

УДК 621.89.017

## Покрyтия триботехнического назначения для открытого космоса

М.А. Броновец

Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук»,  
Проспект Вернадского, д.101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия

Поступила в редакцию 18.07.2023.

После доработки 25.11.2023.

Принята к публикации 12.12.2023.

Приведены результаты испытаний покрытий ЭПАН — композитного материала на основе углерод — углеродных волокон. В нём используется мелкодисперсный порошок  $\text{MoS}_2$  — дисульфид молибдена — основной смазочный материал и связующие вещества: фенол, перекись, силиконовые смолы. Испытания проводились по МДО-покрытиям. Для сравнения приведены триботехнические характеристики ЭПАН при трении по сталям, а также дисульфида молибдена. Коэффициенты трения покрытий ЭПАН по МДО-покрытиям по схеме «вал–втулка» не превышают 0,05 при давлениях 10—20 кг/см<sup>2</sup> и частоте вращения вала от 130 до 600 об/мин. Достоинства таких сочетаний материалов состоит в использовании для контртела к покрытиям ЭПАН лёгкого сплава — алюминия с МДО-покрытием, что важно для космических изделий. Создание и испытания твёрдосмазочных покрытий для современной космической техники является задачей чрезвычайной важности, так как во многих разработках космических изделий продолжают использовать низкотемпературные пластичные смазочные материалы, которые работоспособны до минусовых температур 90 °С — 110 °С. Такие решения требуют использования термоизоляции и нагрева для подвижных сопряжений и узлов трения машин, механизмов и приборов. Как результат серьёзное усложнение конструкций и увеличение их веса. Приведенные в работе испытания покрытий ЭПАН по МДО-покрытиям открывают новые возможности в сочетании материалов для космической техники. Обладая коэффициентами трения 0,05 и высокой износостойкостью, они позволяют создавать подвижные сопряжения, прежде всего, подшипники скольжения, для работы на спутниках зондирования Земли, а также механизмов на Луне.

**Ключевые слова:** открытый космос, твёрдые смазочные покрытия, МДО-покрытия, триботехнические параметры, коэффициент трения, износостойкость, низкие температуры, космическая среда, вакуум.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-6-544-550

**Адрес для переписки:**

М.А. Броновец  
Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук»,  
Проспект Вернадского, д.101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия  
e-mail: brnovets@ipmnet.ru

**Address for correspondence:**

M.A. Bronovets  
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy  
of Sciences,  
Prospect Vernadskogo, 101, building 1, Moscow 119526, Russia  
e-mail: brnovets@ipmnet.ru

**Для цитирования:**

М.А. Броновец  
Покрyтия триботехнического назначения для открытого космоса.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 6. — С. 544–550.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-6-544-550

**For citation:**

M.A. Bronovets  
[Tribological Coatings for Open Space].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 6, pp. 544–550 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-6-544-550

# Tribological Coatings for Open Space

**M.A. Bronovets**

*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences,  
Prospect Vernadskogo, 101, building 1, Moscow 119526, Russia*

*Received 18.07.2023.*

*Revised 25.11.2023.*

*Accepted 12.12.2023.*

## Abstract

This paper presents the results of tests of EPAN coatings — a composite material based on carbon — carbon fibers. It uses fine powder MoS<sub>2</sub> — molybdenum disulfide — the main lubricant and binders: phenol, peroxide, silicone resins. The tests were carried out on MAO-coatings. For comparison, the tribological characteristics of EPAN under friction on steels, as well as molybdenum disulfide composites are given. The friction coefficients of EPAN coatings on MAO coatings according to the “shaft-bushing” scheme do not exceed 0.05 at pressures of 10—20 kg/cm<sup>2</sup> and shaft rotation speeds from 130 to 600 rpm. The advantage of such combinations of materials is the use of a light alloy — aluminum with MAO coating — for the counterbody to the EPAN coatings, which is important for space products. The creation and testing of solid lubricating coatings for modern space technology is a task of extreme importance, because in many developments of space products, low-temperature plastic lubricants continue to be used, which are operable up to subzero temperatures of 90 °C — 110 °C. Such solutions require the use of thermal insulation and heating for mobile interfaces and friction units of machines, mechanisms and devices. As a result, a serious complication of structures and an increase in their weight. The tests of EPAN coatings on MAO coatings carried out in the work open up new possibilities in the combination of materials for space technology. Having a coefficient of friction of 0.05 and high wear resistance, they allow you to create movable joints, first of all. sliding bearings, for operation on Earth sensing satellites, as well as mechanisms on the Moon.

**Keywords:** outer space, hard lubricating coatings, microarc oxidation-coatings, tribological parameters, coefficient of friction, wear resistance, low temperatures, space environment, vacuum.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-6-544-550

---

### Адрес для переписки:

М.А. Броновец  
Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской  
академии наук»,  
Проспект Вернадского, д.101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия  
e-mail: brnovets@ipmmet.ru

### Address for correspondence:

M.A. Bronovets  
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy  
of Sciences,  
Prospect Vernadskogo, 101, building 1, Moscow 119526, Russia  
e-mail: brnovets@ipmmet.ru

### Для цитирования:

М.А. Броновец  
Покрyтия триботехнического назначения для открытого космоса.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 6. – С. 544–550.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-6-544-550

### For citation:

M.A. Bronovets  
[Tribological Coatings for Open Space].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 6, pp. 544–550 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-6-544-550

## Список использованных источников

1. **Броновец М.А.** Триботехнические характеристики твёрдых смазочных покрытий // Трение и износ. — 2023 (44), № 4, 335—341
2. **Прожега М.В., Решиков Е.О., Константинов Е.О.** Исследования антифрикционных покрытий дисульфида молибдена в экстремальных условиях эксплуатации // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Полимерные композиты и трибология», Гомель, Беларусь, 28-30 июня 2022 г. — 2022, 95
3. **Yang I.C. and De Groh K.K.** Materials Issues in the Space Environment // Mrs Bull. — 2010 (35), 12—16 ()
4. **Броновец М.А.** Открытый космос: проблемы трибологии и задачи испытаний // Сб. статей международной научной конференции: Механика и трибология транспортных систем (МехТрибоТранс–2021). — Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения. — 2021, 35—40. DOI: 10.46973/978-5-907295-52-0\_2021\_35
5. **Wang H., Xu B., and Liu J.** Solid Lubrication Materials. — Springer, Berlin, Heidelberg. — 2012. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23102-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23102-5_1)
6. **Kirk B.A. and Sawyer W.G.** Space Tribometers: Design for Exposed Experiments on Orbit // Tribology Letters. — 2011 (41), 303—311
7. **Броновец М.А.** Твёрдосмазочные покрытия в космической технике // Сборник «Трибология – машиностроению», Труды XIV Международной научно-технической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения А.П. Семёнова. — М.: Издательство ИМАШ РАН. — 2022, 64—67
8. **Malyshev V.N.** Oil and Gas Steels Surface Hardening Investigation by Anodic Plasma Electrolytic Treatment // Chemical Engineering and Processing – Process Intensification. — Elsevier BV (Netherlands). — 2022 (179), 109—055. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109055>
9. **Материалы для узлов сухого трения, работающих в вакууме.** Справочник. — М.: Машиностроение. — 1991
10. **Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М.** Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. — М.: Техносфера. — 2011

## References

1. **Bronovets M.A.** Tribotekhnicheskie karakteristiki tverdykh smazochnykh pokrytii // Friction and Wear. — 2023 (44), no. 4, 335—341
2. **Prozhega M.V., Reshchikov E.O., Konstantinov E.O.** Issledovaniya antifrikcionnykh pokrytii disulfida molibdena v ekstremal'nykh usloviyakh eksplyatacii. Tesisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-technicheskoi konferencii “Polymernye komposity I tribologiya” Gomel’, Belarus’ 28-30 june 2022. — 2022, 95
3. **Yang I.C. and De Groh K.K.** Materials Issues in the Space Environment // Mrs Bull. — 2010 (35), 12—16
4. **Bronovets M.A.** Otkryti kosmos: Sbornic statei Mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii “Mechanica I tribologiya transportnykh system” (Mech-TriboTrance 2021). — Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Rostovskogo gosuniversiteta putey soobshcheniya. — 2021, 35—40
5. **Wang H., Xu B., and Liu J.** Solid Lubrication Materials. — Springer, Berlin, Heidelberg. — 2012. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23102-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23102-5_1)
6. **Kirk B.A. and Sawyer W.G.** Space Tribometers: Design for Exposed Experiments on Orbit // Tribology letters. — 2011 (41), 303—311
7. **Bronovets M.A.** Tverdostasochnye pokrytiya v kosmicheskoi tekhnike // Sbornik “Tribologiya — mashinostroeniyu”, Trudy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-technicheskoi konferencii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya A.P. Semenova. — M.: IMASH RAN. — 2022, 64—67 (in Russian)
8. **Malyshev V.N.** Oil and Gas Steels Surface Hardening Investigation by Anodic Plasma Electrolytic Treatment // Chemical Engineering and Processing – Process Intensification. — Elsevier BV (Netherlands). — 2022 (179), 109—055. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109055>
9. **Materialy dly uzlov suhogo treniya rabotayushchikh v vacuume.** — Moscow: Mashinostroenie. — 1991 (in Russian)
10. **Suminov I.V., Belkin P.N., Epelfeld A.V., Ludin V.B., Krit B.L., Borisov A.M.** Plazmenno-electrolyticheskoe modifitsirovanie poverkhnosti metallov i splavov. — M.: Tekhnosfera. — 2011 (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)