием программного комплекса LGR [12]. Калибр баллистического ствола составлял 100 мм, масса порохового заряда — 16,4 кг (порох 9/7), начальное давление водорода — $25 \cdot 10^5$ Па, масса поршня — 40 кг.

На рис. 3 приведены зависимости скорости МО при разгоне в стволе СБУ от времени и координаты. За нулевой момент времени принят момент начала горения порохового заряда, за

нулевую координату — положение переднего торца затвора СБУ.

На рис. 4 показаны временные зависимости параметров водорода в сечении дульного среза ЛПП при его истечении в атмосферу после выхода МО из ствола для представленного ранее режима выстрела из ЛПП, рассчитанные с использованием программного комплекса LGR. За нулевой момент времени принят момент прохождения задним торцом МО дульного среза.

Конус головного скачка, формирующегося при движении МО со сверхзвуковой скоростью, влияет на параметры участка (сегмента) дульной УВ, находящегося внутри конуса, но лишь на расстоянии нескольких десятков калибров. В связи с этим при оценке воздействия дульной УВ на сооружения и аппаратуру, находящиеся на значительном удалении от баллистической установки, допускается рассматривать холостой выстрел. Отсутствие МО в расчетной схеме позволяет уменьшить дискретизацию расчетной обла-

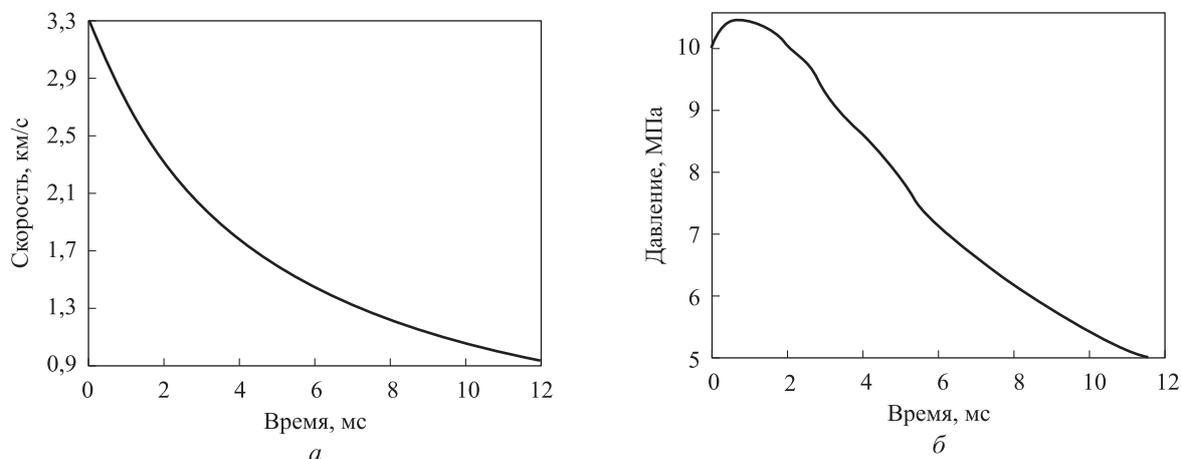


Рис. 4. Зависимости скорости (а) и давления (б) водорода в сечении дульного среза СБУ от времени

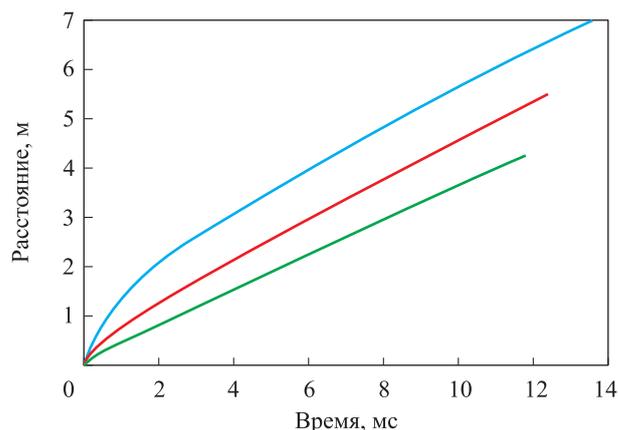


Рис. 7. Зависимости расстояния, пройденного волной в направлении осей OX (—), OY (—), OX_1 (—), от времени



Рис. 8. Картины сверхзвукового входа стального кубика в воду (а), движения сегмента поддона в следе (б), удара по кубiku сегментом поддона в каверне (в)

нения в направлении осей OX , OY , OX_1 от времени показано перемещение границ этого эллипса.

В тех случаях, когда сопровождающие процесс выстрела элементы не оказывают воздействия на сохранность сооружений и аппаратуры, но могут существенно повлиять на результат опыта при их взаимодействии с мишенью, необходимо принять отдельные меры безопасности, связанные с установкой дополнительных защитных экранов [13]. Проиллюстрируем сказанное примерами исследований входа в жидкость осколков со сверхзвуковой относительно нее скоростью.

Метаемый объект представляет собой сборку, состоящую из ударника и поддона. Вследствие различия баллистических коэффициентов ударника и элементов поддона стальной кубик первым достигает мишени (прозрачной

емкости с водой) и начинает внедрение. Этот процесс сопровождается динамикой УВ и каверны, что показано на рис. 8.

Выводы

1. Проанализированы физические процессы, сопровождающие проведение аэробаллистического эксперимента и способные повлиять на его результаты.
2. Найдена граница между промежуточной и внешней баллистикой для определенных параметров выстрела конкретных пороховых и легкогазовых установок.
3. Показана возможность влияния элементов поддона, используемого при разгоне МО в стволе, на объект в процессе исследования его взаимодействия с преградой.

Литература

- [1] Златин Н.А., Красильщиков А.П., Мишин Г.И., Попов Н.Н. *Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях*. Москва, Наука, 1974. 344 с.
- [2] Жаровцев В.В., Комаровский Л.В., Погорелов Е.И. *Математическое моделирование и оптимальное проектирование баллистических установок*. Томск, Изд-во Томского университета, 1989. 256 с.

- [3] Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Каныгин И.И., Кикеев В.А., Фомкин А.П., Яненко Б.А., Герасимова Р.В. Баллистика осколков кубической формы. *Проблемы прочности и пластичности*, 2018, т. 80, № 3, с. 368–379.
- [4] Куликов С.В., Лапичев Н.В., Файков Ю.И., Фатеев Ю.А., Шляпников Г.П. Опыт отработки высокоскоростного метания стальных сферических элементов из ЛГУ. *Воздействие мощных потоков энергии на вещество. Сб. тр.*, Москва, ИВТАН, 1992, с. 46–49.
- [5] Барышев М.С., Глазков А.И. О влиянии процесса раскрытия диафрагмы на внутриваллистические характеристики легкогазовых пушек. *Вопросы высокоскоростного метания. Сб. науч. тр.*, Томск, ТГУ, 1987, с. 183–192.
- [6] Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Каныгин И.И., Лапичев Н.В., Никитина Е.А. Исследование раскрытия лепестковых разрывных диафрагм легкогазовых баллистических установок. *Приволжский научный журнал*, 2015, № 4(36), с. 9–20.
- [7] Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Каныгин И.И., Сальников А.В. Визуализация дульного выхлопа при выстреле из легкогазовой пушки. *Научная визуализация*, 2014, кв. 2, т. 6, № 2, с. 92–103. URL: <http://sv-journal.org/2014-2/07/index.php?lang=ru> (дата обращения 15 мая 2019).
- [8] Герасимов С.И. Диагностика при исследовании эффектов, сопровождающих выход ударной волны на свободную поверхность при ударно-волновом нагружении. *Нелинейный мир*, 2009, т. 7, № 7, с. 526–527.
- [9] Вашурков А.С., Герасимов С.И., Лень А.В. Газоразрядный импульсный источник света. Патент № 2195746 РФ, бюл. № 36, 2002.
- [10] Герасимов С.И., Мешков Е.Е. Способ получения импульса света и импульсный источник света. Патент № 2152665 РФ, бюл. № 19, 2000.
- [11] Герасимов С.И., Файков Ю.И. Теневое фотографирование в расходящемся пучке света. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. 342 с.
- [12] Касимов В.З., Ушакова О.В., Хоменко Ю.П. Численное моделирование внутриваллистических процессов в легкогазовой пушке. *Прикладная механика и техническая физика*, 2003, т. 44, № 5, с. 1–11.
- [13] Герасимов С.С., Ерофеев В.И., Кикеев В.А., Фомкин А.П. Различные механизмы разрушения тел в гиперзвуковом потоке, выявленные с помощью оптической и рентгенографической регистрации. *Научная визуализация*, 2015, т. 7, № 1, с. 38–44.

References

- [1] Zlatin N.A., Krasil'shchikov A.P., Mishin G.I., Popov N.H. *Ballisticheskie ustanovki i ikh primeneniye v ehksperimental'nykh issledovaniyakh* [Ballistic installations and their application in experimental studies]. Moscow, Nauka publ., 1974. 344 с.
- [2] Zharovtsev V.V., Komarovskiy L.V., Pogorelov E.I. *Matematicheskoe modelirovaniye i optimal'noye proektirovaniye ballisticheskikh ustanovok* [Mathematical modeling and optimal design of ballistic installations.]. Tomsk, Tomskii universitet publ., 1989. 256 с.
- [3] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kanygin I.I., Kikeev V.A., Fomkin A.P., Yanenko B.A., Gerasimova R.V. Ballistics of cube splinters. *Problemy prochnosti i plastichnosti*, 2018, vol. 80, no. 3, pp. 368–379 (in Russ.).
- [4] Kulikov S.V., Lapichev N.V., Faykov Yu.I., Fateev Yu.A., Shlyapnikov G.P. Experience of high-speed throwing of steel spherical elements from LSU. *Vozdeystvie moshchnykh potokov ehnergii na veshchestvo. Sb.tr.* [The influence of powerful streams of energy on substance. Collection of works]. Moscow, 1992, pp. 46–49 (in Russ.).
- [5] Baryshev M.S., Glazkov A.I. On the effect of the diaphragm opening process on the intra-ballistic characteristics of light-gas guns. *Voprosy vysokoskorostnogo metaniya. Sb. nauch. tr.* [On the effect of the diaphragm opening process on the intra-ballistic characteristics of

- light-gas guns. Questions high-speed throwing. Collection of proceedings]. Tomsk, 1987, pp. 183–192 (in Russ.).
- [6] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kanygin I.I., Lapichev N.V., Nikitina E.A. Study of blade rupture diaphragm opening of light gas ballistic installations. *Privolzhsky Scientific Journal*, 2015, no. 4(36), pp. 9–20 (in Russ.).
- [7] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kanygin I.I., Sal'nikov A.V. Visualization of Muzzle Exhaust Following the Light Gas Gun Shot. *Scientific Visualization*, 2014, q. 2, vol. 6, no. 2, pp. 92–103 (in Russ.). Available at: <http://sv-journal.org/2014-2/07/index.php?lang=ru> (accessed 15 May 2019).
- [8] Gerasimov S.I. On Diagnostics of Effects Associated with Emergence of Shock Wave from the Free Surface of a Shocked Solid. *Nonlinear World*, 2009, vol. 7, no. 7, pp. 526–527 (in Russ.).
- [9] Vashurkov A.S., Gerasimov S.I., Len' A.V. *Gazorazryadnyy impul'snyy istochnik sveta* [Gas Discharge Pulsed Light Source]. Patent RF no. 2195746, 2002.
- [10] Gerasimov S.I., Meshkov E.E. *Sposob polucheniya impul'sa sveta i impul'snyy istochnik sveta* [Method for obtaining a light pulse and a pulsed light source]. Patent RF no. 2152665, 2000.
- [11] Gerasimov S.I., Faykov Yu.I. *Tenevoe fotografirovanie v raskhodyashchemsya puchke sveta* [Shadow photography in a diverging beam of light]. Sarov, RFYATS-VNIEHF publ., 2010. 342 p.
- [12] Kasimov V.Z., Ushakova O.V., Khomenko Yu.P. Numerical Modeling of Interior Ballistics Processes in Light Gas Guns. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2003, vol. 44, no. 5, pp. 612–619.
- [13] Gerasimov S.S., Erofeev V.I., Kikeev V.A., Fomkin A.P. Various mechanisms of aerothermomechanical destruction of objects in hypersonic flow recorded with optical and X-ray techniques. *Scientific Visualization*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 38–44 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.03.2019

Информация об авторах

ГЕРАСИМОВ Сергей Иванович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Спецприборостроение». Саровский физико-технический институт — филиал НИЯУ МИФИ; ведущий научный сотрудник. Институт проблем машиностроения РАН (607190, Саров, Нижегородская область, Российская Федерация, ул. Духова, д. 6, e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru).

ОДЗЕРИХО Ирина Александровна — аспирант кафедры «Экспериментальная механика». Саровский физико-технический институт — филиал НИЯУ МИФИ; научный сотрудник. Институт проблем машиностроения РАН (607190, Саров, Нижегородская область, Российская Федерация, ул. Духова, д. 6, e-mail: odzeriho.irina@mail.ru).

ГЕРАСИМОВА Римма Валериановна — инженер кафедры «Спецприборостроение». Саровский физико-технический институт — филиал НИЯУ МИФИ (607186, Саров, Нижегородская область, Российская Федерация, ул. Духова, д. 6, e-mail: r.v.gerasimova@mail.ru).

САЛЬНИКОВ Александр Викторович — начальник лаборатории. Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (607190, Саров, Нижегородская область, Российская Федерация, пр. Мира, д. 37, e-mail: Alexsal@yandex.ru).

КАЛМЫКОВ Александр Петрович — научный сотрудник. Институт проблем машиностроения РАН (607190, Саров, Нижегородская область, Российская Федерация, ул. Духова, д. 6).

ЯНЕНКО Борис Александрович — преподаватель кафедры «Спецприборостроение». Саровский физико-технический институт — филиал НИЯУ МИФИ (607186, Саров, Нижегородская область, Российская Федерация, ул. Духова, д. 6, e-mail: Yanenkoba@mail.ru).

Information about the authors

GERASIMOV Sergei Ivanovich — Doctor of Science (Physics and Maths), Professor, Department of Special Instrumentation Engineering. Sarov Institute of Physics and Technology — Branch of National Research Nuclear University MEPhI; Lead Researcher. Mechanical Engineering Research Institute, Russian Academy of Sciences (607190, Sarov, Nizhegorodsky region, Russian Federation, Dukhov St., Bldg. 6, e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru).

ODZERIHO Irina Aleksandrovna — Post Graduate, Department of Experimental Mechanics. Sarov Institute of Physics and Technology — Branch of National Research Nuclear University MEPhI; Researcher. Mechanical Engineering Research Institute, Russian Academy of Sciences (607190, Sarov, Nizhegorodsky region, Russian Federation, Dukhov St., Bldg. 6, e-mail: odzeriho.irina@mail.ru).

GERASIMOVA Rimma Valerianovna — Engineer. Department of Special Instrumentation Engineering. Sarov Institute of Physics and Technology — Branch of National Research Nuclear University MEPhI (607186, Sarov, Nizhegorodsky region, Russian Federation, Dukhov St., Bldg. 6, e-mail: r.v.gerasimova@mail.ru).

SALNIKOV Aleksandr Viktorovich — Head of the Laboratory. Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics (607190, Sarov, Nizhegorodsky region, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 37, e-mail: Alexsal@yandex.ru).

KALMYKOV Aleksandr Petrovich — Researcher. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (607190, Sarov, Nizhegorodsky region, Russian Federation, Dukhov St., Bldg. 6).

YANENKO Boris Aleksandrovich — Lecturer. Department of Special Instrumentation Engineering. Sarov Institute of Physics and Technology — Branch of National Research Nuclear University MEPhI (607186, Sarov, Nizhegorodsky region, Russian Federation, Dukhov St., Bldg. 6, e-mail: Yanenkoba@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Герасимов С.И., Одзериho И.А., Герасимова Р.В., Сальников А.В., Калмыков А.П., Яненко Б.А. Безопасные условия проведения исследований с баллистическими установками. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 9, с. 105–114, doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-105-114

Please cite this article in English as:

Gerasimov S.I., Odzeriho I.A., Gerasimova R.V., Salnikov A.V., Kalmykov A.P., Yanenko B.A. Safe Conditions for Conducting Tests Using Ballistic Facilities. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 9, pp. 105–114, doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-105-114