Оригинальное исследование

УДК 620.178.16
DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_207 EDN: BCQSCH

Оценка трибологических свойств графитонаполненного полисульфона

Н.А. Поляков, С.Г. Чулкин

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Разработка антифрикционных материалов, для дейдвудных подшипников и технологий их изготовления, взамен импортных, позволит обеспечить устойчивое развитие отечественного судостроения и приблизит выполнение целей, поставленных Правительством РФ в стратегии развития судостроения. Так амбициозный проект ледокола «Лидер» мощностью 120 МВт и имеющий ледовый класс Icebreaker 9, направленный на освоение Северного морского пути требует применение антифрикционных вкладышей с высокими эксплуатационными свойствами. В условиях санкционного давления необходимо не только заменить импортные материалы, нужно превзойти их по механическим свойствам. В связи с этим актуальной является проблема разработки новых антифрикционных композитов с улучшенными механическими свойствами.

Цель работы — определить применимость графитонаполненного полисульфона в качестве антифрикционного материала для судовых дейдвудных подшипников.

Материалы и методы. Для проведения эксперимента был подготовлен композит и литьевые матрицы для получения образцов. В качестве материала сравнения был выбран капролон. Исследование проводилось на машине трения по принципу контакта «диск—брусок» с фиксацией следующих параметров: времени трения, частоты вращения вала (диска), силы воздействия вала на образец, измерения потребляемой мощности машины трения в процессе Материалы, а также ширины лунки износа. На основании данных испытаний были определены параметры: глубина сегмента износа, момент трения, динамический коэффициент трения, линейный и весовой износ.

Результаты. В результате исследования трибологических свойств графитонаполненного полисульфона была получена математическая модель линейного износа ПСФ+10%С. Испытания проводились как для композита ПСФ+10%С, так и для капролона, принятого за эталон, что позволило определить относительную износостойкость композита, которая находится в диапазоне 0,08–0,33 для принятых условий эксперимента.

Заключение. Полученный материал ПСФ+10%С уступает капролону по износу и коэффициенту трения, а также коэффициенту относительной износостойкости. Результаты исследования не позволяют рекомендовать состав композита для применения в дейдвудных подшипниках, однако полученная математическая модель износа может найти применение в других областях науки и техники.

Ключевые слова: судостроение; испытание; трение; износ; полисульфон (ПСФ); углерод; композит; литьевая машина; литье под давлением; дейдвудные подшипники.

Как цитировать
Поляков Н.А., Чулкин С.Г. Оценка трибологических свойств графитонаполненного полисульфона // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 2. С. 207–214. DOI: 10.52899/24141437_2025_02_207 EDN: BCQSCH

Рукопись получена: 20.02.2025 **Рукопись одобрена:** 03.04.2025 **Опубликована online:** 26.06.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY 4.0 International
© Авторы, 2025

Original study article
DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_207 EDN: BCQSCH

Tribological Evaluation of Graphite-Reinforced Polysulfone

Nikita A. Polyakov, Sergey G. Chulkin

Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The development of antifriction materials for stern tube bearings and their manufacturing to replace imported ones will ensure the sustainable development of national shipbuilding and allow to achieve the goals set by the Government of the Russian Federation to implement the shipbuilding development strategy. For example, the ambitious 120 MW Leader icebreaker (Icebreaker 9 Ice Class) project designed to develop the Northern Sea Route requires high performance antifriction liners. In the context of sanctions, it is required to both replace imported materials and surpass their mechanical properties. In this regard, the problem of developing new antifriction composites with improved mechanical properties is relevant.
AIM: To determine the applicability of graphite-reinforced polysulfone as an antifriction material for marine stern tube bearings.
MATERIALS AND METHODS: For the experiment, we used a composite and casting matrices to make test pieces. Caprolon was selected as the comparable material. The study was conducted on a tribometer using the disk and bar contact principle. We recorded the friction time, shaft (disk) rotation frequency, shaft force on the test piece, tribometer power consumption during the process, and crater wear width. The tests allowed to determine wear segment depth, friction torque, dynamic friction coefficient, and linear and weight wear.
RESULTS: The tribological evaluation of graphite-reinforced polysulfone allowed to develop a mathematical linear wear model of PSF+10%C. Tests were conducted both for the PSF+10%C composite and caprolon taken as a reference; they allowed to determine the relative wear resistance of the composite in the range of 0.08–0.33 for the given experimental conditions.
CONCLUSION: The resulting material PSF+10%C has poorer wear parameters, friction coefficient, and relative wear resistance coefficient compared to caprolon. The study does not allow us to recommend the composite for use in stern tube bearings. However, the resulting mathematical wear model may be used in other scientific and technology applications.

Keywords: shipbuilding; testing; friction; wear; polysulfone (PSF); carbon; composite; injection machine; die casting; stern tube bearings.

To cite this article
Polyakov NA, Chulkin SG. Tribological Evaluation of Graphite-Reinforced Polysulfone. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University.* 2025;4(2):207–214. DOI: 10.52899/24141437_2025_02_207 EDN: BCQSCH

Submitted: 20.02.2025 **Accepted:** 03.04.2025 **Published online:** 26.06.2025

ECO • VECTOR

The article can be used under the CC BY 4.0 license
© Authors, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Полисульфон — это неусиленный, аморфный полимер, который обладают стойкостью к воздействию высоких температур, гидролизу, химическому воздействию и пару. Полисульфоны устойчивы к радиационным воздействиям. Высока устойчивость полисульфонов к образованию трещин при высоких напряжениях вплоть до 150 °С. Предел текучести у них на 20–30% больше, чем у поликарбонатов и полиамидов. Для полисульфонов характерно постоянство диэлектрических свойств в широком диапазоне температур и частот [1].

Ранее проводились такие исследования как: трибологические свойства полимерных нанокомпозитов на основе полисульфона [2], исследование трибологических свойств композиционных покрытий на основе полисульфона [3], антифрикционность и антифрикционные свойства термостойких термопластов [4]. Помимо этого, проводились обширное изучение полисульфона с графитовым наполнением: влияние модификации функционализированными углеродными нанотрубками на свойства полисульфона [5], механические и проводящие свойства графитонаполненных композитов на основе полисульфона [6]. Однако исследований износостойкости графитнаполненного полисульфона не производилось. Данная композиция могла бы быть востребованной в судостроении, а именно, в дейдвудных подшипниках [7, 8], в случае получения антифрикционных свойств после добавления графита.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ

Для оценки трибологических характеристик композита ПСФ 150+С был выбран базовый материал ПСФ150 ТУ 6-06-6-88 с модификатором трения в виде графитового порошка ГИИ-А ТУ 1916-109-71-2009. Для определения относительного коэффициента износа, за эталон принят полиамид 6-блочным «Капролон» ТУ 2224–004–47921026–2016.

Для испытаний были разработаны и изготовлены литьевые матрицы, по которым были изготовлены образцы для испытаний. Отливка деталей происходит при помощи литьевой машины (рис. 1)

Для испытаний на износ была применена испытательная установка, представленная на рис. 2.

Оценка износостойкости материалов будет производиться с учетом снижении удельного давления на плоский образец по методике Л. В. Ефремова, А. В. Тикалова [9, 10].

По данной методике процесс испытаний происходит в течение времени T, при заданных частоте вращения n и нагрузке F, диск диаметром D врезается в брусок шириной H, образуя износ в виде сегмента площадью A. Длина хорды образованного сегмента измеряется под микроскопом.

Эскиз пары трения «диск—брусок», где диск 1 вырезает сегмент в бруске 2 показан на рис. 3.

Линейный h_l и весовой h_m износ рассчитываются соответственно по формулам

$$h_l = \frac{A}{L} = \frac{L^2}{12r}, \quad (1)$$

$$h_m = AH\gamma = h_l LH\gamma. \quad (2)$$

При сравнительном тестировании материалов на износостойкость назначается износостойкость эталонного материала. Для этого рассчитывается интенсивность изнашивания $I = h_l/S$, а износостойкость ε является величиной, обратной интенсивности изнашивания:

$$\varepsilon = \frac{1}{I} = \frac{S}{h_l}, \quad (3)$$

где $S = \pi D_n T$ — путь трения.

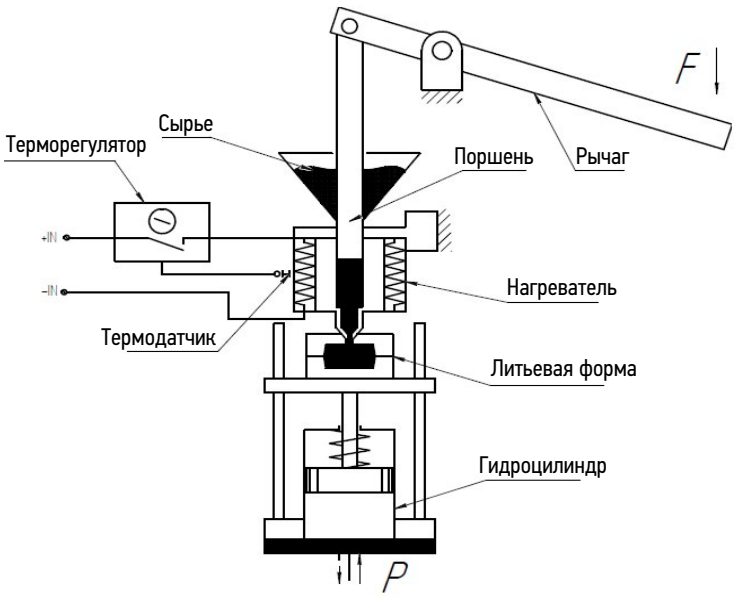

Рис. 1. Схема литьевой машины.
Fig. 1. Injection machine diagram.

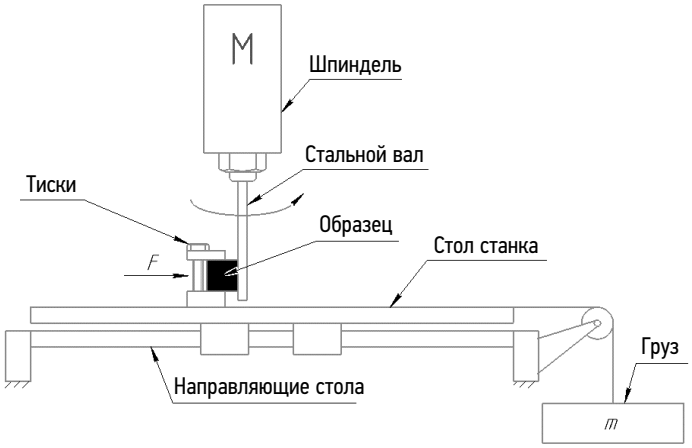

Рис. 2. Испытательная установка.
Fig. 2. Test bench.

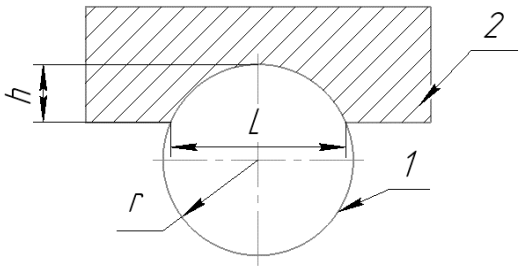

Рис. 3. Эскиз пары трения: *h* — глубина сегмента, *L* — длина хорды, *r* — радиус диска.
Fig. 3. Tribological situation layout: *h*, segment height; *L*, chord length; *r*, disk radius.

Относительная износостойкость материала ε' рассчитывается по формуле

$$\varepsilon' = \varepsilon / \varepsilon', \quad (4)$$

где ε' — износостойкость эталонного образца.

В настоящей работе при решении задачи определения износостойкости материалов удельное давление является вспомогательным показателем и в методике не учитывается. Основной динамический показатель — нагрузка F, таким образом, удельное давление определяется как:

$$P = \frac{F}{LH}. \quad (5)$$

Динамический коэффициент трения определялся по формуле:

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{r \times P}, \quad (6)$$

где $M_{\text{тр}}$ — момент трения, Н·м; r — радиус образца, м; P — действующая нагрузка.

Момент трения, возникающий при истирании образцов, определяют при помощи измерительного комплекта, который предназначен для измерений силы тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных трехпроводных и четырехпроводных цепях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузках фаз.

Между мощностью и моментом существует зависимость

$$W = M_{\text{тр}} \times \omega, \quad (7)$$

где W — угловая скорость, рад/с.

В процессе эксперимента, когда вал машины трения входит в контакт с испытываемым образцом, в результате действия сил трения, повышается потребляемая мощность электродвигателя. Разница потребляемой мощности машины трения при устоявшемся «холостом» режиме и потребляемой при работе с преодолением сил трения будет мощностью, потраченной на момент трения.

Тогда динамический коэффициент трения:

$$f_{\text{тр}} = \frac{\Delta W \times r \times P}{\omega}. \quad (8)$$

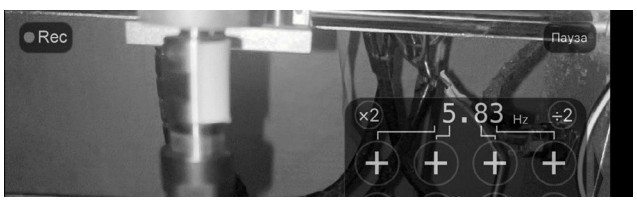

Рис. 4. Окно программы по определению частоты вращения вала.
Fig. 4. Window of the shaft rotation frequency test program.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Во время эксперимента необходимо определение фактической частоты вращения вала в паре трения, установившейся в процессе эксперимента. Для выполнения данной задачи используется эффект стробоскопа, при совпадении частоты включений лампы или частоты кадров видеокамеры с частотой вращения вала, метка нанесенная на вращающейся вал «застывает». Окно программы с фиксацией частоты вращения вала придавлен на рис. 4.

Определение изменения потребляемой мощности оборудования для определения момента трения производится при помощи измерительного прибора, установленного перед в электрическую сеть перед потребителем.

Измерение износа образцов проводится при помощи цифрового микроскопа с увеличения 500х и метода искусственных баз.

ПОДГОТОВКА КОМПОЗИТА

Композит подготавливается из гранул полисульфона марки ПСФ150 ТУ 6-06-6-88.

Для улучшения процесса гармонизации композита в процессе плавки, гранулы перемалываются в пластины на жерновой мельнице до средних размеров частиц 0,5 мм х1,9мм х0,2мм, показанных на рис. 5.

Для исследования композита был выбран следующий состав ПСФ+10%С для отработки методики. Перемешивание пластин ПСФ с графитом производилось вручную поочередно в нескольких емкостях.

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_207

ИСПЫТАНИЯ

Процесс трения осуществлялся при помощи стального вала ø 3 мм.

Мощность, потребляемая машиной трения на холостом ходу W=22.2 Вт.

Данные испытаний представлены в табл. 1.

Примеры замера лунок износа образцов приведены на рис. 6, 7.

На основании таблицы испытаний, определены трибологические характеристики материала (табл. 2, 3).

Таблица 1. Данные с испытаний
Table 1. Test data

Нагрузка на тело трения, Н	Частота вращения вала, Гц	Время испытаний, мин	0,5	1,5	6,5	16,5
		Капролон				
14,7	5,83	L, мм	–	0.7	0.71	0.85
		W, Ватт	23	22.8	23	23
29,4	5,8	L, мм	0,84	0,85	0,9	–
		W, Ватт	23,5	24,3	24.7	–
		ПСФ 150+С				
14,7	5,83	L, мм	1,4	2	2,4	–
		W, Ватт	22,8	23,2	23,5	–
29,4	5,8	L, мм	1,4	1,9	2,4	–
		W, Ватт	23,8	24	23,8	–

Таблица 2. Трибологические характеристики капролона по результатам испытаний
Table 2. Tribological test parameters of caprolon

Нагрузка на стенд, Н	Параметры	Время испытаний, мин			
		0,5	1,5	6,5	16,5
14,7	h_l	–	0,01	0,01	0,02
	S, путь трения, м	–	4,94	21,42	54,37
	P, МПа	–	1,40	1,38	1,15
	$F_{тр}$	–	0,07	0,09	0,08
29,4	h_l	0,02	0,02	0,02	–
	S, путь трения, м	1,64	4,92	21,31	–
	P, МПа	2,33	2,31	2,18	–
	$F_{тр}$	0,25	0,40	0,45	–

Таблица 3. Трибологические характеристики ПСФ+10%С по результатам испытаний
Table 3. Tribological test parameters of PSF+10%C

Нагрузка на стенд, Н	Параметры	Время испытаний, мин			
		0,5	1,5	6,5	16,5
14,7	h_l	0,05	0,11	0,16	–
	S, путь трения, м	4,61	6,59	7,91	–
	P, МПа	2,10	1,47	1,23	–
	$F_{тр}$	0,10	0,12	0,13	–
29,4	h_l	0,05	0,10	0,16	–
	S, путь трения, м	1,64	4,92	21,31	–
	P, МПа	4,20	3,09	2,45	–
	$F_{тр}$	0,55	0,46	0,32	–

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_207

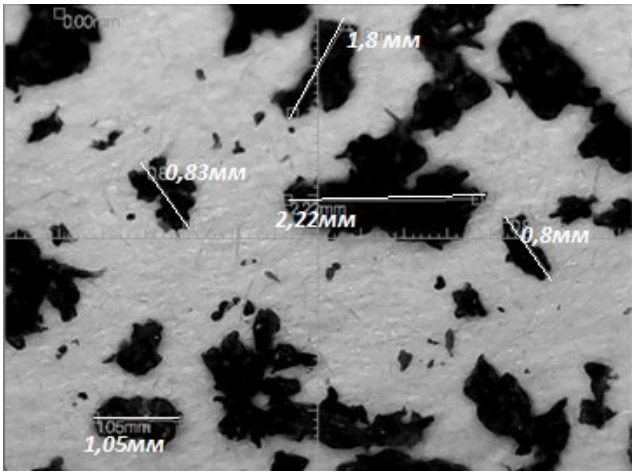

Рис. 5. Размеры частиц перемолотых гранул.
Fig. 5. Particle sizes of ground granules.

Следы износа образцов

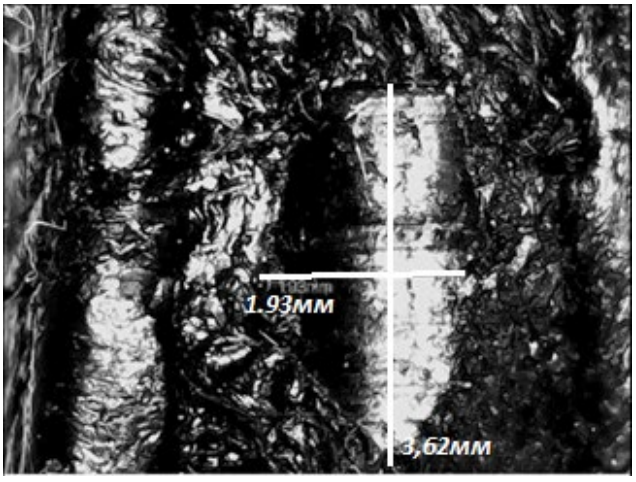

Рис. 6. Износ ПСФ+10%С. При условиях трения: нагрузка 1,5 кг, 1,5 мин. Трения.
Fig. 6. Wear of PSF+10%C. Friction conditions: 1.5 kg load, 1.5 min friction.

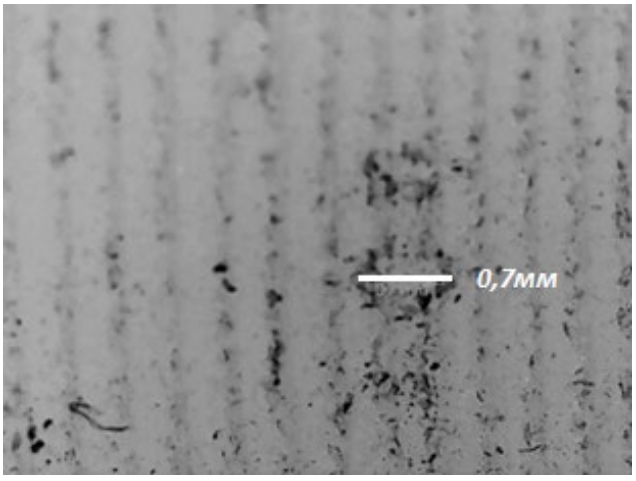

Рис. 7. Износ капролона. При условиях трения: нагрузка 1,5 кг, 6,5 мин. Трения результаты испытаний представлены в виде сравнительных графиков (Рис. 8–11).
Fig. 7. Caprolon wear. Friction conditions: 1.5 kg load, 6.5 min friction. For test results, see comparative graphs (Fig. 8–11).

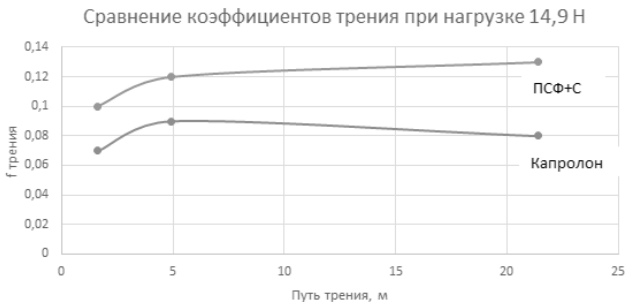

Рис. 8. Сравнение коэффициентов трения при нагрузке 14,9 Н.
Fig. 8. Friction coefficients comparison for a load of 14.9 N.

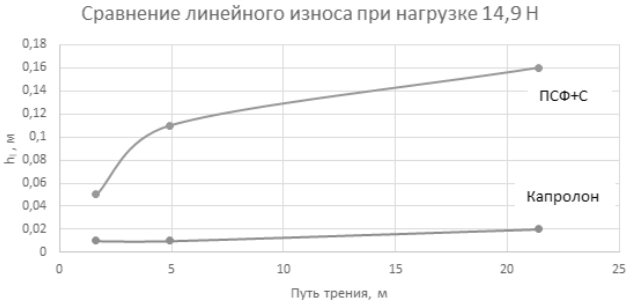

Рис. 9. Сравнение линейного износа при нагрузке 14,9 Н.
Fig. 9. Linear wear comparison for a load of 14.9 N.

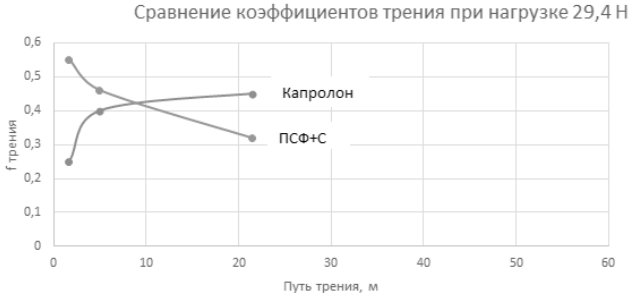

Рис. 10. Сравнение коэффициентов трения при нагрузке 29,4 Н.
Fig. 10. Friction coefficients comparison for a load of 29.4 N.

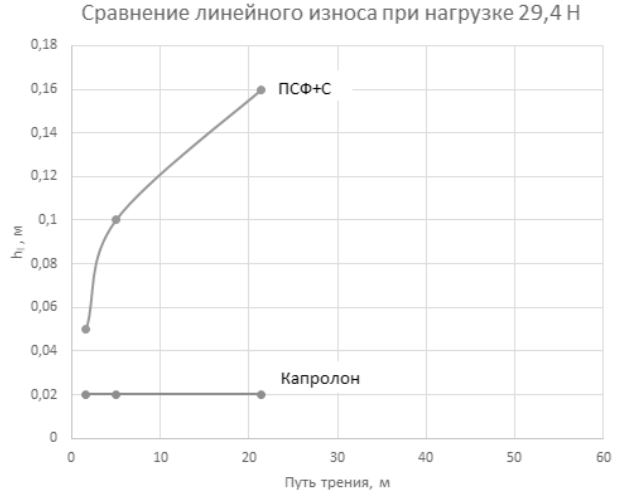

Рис. 11. Сравнение линейного износа при нагрузке 29,4 Н.
Fig. 11. Linear wear comparison for a load of 29.4 N.

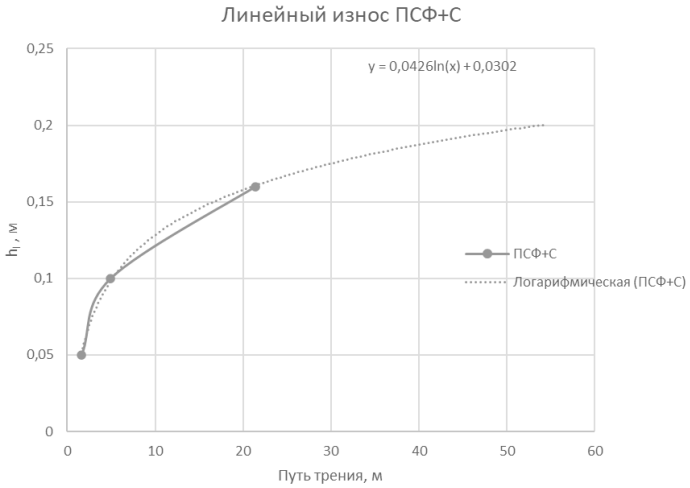

Рис. 12. Линейный износ ПСФ+10%С.
Fig. 12. Linear wear of PSF+10%C.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Исходя из результатов экскремента можно сделать вывод, для капролона при нагрузке 14,9Н в начале процесса трения наблюдается увеличение динамического коэффициента трения, после притирки коэффициент трения незначительно уменьшается. Динамический коэффициент трения для образца ПСФ+10%С больше порядка двух раз чем у капролона. В отличии от капролона, у ПСФ+10%С коэффициент трения увеличивается на всем рассматриваемом участке. Линейный износ для ПСФ+С на порядок больше, чем у капролона.

При нагрузке 29,4 Н для ПСФ+10%С наблюдается значительное уменьшение динамического коэффициента трения в процессе износа, причем значение линейного износа аналогичные, как и при опыте с нагрузкой 14,9 Н. Вероятно материал обладает достаточной твердостью для сопротивления трению под разной нагрузкой, но является хрупким, в связи с чем процесс износа зависит в большей степени от пути трения нежели удельного давления.

Капролон в данном эксперименте сохраняет постоянным значение линейного износа (максимальное значение, достигнутое при нагрузке 14,9Н.

Относительная износостойкость материала ПСФ+10%С относительно капролона, определяемая по формуле 3,4, лежит в диапазоне 0,08-0,33.

Таким образом, полученный материал ПСФ+10%С уступает капролону по износу и коэффициенту трения, а также коэффициенту относительной износостойкости.

По результатам эксперимента построена математическая модель линейного износа ПСФ+10%С.

$$h_l = 0.0426\ln(S) + 0.0302. \quad (8)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка современных антифрикционных материалов с высокими физико-механическими свойствами остается актуальной задачей, в том числе, отечественного судостроения.

В связи с этим в данной работе был рассмотрен композит на основе ПСФ 150 с добавлением графита как альтернативный антифрикционный материал.

Для определения механических свойств полученного материала было подготовлено оборудование и изготовлена специальная оснастка. Образец материала был подвергнут испытаниям на трение с различной нагрузкой и продолжительностью воздействия. Также был испытан капролоновый образец сравнения.

На основании полученных данных, можно сказать, что полученный материал ПСФ+10%С уступает капролону по износу и коэффициенту трения, а также коэффициенту относительной износостойкости. Исследуемый состав композита не может быть рекомендован для применения в дейдвудных подшипниках, однако полученная математическая модель износа может найти применения в других областях науки и техники.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.А. Поляков — поиск публикаций по теме статьи, проведение экспериментов, написание текста рукописи. С.Г. Чулкин — редактирование текста рукописи, экспертная оценка.
Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFO

Author contributions: N.A. Polyakov: investigation, writing—original draft; S.G. Chulkin: writing—review & editing.
Funding sources: The study was not supported by any external sources.
Disclosure of interests: The authors have no explicit or potential conflicts of interests associated with the publication of this article.
Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штейнберг Е.М., Зенитова Л.А. Полисульфон как функциональный полимерный материал и его производство // Международный научно-исследовательский журнал. 2012. № 6-1(6). С. 23–28. EDN: PMFHLT

2. Чердынцев В.В., Бойков А.А. Трибологические свойства полимерных нанокомпозитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и полисульфона // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 4(17). С. 13. EDN: RSHDGX

3. Шевчуков А.П., Сенатов Ф.С., Чердынцев В.В. Исследование трибологических свойств композиционных покрытий на основе полисульфона // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 125. EDN: PKWTML

4. Краснов А.П., Наумкин А.В., Горошков М.В. Антифрикционность и антифрикционные свойства термостойких термопластов. В кн.: Трибология — машиностроению: Труды XII Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН, Ижевск, 19–21 ноября 2018 г. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2018. С. 259–261. EDN: YQTXDV

5. Дьячкова Т.П., Редкозубова Е.П., Леус З.Г. и др. Влияние модификации функционализированными углеродными нанотрубками на свойства полисульфона // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-5. С. 1081–1086. EDN: QYSGYL

6. Мохаммад Х., Степашкин А.А. Механические и проводящие свойства графитонаполненных композитов на основе полисульфона. В кн.: XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. С. 386–392. EDN: CZZZTX

7. Браславский А.С., Березний В.В. Обобщение опыта технической эксплуатации дейдвудных устройств и тенденции их дальнейшего развития // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2004. Т. 7, № 3. С. 400–408. EDN: IIYDDN

8. Поляков Н.А., Чулкин С.Г. Подбор композита для 3d печати трибосопряжений для глайдеров // Научный аспект. 2024. Т. 6, № 5. С. 719–727. EDN: ZWAMAQ

9. Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Оценка износостойкости материалов на машине трения при снижении удельного давления на плоский образец // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 1. С. 78–83. DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-1-78-83 EDN: JKBBII

10. Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Современные способы испытаний материалов на износ // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 12. С. 886–894. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-886-894 EDN: JXZQWH

REFERENCES

1. Shtejnberg EM, Zenitova LA. Polysulfone as a functional polymer material and its production. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatelskij zhurnal*. 2012;6-1(6):23–28. (In Russ.) EDN: PMFHLT

2. Cherdyncev VV, Bojkov AA. Tribological properties of polymer nanocomposites based on ultrahigh molecular weight polyethylene and polysulfone. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2013;4(17):13. (In Russ.) EDN: RSHDGX

3. Shevchukov AP, Senatov FS, Cherdyncev VV. Investigation of tribological properties of composite coatings based on polysulfone. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012;5:125. (In Russ.) EDN: PKWTML

4. Krasnov AP, Naumkin AV, Goroshkov MV. Antifriction and antifriction properties of heat-resistant thermoplastics. In: *Tribology — Mechanical engineering: Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 80th anniversary of IMASH RAS, Izhevsk, November 19–21, 2018*. Izhevsk: Izhevsk Institute of Computer Research; 2018:259–261. (In Russ.) EDN: YQTXDV

5. Dyachkova TP, Redkozubova EP, Leus ZG, et al. The effect of modification by functionalized carbon nanotubes on the properties of polysulfone. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013;8-5:1081–1086. (In Russ.) EDN: QYSGYL

6. Moxammad X, Stepashkin AA. Mechanical and conductive properties of graphite-filled composites based on polysulfone. In: *XXVI Tupolev readings (school of young scientists) : Proceedings of the International Youth Scientific Conference. Collection of reports, Kazan] 09–10 11 2023*. Kazan: IP Sagiev AR; 2023:386–392. (In Russ.) EDN: CZZZTX

7. Braslavskij AS, Bereznij VV. Generalization of the experience of technical operation of stern tube devices and trends in their further development. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta*. 2004;7(3):400–408. (In Russ.) EDN: IIYDDN

8. Polyakov NA, Chulkin SG. Selection of a composite for 3d printing of tribo-conjugations for gliders. *Nauchnyj aspect*. 2024;6(5):719–727. (In Russ.) EDN: ZWAMAQ

9. Efremov LV, Tikalov AV. Evaluation of the wear resistance of materials on a friction machine with a decrease in the specific pressure on a flat sample. *Izvestiya vysshix uchebnyx zavedenij. Priborostroenie*. 2020;63(1):78–83. (In Russ.) DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-1-78-83 EDN: JKBBII

10. Efremov LV, Tikalov AV. Modern methods of testing materials for wear. *Izvestiya vysshix uchebnyx zavedenij. Priborostroenie*. 2022;65(12):886–894. (In Russ.) DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-886-894 EDN: JXZQWH

ОБ АВТОРАХ

***Никита Александрович Поляков,** аспирант,
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; адрес: 190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3; eLibrary SPIN: 9150-5890; e-mail: nik.polyackov2010@yandex.ru

Сергей Георгиевич Чулкин, д-р техн. наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; eLibrary SPIN: 9201-5361; e-mail: chulkin@smtu.ru

AUTHORS' INFO

***Nikita A. Polyakov,** postgraduate student,
Saint Petersburg State Marine Technical University;
address: 3 Lotsmanskaya st, Saint Petersburg, 190121, Russia;
eLibrary SPIN: 9150-5890; e-mail: nik.polyackov2010@yandex.ru

Sergey G. Chulkin, Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Saint Petersburg State Marine Technical University;
eLibrary SPIN: 9201-5361; e-mail: chulkin@smtu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author