

53.082.74: 531.57: 620.178.162

## Трехточечный аналого-цифровой прибор для бесконтактного измерения износа цилиндрических каналов

В.А. Бураков, В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский, А.Н. Ищенко, А.Д. Сидоров,  
А.В. Чупашев

НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета  
пр. Ленина, д. 36, стр. 27, г. Томск 634050, Россия

Поступила в редакцию 18.06.2021.

После доработки 15.04.2022.

Принята к публикации 18.04.2022.

Рассмотрен износ прямолинейной цилиндрической трубы на примере лабораторной гладкоствольной баллистической установки малого калибра (30 мм) в процессе проведения экспериментальных газодинамических исследований. Для её диагностики были разработаны бесконтактный аналого-цифровой измерительный прибор, позволяющий определять координату измеряемого сечения, и программный комплекс для обработки полученных данных. Представлена геометрическая модель измерительной головки с расположением трёх датчиков расстояния в вершинах правильного треугольника. Построены зависимости внутреннего диаметра от координаты ствола длиной 5 метров. Приведен количественный износ казённого среза после проведения серии испытаний. Для сравнения результатов приведено сравнение с показаниями сертифицированного микрометрического нутромера. Представлены результаты газодинамического анализа одного из экспериментов в виде эпюр максимального давления, температур газа и внутренней поверхности ствола. Наибольшие значения давления и температуры приходится на казённый срез по сравнению со всей длиной ствола, что подтверждает профиль износа. При этом температура внутренней поверхности канала гораздо меньше температуры плавления стали. Однако в некоторых экспериментах температура внутренней поверхности достигала значения 980 К и выше. При таком значении прочность стали становится сопоставимой с величиной сдвиговых напряжений газового потока, что вызывает отрыв и унос частиц металла. Использование разработанного прибора и программного комплекса позволяет повысить безопасность эксплуатации, а также снизить временные и материальные издержки на ремонт и обслуживание установок.

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

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209

**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, av. Lenin, 36, Tomsk 634050, Tomsk region, Russia  
e-mail: aleksid92@gmail.com

**Для цитирования:**

В.А. Бураков, В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский, А.Н. Ищенко,  
А.Д. Сидоров, А.В. Чупашев.

Разработка трехточечного аналого-цифрового прибора для бесконтактного измерения износа цилиндрического канала.  
Трение и износ.

2022. — Т. 43, № 2. — С. 202—209.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209

**For citation:**

V.A. Burakov, V.D. Zorin, A.S. D'yachkovskiy, A.N. Ishchenko,  
A.D. Sidorov, and A.V. Chupashev.

[Development of a Three-Point Analog-Digital Device for Contactless Measurement of Cylindrical Channel Wear].

*Trenie i Iznos.*

2022, vol. 43, no. 2, pp. 202—209 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209

# Development of a Three-Point Analog-Digital Device for Contactless Measurement of Cylindrical Channel Wear

V.A. Burakov, V.D. Zorin, A.S. D'yachkovskiy, A.N. Ishchenko, A.D. Sidorov, and  
A.V. Chupashev

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics Tomsk state university,  
av. Lenin, 36, Tomsk 634050, Tomsk region, Russia

Received 18.06.2021.

Revised 15.04.2022.

Accepted 18.04.2022.

## Abstract

The erosion of a straight cylindrical tube by the example of a small caliber (30 mm) laboratory smooth-bore ballistic unit during experimental gas dynamics studies is considered. For its diagnostics a non-contact analog-digital measuring device allowing to determine the coordinate of the measured section and a software complex for processing the obtained data were developed. A geometric model of the detecting unit with the location of three distance sensors in the vertices of a regular triangle is presented. A prototype of the device was assembled and tested, which allows to measure the internal diameter of the smooth bore channel of any length with a caliber of 30 mm and to record the results in the computer memory in real time. Quantitative erosion of the breech face after a series of tests is given. To compare the results, a comparison is given with the readings of a certified bore micrometer. The results of gas-dynamic analysis of one of the experiments are presented in the form of diagrams of maximum pressure, gas temperatures and the inner surface of the barrel. The highest pressure and temperature values occur at the breech face compared to the entire length of the barrel, which confirms the erosion profile. In this case, the temperature of the inner surface of the channel is much lower than the melting temperature of steel. However, in some experiments, the internal surface temperature reached a value of 980 K and higher. At this value, the strength of the steel becomes comparable to the shear stresses of the gas flow, which causes detachment and entrainment of metal particles. The use of the developed device and software package makes it possible to improve operational safety, as well as to reduce time and material costs for repair and maintenance of installations.

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

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209

---

### 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, av. Lenin, 36, Tomsk 634050, Tomsk region, Russia  
e-mail: aleksid92@gmail.com

### Для цитирования:

В.А. Бураков, В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский, А.Н. Ищенко,  
А.Д. Сидоров, А.В. Чупашев.  
Разработка трехточечного аналого-цифрового прибора для  
бесконтактного измерения износа цилиндрического канала.  
Трение и износ.  
2022. — Т. 43, № 2. — С. 202–209.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209

### For citation:

V.A. Burakov, V.D. Zorin, A.S. D'yachkovskiy, A.N. Ishchenko,  
A.D. Sidorov, and A.V. Chupashev.  
[Development of a Three-Point Analog-Digital Device for Contactless  
Measurement of Cylindrical Channel Wear].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 2, pp. 202–209 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-2-202-209

## Список использованных источников

1. **Чернов Д.К.** Избранные труды по металлургии и материаловедению / под ред. В.Д. Садовского. — М.: Наука. — 1983
2. **Никитин В.А., Бойко С.В.** Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Учебное пособие. 2-е изд. перераб. и доп. — Оренбург: ГОУ ОГУ. — 2004
3. **Киселев Е.К., Гольдштейн А.Е.** Измерение внутреннего диаметра проводящей трубы с применением вихретокового преобразователя // Ползуновский вестник: Барнаул. — 2017, № 2, 59—62
4. **Устройство для измерения трубы в конструкции нефтяной скважины и способ указанного измерения:** пат. на изобретение RU 2703047 C1 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Интеллидженд уэллхэд системс инк. — опубл. 15.10.2019. / А.М. Карлсон, Б.Р. Мартин
5. **Гольдштейн А.Е.** Физические основы получения информации: учебник. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета. — 2010
6. **Жиганов И.Ю., Скворцов Б.В.** Оптические методы измерения геометрических параметров труб // Вестник СГАУ. — Самара. — 2002, 22—26
7. **Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г.** Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. — М.: Машиностроение. — 1976
8. **Букаси А.** Особенности учета износа канала ствола при моделировании процессов функционирования подсистемы «танковая пушка - снаряд» // Тр. Междунар. симпозиума «Надежность и качество». — 2017 (1), 172—174
9. **В.В. Буркин и др.** Анализ горения метательного заряда в условиях электротермохимической технологии метания // Сб. материалов X Всероссийской конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики». — 2018, 30—32
10. **Ищенко А., Касимов В.** Математическая модель и программный комплекс для теоретического исследования внутрибаллистических процессов в ствольных системах. — Томск: Издательский дом Томского государственного университета. — 2015

## References

1. **Chernov D.K.** Izbrannyye trudy po metallurgii i materialovedeniyu / pod red. V.D. Sadovskogo. — M.: Nauka. — 1983 (in Russian)
2. **Nikitin V.A., Boyko S.V.** Metody i sredstva izmereniy, ispytaniy i kontrolya. Uchebnoye posobiye. 2-ye izd. pererab. i dop. — Orenburg: GOU OGU. — 2004 (in Russian)
3. **Kiselev Ye.K., Gol'dshteyn A.Ye.** Izmereniye vnutrennego diametra provodyashchey truby s primeneniym vikhretokovogo preobrazovatelya // Polzunovskiy vestnik: Barnaul. — 2017, № 2, 59—62 (in Russian)
4. **Ustroystvo dlya izmereniya truby v konstruktsii neftyanoy skvazhiny i sposob ukazannogo izmereniya:** pat. na izobreteniyе RU 2703047 C1 Rossiyskaya Federatsiya; zayavitel' i patentoobladatel' Intellidzhent uellkhd systems ink. — opubl. 15.10.2019. / A.M. Karlson, B.R. Martin (in Russian)
5. **Gol'dshteyn A.Ye.** Fizicheskiye osnovy polucheniya informatsii: uchebnik. — Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. — 2010 (in Russian)
6. **Zhiganov I.YU., Skvortsov B.V.** Opticheskiye metody izmereniya geometricheskikh parametrov trub // Vestnik SGAU. — Samara. — 2002, 22—26 (in Russian)
7. **Orlov B.V., Larman E.K., Malikov V.G.** Ustroystvo i proyektirovaniye stvolov artilleriyskikh orudiy. — M.: Mashinostroyeniye. — 1976 (in Russian)
8. **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 (in Russian)
9. **V.V. Burkin i dr.** Analiz goreniya metatel'nogo zaryada v usloviyakh elektrotermokhimicheskoy tekhnologii metaniya // Sb. materialov X Vserossiyskoy konf. «Fundamental'nyye i prikladnyye problemy sovremennoy mekhaniki». — 2018, 30—32 (in Russian)
10. **Ishchenko A., Kasimov V.** Matematicheskaya model' i programmnyy kompleks dlya teoreticheskogo issledovaniya vnutriballisticheskikh protsessov v stvol'nykh sistemakh. — Tomsk: Izdatel'skiy dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2015 (in Russian)

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)