

## УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЙ КОМПОЗИТ В ПОДШИПНИКЕ СКОЛЬЖЕНИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ФТОРОПЛАСТУ

*Лукьянов А.И.*

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва, Россия*

**Ключевые слова:** углерод-углеродный композит, подшипники скольжения, пара трения УУКМ-сталь, пара трения фторопласт-сталь, УУКМ модифицированный селенидом олова, халькогениды.

**Аннотация.** Проведены сравнительные испытания двух упорных подшипников скольжения при сухом трении. Конструктивно в одном подшипнике используется упорная деталь в виде круга из фторопласта Ф-4, в другом – в виде круга из углерод-углеродного композита с модифицированной поверхностью. Вращающаяся деталь – втулка из стали. Скорость вращения втулки постоянна – 2,5 м/с, давление в интервале от 0,618 до 2,077 МПа. Были проведены замеры коэффициента трения для фторопласта и для УУКМ. Испытания показали, что коэффициент трения в подшипнике с углерод-углеродным композитом с модифицированной поверхностью меньше чем в подшипнике с применением фторопласта Ф-4.

## CARBON-CARBON COMPOSITE IN A SLIDING BEARING AS AN ALTERNATIVE TO FLUOROPLAST

*Lukyanov A.I.*

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia*

**Keywords:** carbon-carbon composite, sliding bearings, friction pair UCM-steel, friction pair fluoroplast-steel, UCM modified with tin selenide, chalcogenides.

**Abstract.** Comparative tests of two thrust plain bearings under dry friction have been carried out. Structurally, one bearing uses a thrust part in the form of a circle made of fluoroplast F-4, in the other – in the form of a circle made of carbon-carbon composite with a modified surface. The rotating part is a steel sleeve. The rotation speed of the sleeve is constant – 2,5 m/s, pressure in the range from 0,618 to 2,077 MPa. Friction coefficient measurements were carried out for fluoroplast and for UCM. Tests have shown that the coefficient of friction in a bearing with a carbon-carbon composite with a modified surface is less than in a bearing using fluoroplast F-4.

**Введение.** В современных космических полетах наибольший интерес представляет изучение планет, находящихся на значительном удалении от Земли где могут быть большие давления и повышенные температуры. Поэтому к подшипникам скольжения в узлах трения предъявляются более жесткие требования по коэффициенту трения, износу, пусковому моменту после длительной консервации. Фторопластовые подшипники могут работать при температуре не выше +200°C и максимальной скорости вращения упорной втулки до 1,9 м/с. При большей скорости идет сильный износ [1]. Композитные материалы на основе углерода обладают намного более высокими значениями температуры, скорости вращения, давления. В статье [2] основной акцент сделан на повышении несущей способности подшипника.

Для этого была сформирована пленка на основе углерода, насыщенного кубическими наночастицами никеля, модифицированного олеиламином. При этом углеродный слой графитизируется под действием трения с образованием смазочного слоя, обеспечивающим низкий коэффициент трения при экстремально высоком давлении. То есть при соответствующей модификации углерод-углеродного композита возможно получение трибологических параметров не хуже чем у фторопласта.

Цель работы – получение при помощи модификации поверхности углерод-углеродного композита коэффициента трения меньше чем у фторопласта Ф-4 при сухом трении.

**Материалы.** Был выбран УУКМ с плотностью  $1,61 \text{ г/см}^3$  и пористостью 16% в виде круга, фторопласт в виде круга марки Ф-4 (политетрафторэтилен) плотность составляет  $2,18\text{--}2,21 \text{ г/см}^3$  (ГОСТ 10007-80), втулка – сталь 40Х с твердостью HRC 52..54.

**Оборудование и технологии.** Расположение элементов подшипника – вертикальное – внизу круг из УУКМ (или фторопласт Ф-4), который упирается во вращающуюся втулку. Нагрузка прикладывается через рычаги снизу. С помощью датчика данные момента трения выводились на компьютер. Подробное описание конструкции в [3]. Модификация УУКМ-образца осуществлялась методом пропитки раствором соли олова с последующим насыщением парами селена и политетрафторэтилена (ПТФЭ) в камере с ТВЧ нагревом.

**Результаты эксперимента.** Поверхность модифицированного УУКМ была исследована при помощи электронного микроскопа SNE – 4500M Plus. Результаты отображены в таблице 1.

После проведения испытаний был построен график (рис. 1).

Табл.1. Содержание элементов на поверхности УУКМ в процентах.

Sn	Se	Al	Si	Fe
46,55	45,12	3,27	1,58	3,49

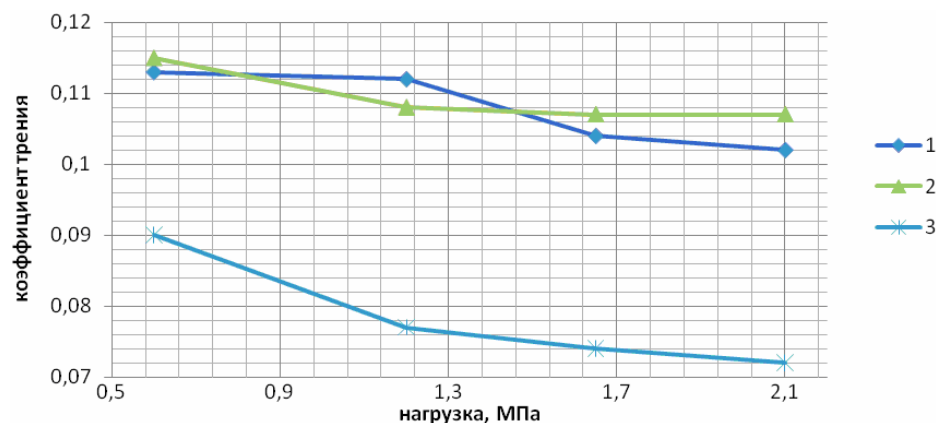


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки при скорости 2,5 м/с при сухом трении, температуре  $20^\circ\text{C}$  материалов : 1 – фторопласт Ф-4; 2 – УУКМ (без модификации); 3 – УУКМ + SnSe + ПТФЭ

## Выводы

1. Модифицированный углеродный композит по коэффициенту трения значительно лучше чем фторопласт Ф4.

2. Возможное объяснение процесса: при пуске в первый момент на уменьшение коэффициента трения влияет селен и ПТФЭ; по мере увеличения нагрузки селен испаряется, так как в зоне контакта увеличивается температура и образуется жидкая ванна олова в вязкой матрице композита, которая уменьшает коэффициент трения.

## Список литературы

1. Roshchin M.N. Tribological studies of sliding bearings with fluoroplast when lubricated with hydraulic fluid in pumps // AIP Conf. Proc. 2024, vol. 3102, p.020030. doi.org/10.1063/5.0200009.
2. Hu Jiasheng, Yujian Zhang, Guangbin Yang, Chuanping Gao, Ningning Song, Shengmao Zhang, Pingyu Zhang. An on-site carbon-based composite tribofilm with ultra-high load-bearing capacity // International tribology. 2020, vol. 152, p.106577. doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106577.
3. Рощин М.Н. Изменение коэффициента трения модифицированной поверхности углерод-углеродного материала Углекон от нагрузки // Journal of Advanced Research in Natural Science. – 2024. – №20. – С. 33-35. – doi.org/10.26160/2572-4347-2024-20-33-35.

## References

1. Roshchin M.N. Tribological studies of sliding bearings with fluoroplast when lubricated with hydraulic fluid in pumps // AIP Conf. Proc. 2024, vol. 3102, p.020030. doi.org/10.1063/5.0200009.
2. Hu Jiasheng, Yujian Zhang, Guangbin Yang, Chuanping Gao, Ningning Song, Shengmao Zhang, Pingyu Zhang. An on-site carbon-based composite tribofilm with ultra-high load-bearing capacity // International tribology. 2020, vol. 152, p.106577. doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106577.
3. Roshchin M.N. Change in the coefficient of friction of the modified surface of carbon-carbon material Carbon from the load // Journal of Advanced Research in Natural Science. 2024, iss. 20, pp. 33-35. doi.org/10.26160/2572-4347-2024-20-33-35.

<b>Лукьянов Алексей Игоревич</b> – младший научный сотрудник alexxx0072@rambler.ru	<b>Lukyanov Aleksey Igorevich</b> – junior researcher
---	---

*Received 26.06.2024*