

УДК 620.178.162: 53.082.74: 531.57

## Уточнение параметров трения поршня в канале гладкого ствола

А.Д. Сидоров, В.А. Бураков, В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский, Е.Ю. Степанов

НИИ ПММ ТГУ,  
пр. Ленина, д. 36, стр. 27, г. Томск 634050, Россия

Поступила в редакцию 30.12.2022.

После доработки 15.02.2023.

Принята к публикации 20.02.2023.

Проведена отработка методики диагностики износа гладкого лабораторного ствола длиной 5 метров, калибром 30 мм в процессе проведения испытаний. Разработаны приборы для измерения внутреннего диаметра и усилия протягивания прототипа поршня через всю длину канала. Аналого-цифровой прибор измерения внутреннего диаметра позволяет выявлять и измерять дефекты произвольно деформированного канала. Габариты используемых в приборе датчиков позволяют его масштабировать для измерения каналов как меньшего, так и большего диаметра. Прибор измерения усилия позволяет оценить параметры трения перед проведением эксперимента, чтобы уточнить математическую модель газодинамических процессов, сопровождающих выстрел и при необходимости скорректировать условия заряжания. Показано, что их применение позволяет оперативно оценивать износ и проводить диагностику состояния ствольной системы. Зафиксировано значительное уширение канала со стороны казённого среза. Наблюдается корреляция данных измерений, полученных от обоих приборов. Выполнен баллистический эксперимент с применением обновлённого измерительно-регистрающего комплекса. По его результатам в математической модели расчёта газодинамических процессов были учтены параметры трения пары поршень—ствол, полученные перед экспериментом. Это позволило сократить количество параметров согласования при моделировании и провести более точный анализ газодинамических процессов, сопровождающих выстрел, с построением соответствующих временных зависимостей давления и скорости поршня, а также распределения максимальных значений температуры и давления газа по длине канала. Таким образом, коэффициент закона горения пороха увеличился на 10 %.

**Ключевые слова:** износ, ствольные системы, баллистика, эксперимент, измерение, измерительный прибор.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-51-57

**Адрес для переписки:**

А.Д. Сидоров  
НИИ ПММ ТГУ,  
пр. Ленина, д. 36, стр. 27, г. Томск 634050, Россия  
e-mail: aleksid92@gmail.com

**Address for correspondence:**

A.D. Sidorov  
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics,  
Tomsk State University,  
Lenin Ave., 36, Tomsk 634050, Russia  
e-mail: aleksid92@gmail.com

**Для цитирования:**

А.Д. Сидоров, В.А. Бураков, В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский,  
Е.Ю. Степанов  
Уточнение параметров трения поршня в канале гладкого ствола.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 1. — С. 51–57.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-51-57

**For citation:**

A.D. Sidorov, V.A. Burakov, V.D. Zorin, A.S. D'yachkovskiy, and  
E.Yu. Stepanov  
Refinement of Projectile Friction Parameters in a Smooth Bore.  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 1, pp. 51–57 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-51-57

# Refinement of Projectile Friction Parameters in a Smooth Bore

A.D. Sidorov, V.A. Burakov, V.D. Zorin, A.S. D'yachkovskiy, and E.Yu. Stepanov

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Tomsk State University,  
Lenin Ave., 36, Tomsk 634050, Russia

Received 30.12.2022.

Revised 15.02.2023.

Accepted 20.02.2023.

## Abstract

A method for diagnosing the wear of a smoothbore laboratory barrel, which is 5 meters long and 30 mm in caliber, is experimentally tested. Special devices are developed to measure the inner diameter and the force of pulling the projectile prototype through the entire bore length. An analog-to-digital device determining the inner diameter allows one to detect and measure defects in an arbitrarily deformed bore. The dimensions of the sensors within the device allow it to be scaled for measuring the bores of both smaller and larger diameters. The force measurement device provides data to evaluate the friction parameters before experiments in order to clarify a mathematical model of gas-dynamic processes associated with a shot and, if necessary, to adjust the loading conditions. The use of the devices allows one to promptly assess the wear and to diagnose the state of the barrel system. Thus, a significant widening of the bore from the breech face side is revealed. The data provided by both devices are consistent with each other. The improved measuring and recording complex is applied in a ballistic experiment. Based on the obtained results, the friction parameters of the projectile-barrel system determined before the experiment are taken into account in the mathematical model for calculating gas-dynamic processes. Hence, the number of matching parameters in the simulation is reduced and a more accurate analysis of the gas-dynamic processes associated with the shot is carried out. The corresponding time dependences of the pressure and projectile speed are plotted and the distribution of maximum temperature and gas pressure along the bore is obtained. As a result, a 10 % increase in the coefficient of the gunpowder burning law is attained.

**Keywords:** wear, barrel systems, ballistics, experiment, measurement, measuring device.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-51-57

---

### Адрес для переписки:

А.Д. Сидоров  
НИИ ПММ ТГУ,  
пр. Ленина, д. 36, стр. 27, г. Томск 634050, Россия  
e-mail: aleksid92@gmail.com

---

### Address for correspondence:

A.D. Sidorov  
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics,  
Tomsk State University,  
Lenin Ave., 36, Tomsk 634050, Russia  
e-mail: aleksid92@gmail.com

---

### Для цитирования:

В.А. Бураков, В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский, А.Д. Сидоров,  
Е.Ю. Степанов  
Уточнение параметров трения поршня в канале гладкого ствола.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 1. – С. 51–57.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-51-57

---

### For citation:

A.D. Sidorov, V.A. Burakov, V.D. Zorin, A.S. D'yachkovskiy, and  
E.Yu. Stepanov  
Refinement of Projectile Friction Parameters in a Smooth Bore.  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 1, pp. 51–57 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-51-57

## Список использованных источников

1. **Карюкин С., Митрохин О.** Подход к обеспечению живучести стволов артиллерийских орудий // Военная мысль. — 2012, № 1, 72—78
2. **Киселев Е.К., Гольдштейн А.Е.** Измерение внутреннего диаметра проводящей трубы с применением вихретокового преобразователя // Ползуновский вестник: Барнаул. — 2017, № 2, 59—62
3. **Устройство для измерения трубы в конструкции нефтяной скважины и способ указанного измерения:** патент RU 2703047 C1 Российская Федерация. опубл. 15.10.2019. / А.М. Карлсон, Б.Р. Мартин
4. **Гольдштейн А.Е.** Физические основы получения информации: учебник; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета. — 2010
5. **Жиганов И.Ю., Скворцов Б.В.** Оптические методы измерения геометрических параметров труб // Вестник СГАУ. — Самара. — 2002, 22—26
6. **Хайков В.Л.** Развитие методов инструментального контроля и визуализации состояния каналов стволов артиллерийских орудий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013, № 3/7, 52—56
7. **Закасаленко Д.В. [и др.]** Улучшение живучести артиллерийского автоматического оружия // Наука и военная безопасность. — 2020, № 4(23), 38—42.
8. **Woodley C.R.** A Parametric Study for an Electrothermal-Chemical Artillery Weapon // EEE Transactions on Magnetics. — 1993 (29), no. 1, 625
9. **Бураков В.А., Зорин В.Д., Дьячковский А.С., Ищенко А.Н., Сидоров А.Д., Чупашев А.В.** Трехточечный аналого-цифровой прибор для бесконтактного измерения износа цилиндрических каналов // Трение и износ. — 2022 (43), № 2, 202—209. DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209
10. **Букаси А.** Особенности учета износа канала ствола при моделировании процессов функционирования подсистемы «танковая пушка - снаряд» // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». — 2017 (1), 172—174
11. **Чернов Д.К.** Избранные труды по металлургии и материаловедению / под ред. В.Д. Садовского. — М.: Наука, 1983. — 451 с.
12. **Ищенко А.Н., Касимов В.З.** Математическая модель и программный комплекс для теоретического исследования внутривалистических процессов в ствольных системах. — Томск: Издательский дом Томского гос. ун-та. — 2015

## References

1. **Karyukin S., Mitrohin O.** Podhod k obespecheniyu zhivuchesti stvolov artillerijskih orudij // Voennaya mysl'. — 2012, № 1, 72—78
2. **Kiselev Ye.K., Gol'dshteyn A.Ye.** Izmereniye vnutrennego diametra provodyashchey truby s primeniyem vikhretokovogo preobrazovatelya // Polzunovskiy vestnik: Barnaul. — 2017, № 2, 59—62
3. **Ustroystvo dlya izmereniya truby v konstruktсии neftyanoy skvazhiny i sposob ukazannogo izmereniya:** pat. na izobreteniyе RU 2703047 C1 Rossiyskaya Federatsiya; zayavitel' i patentoobladatel' Intellidzhent uellkhed systems ink. — opubl. 15.10.2019. / A.M. Karlson, B.R. Martin
4. **Gol'dshteyn A.Ye.** Fizicheskiye osnovy polucheniya informatsii: uchebnik. — Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. — 2010
5. **Zhiganov I.YU., Skvortsov B.V.** Opticheskiye metody izmereniya geometricheskikh parametrov trub // Vestnik SGAU. — Samara. — 2002, 22—26
6. **Hajkov V.L.** Razvitie metodov instrumental'nogo kontrolya i vizualizatsii sostoyaniya kanalov stvolov artillerijskih orudij // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. — 2013, № 3/7, 52—56
7. **Zakasalenko D.V. [and other]** Uluchshenie zhivuchesti artillerijskogo avtomaticheskogo oruzhiya // Nauka i voennaya bezopasnost. — 2020, № 4(23), 38—42.
8. **Woodley C.R.** A Parametric Study for an Electrothermal-Chemical Artillery Weapon // EEE Transactions on Magnetics. — 1993 (29), no. 1, 625
9. **Burakov V.A., Zorin V.D., D'yachkovskiy A.S. et al.** Development of a Three-Point Analog-to-Digital Device for Contactless Measurement of Cylindrical Channel Wear // Journal of Friction and Wear. — 2022 (43), 135—139. <https://doi.org/10.3103/S1068366622020039>
10. **Bukasi A.** Osobennosti ucheta iznosa kanala stvola pri modelirovanii protsessov funktsionirovaniya podsistemy «tankovaya pushka - snaryad» // Tr. Mezhdunar. simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo». — 2017 (1), 172—174
11. **Chernov D.K.** Izbrannyye trudy po metallurgii i materialovedeniyu / pod red. V.D. Sadovskogo. — M.: Nauka. — 1983
12. **Ishchenko A., Kasimov V.** Matematicheskaya model' i programmnyy kompleks dlya teoreticheskogo issledovaniya vntribalisticheskikh protsessov v stvol'nykh sistemakh. — Tomsk: Izdatel'skiy dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2015

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
*Full text of articles can be purchased from the editorial office.*  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)