

УДК 621.891.539.2

## Твёрдосмазочные покрытия космического назначения

М.А. Броновец

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119524, Россия

Поступила в редакцию 04.08.2025.

Твёрдые смазочные покрытия (ТСП) на основе твёрдых слоистых смазок, нанесённых на трущиеся поверхности, получили достаточно широкое распространение благодаря сравнительной простоте их применения. Выбор типа покрытия и методов его нанесения определяется конструкцией узла трения, требованиями работоспособности узла трения при заданных условиях и режимах работы. В настоящей работе с возможной полнотой изложены испытания ТСП в зависимости от схем испытаний, параметров фрикционного взаимодействия, вакуума.

Проведены триботехнические испытания следующих ТСП: ВНИИНП-512, ЭОНИТ-3, Димолит 1, Димолит 2, Димолит 3, Димолит 4.

Опытное ТСП холодного отверждения как с использованием графита, так и при применении графита вместе с дисульфидом молибдена имеет стабильный и практически одинаковый коэффициент трения ( $f_{нач} = 0,14—0,15$ ;  $f_{мин} = 0,12$ ;  $f_{уст} = 0,18$ ). Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения данного покрытия в узлах трения при возвратно-поступательном движении.

**Ключевые слова:** твёрдосмазочные покрытия, триботехнические характеристики, криогенные температуры, методы испытаний, окружающая среда, открытый космос.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-5-441-448

---

**Адрес для переписки:**

М.А. Броновец  
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119524, 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.  
Твёрдосмазочные покрытия космического назначения.  
Трение и износ.  
2025. — Т. 46, № 5. — С. 441—448.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-5-441-448

---

**For citation:**

M.A. Bronovets.  
[Tribotechnical Coatings for Space Application].  
Trenie i Iznos.  
2025, vol. 46, no. 5, pp. 441—448 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-5-441-448

# Tribotechnical Coatings for Space Application

**M.A. Bronovets**

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

*Received 04.08.2025.*

## Abstract

The need to use Solid Lubricating Coating (SLC) arose already with the launch of the first space satellites, in which cold welding of articulated joints took place. SLC have the following main advantages [1, 2, 4]: low evaporation in a vacuum, low friction coefficient, and performance in zero gravity. They can be used in outer space conditions over a wider temperature range than frost-resistant plastic lubricants. The selection of the most suitable SLC [3-6] requires a thorough study of their tribotechnical characteristics depending on the design of friction units, frictional interaction parameters, and environmental characteristics. SLC are capable of operating in a wide range of temperatures in air, vacuum, and gas environments; they have a radiation resistance of  $10^6$ — $10^{10}$  rad depending on the binder; they are capable of withstanding high contact loads and are insensitive to zero gravity. The most widespread SLC are in the form of suspensions of solid lubricant with a binder, applied by a spray gun with subsequent curing by heat treatment. A wide range of coatings has been developed: VNIINP-213, VNIINP-512, VNIINP-513, APF-5, EONIT-3 and Dimolits.

We conducted tribological testing of the above coatings using various friction pair configurations, in air and vacuum, at various temperatures, and across a wide range of loads and sliding speeds.

These data are important for selecting coatings for friction components being developed for spacecraft.

**Keywords:** hard-lubricating coatings, tribological characteristics, cryogenic temperatures, test methods, environment, open space.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-5-441-448

---

### Адрес для переписки:

М.А. Броновец  
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119524, 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.  
Твёрдосмазочные покрытия космического назначения.  
Трение и износ.  
2025. — Т. 46, № 5. — С. 441—448.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-5-441-448

---

### For citation:

M.A. Bronovets.  
[Tribotechnical Coatings for Space Application].  
*Trenie i Iznos*.  
2025, vol. 46, no. 5, pp. 441—448 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-5-441-448

## Список использованных источников

1. **Броновец М.А.** Покрyтия триботехнического назначения для открытого космоса // Трение и износ. — 2023 (44), № 6, 544—550
2. **Yang I.C. and De Groh K.K.** Materials Issues in the Space Environment // Mrs Bull. — 2010 (35), 12—16
3. **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: 10.46973/978-5-907295-520\_2021\_35
4. **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)
5. **Vazirisereshk M.R., Martini A., Strubbe D.A., and Baykara M.Z.** Solid Lubrication with MoS<sub>2</sub>: a Review // Lubricants. — 2019 (7), 7. <https://doi.org/10.3390/LUBRICANTS7070057>
6. **Sun X.** Solid Lubricants for Space Mechanisms, Encyclopedia of Tribology. — Boston, MA: Springer. — 2013, 3165—72. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5\\_1230](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_1230)
7. **Lince J.R.** Doped MoS<sub>2</sub> Coatings and Their Tribology, Encyclopedia of Tribology. — Boston, MA: Springer. — 2013. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5\\_1175](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_1175)
8. **Georgakilas V., Perman J.A., Tucek J., and Zboril R.** Broad Family of Carbon Nanoallotropes: Classification, Chemistry, and Applications of Fullerenes, Carbon Dots, Nanotubes, Graphene, Nanodiamonds, and Combined Superstructures // Chem. Rev. — 2015 (115), no. 11, 4744—4822. <https://doi.org/10.1021/cr500304f9>

## References

1. **Bronovets M.A.** Tribological Coatings for Open Space // Journal of Friction and Wear. — 2023 (44), no. 6, 544—550
2. **Yang I.C. and De Groh K.K.** Materials Issues in the Space Environment // Mrs Bull. — 2010 (35), 12—16
3. **Bronovets M.A.** Open space: Tribology problems and test tasks // Sb. statei mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Mekhanika i tribologiya transportnykh sistem (MekhTriboTrans–2021)» (Coll. of Sci. Papers of Int. Sci. Conf. «Mechanics and Tribology of Transport Systems (MekhTriboTrans–2021)»). — Rostov-on-Don: Rostovskii Gos. Univ. Putei Soobshcheniya. — 2021, 35—40. [https://doi.org/10.46973/978-5-907295-520\\_2021\\_35](https://doi.org/10.46973/978-5-907295-520_2021_35)
4. **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)
5. **Vazirisereshk M.R., Martini A., Strubbe D.A., and Baykara M.Z.** Solid Lubrication with MoS<sub>2</sub>: a Review // Lubricants. — 2019 (7), 7. <https://doi.org/10.3390/LUBRICANTS7070057>
6. **Sun X.** Solid Lubricants for Space Mechanisms, Encyclopedia of Tribology. — Boston, MA: Springer. — 2013, 3165—72. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5\\_1230](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_1230)
7. **Lince J.R.** Doped MoS<sub>2</sub> Coatings and Their Tribology, Encyclopedia of Tribology. — Boston, MA: Springer. — 2013. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5\\_1175](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_1175)
8. **Georgakilas V., Perman J.A., Tucek J., and Zboril R.** Broad Family of Carbon Nanoallotropes: Classification, Chemistry, and Applications of Fullerenes, Carbon Dots, Nanotubes, Graphene, Nanodiamonds, and Combined Superstructures // Chem. Rev. — 2015 (115), no. 11, 4744—4822. <https://doi.org/10.1021/cr500304f9>

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)