

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА
«НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ»**



ФОРУМ ИННОВАЦИЙ И ПЕРЕДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**СБОРНИК СТАТЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
СОСТОЯВШЕЙСЯ 15 АВГУСТА 2025 Г. В Г. ПЕНЗА**

**ПЕНЗА
МЦНС «НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2025**

УДК 001.1
ББК 60
Ф80

Ответственный редактор:
Гуляев Герман Юрьевич, кандидат экономических наук

Ф80

ФОРУМ ИННОВАЦИЙ И ПЕРЕДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2025. – 276 с.

ISBN 978-5-00268-032-0

Настоящий сборник составлен по материалам Международной научно-практической конференции **«ФОРУМ ИННОВАЦИЙ И ПЕРЕДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**, состоявшейся 15 августа 2025 г. в г. Пенза. В сборнике научных трудов рассматриваются современные проблемы науки и практики применения результатов научных исследований.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законодательства об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

Полные тексты статей в открытом доступе размещены в Научной электронной библиотеке **Elibrary.ru** в соответствии с Договором №1096-04/2016К от 26.04.2016 г.

УДК 001.1
ББК 60

© МЦНС «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2025
© Коллектив авторов, 2025

ISBN 978-5-00268-032-0

Ответственный редактор:

Гуляев Герман Юрьевич – кандидат экономических наук

Состав редакционной коллегии и организационного комитета:

Агаркова Любовь Васильевна – доктор экономических наук, профессор
Ананченко Игорь Викторович – кандидат технических наук, доцент
Антипов Александр Геннадьевич – доктор филологических наук, профессор
Бабанова Юлия Владимировна – доктор экономических наук, доцент
Багамаев Багам Манапович – доктор ветеринарных наук, профессор
Баженова Ольга Прокопьевна – доктор биологических наук, профессор
Боярский Леонид Александрович – доктор физико-математических наук
Бузни Артемий Николаевич – доктор экономических наук, профессор
Буров Александр Эдуардович – доктор педагогических наук, доцент
Васильев Сергей Иванович – кандидат технических наук, профессор
Власова Анна Владимировна – доктор исторических наук, доцент
Гетманская Елена Валентиновна – доктор педагогических наук, профессор
Грицай Людмила Александровна – кандидат педагогических наук, доцент
Давлетшин Рашит Ахметович – доктор медицинских наук, профессор
Иванова Ирина Викторовна – кандидат психологических наук
Иглин Алексей Владимирович – кандидат юридических наук, доцент
Ильин Сергей Юрьевич – кандидат экономических наук, доцент
Искандарова Гульнара Рифовна – доктор филологических наук, доцент
Казданиян Сусанна Шалвовна – кандидат психологических наук, доцент
Качалова Людмила Павловна – доктор педагогических наук, профессор
Кожалиева Чинара Бакаевна – кандидат психологических наук

Колесников Геннадий Николаевич – доктор технических наук, профессор
Корнев Вячеслав Вячеславович – доктор философских наук, профессор
Кремнева Татьяна Леонидовна – доктор педагогических наук, профессор
Крылова Мария Николаевна – кандидат филологических наук, профессор
Кунц Елена Владимировна – доктор юридических наук, профессор
Курленя Михаил Владимирович – доктор технических наук, профессор
Малкоч Виталий Анатольевич – доктор искусствоведческих наук
Малова Ирина Викторовна – кандидат экономических наук, доцент
Месеняшина Людмила Александровна – доктор педагогических наук, профессор
Некрасов Станислав Николаевич – доктор философских наук, профессор
Непомнящий Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент
Орбец Владимир Александрович – доктор ветеринарных наук, профессор
Попова Ирина Витальевна – доктор экономических наук, доцент
Пырков Вячеслав Евгеньевич – кандидат педагогических наук, доцент
Рукавишников Виктор Степанович – доктор медицинских наук, профессор
Семенова Лидия Эдуардовна – доктор психологических наук, доцент
Удут Владимир Васильевич – доктор медицинских наук, профессор
Фионова Людмила Римовна – доктор технических наук, профессор
Чистов Владимир Владимирович – кандидат психологических наук, доцент
Швец Ирина Михайловна – доктор педагогических наук, профессор
Юрова Ксения Игоревна – кандидат исторических наук

УДК 620.171

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛАХ ТРЕНИЯ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ОВЧАРЕНКО НИКОЛАЙ ЮРЬЕВИЧ

АО «НПК Промышленные технологии»

Аннотация: Доклад посвящён последним исследованиям свойств и перспектив использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в качестве альтернативы традиционным антифрикционным сплавам (оловянным и свинцовым баббитам) в высоконагруженных узлах трения роторного оборудования. Рассмотрены ключевые физико-механические и трибологические свойства современных армированных ПКМ на основе ПЭЭК, ПТФЭ, углеродных волокон и графита, их преимуществ по прочности, твёрдости, износостойкости и термостабильности в сравнении с распространёнными марками баббитов. Дается обзор инновационных решений в узлах трения, анализируется экономическая целесообразность внедрения ПКМ с учётом жизненного цикла изделий и потенциального снижения эксплуатационных расходов. Отдельное внимание уделено организационным и технологическим барьерам внедрения инновационных технологий, включая необходимость унификации, стандартизации, развития испытательных баз и накопления практического опыта. Делается вывод о широких перспективах инновационного перехода в ближайшие годы к узлам трения на основе ПКМ и определены основные направления дальнейших исследований и внедрений.

Ключевые слова: Полимерные композиционные материалы, инновационные технологии, узлы трения, роторное оборудование, физико-механические свойства, баббиты, инженерные решения, экономическая эффективность, ресурс.

INNOVATIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN HIGH-LOAD FRICTION UNITS OF ROTARY EQUIPMENT

Ovcharenko Nikolay Yurievich

Abstract: The report is devoted to recent studies on the properties and prospects of using polymer composite materials (PCMs) as an alternative to traditional antifriction alloys (tin- and lead-based babbitts) in high-load friction units of rotary equipment. The key physical-mechanical and tribological properties of modern reinforced PCMs based on PEEK, PTFE, carbon fibers, and graphite are considered, along with their advantages in terms of strength, hardness, wear resistance, and thermal stability compared to common babbitt grades. The report provides an overview of innovative solutions for friction assemblies and analyses the economic feasibility of implementing PCMs considering the product life cycle and the potential reduction of operational costs. Particular attention is given to organizational and technological barriers to the adoption of innovative technologies, including the need for unification, standardization, the development of testing infrastructure, and the accumulation of practical experience. The report concludes with a forecast of the broad prospects for a technological shift toward PCM-based friction units in the coming years and outlines the main directions for further research and implementation.

Keywords: Polymer composite materials, innovative technologies, friction units, rotary equipment, physical-mechanical properties, babbitts, engineering solutions, economic efficiency, service life.

Современные материалы оказывают существенное влияние на трансформацию конструкторских парадигм в машиностроительной отрасли. Прогресс в области химического синтеза, развитие аддитивных технологий, а также внедрение цифровых инструментов прогнозирования свойств материалов создают качественно новые возможности для проектирования изделий различного назначения.

Наблюдается особо активное развитие полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые находят всё более широкое применение в высокотехнологичных секторах — таких как авиационная и космическая промышленность, биомедицина, транспортное машиностроение. Использование ПКМ позволяет достичь значительного снижения массы конструкций при сохранении или увеличении их прочностных характеристик, а также расширяет функциональные возможности проектируемых изделий за счёт целенаправленного формирования структуры материала на микро- и макроуровнях. (рис. 1).

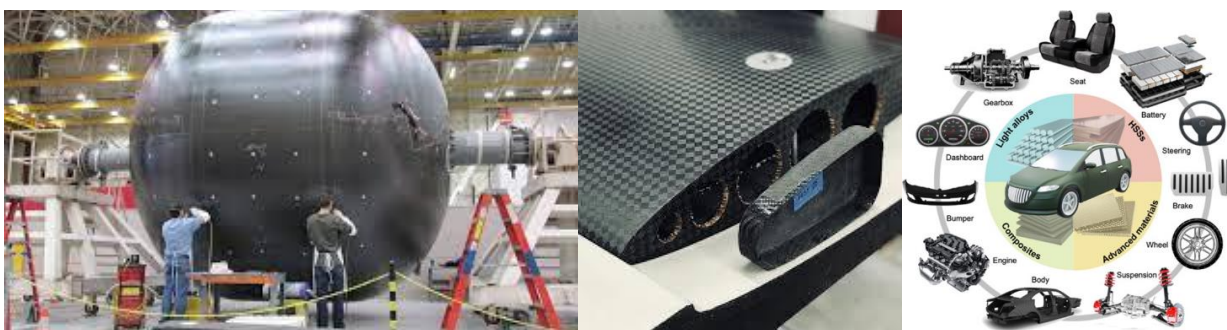


Рис. 1. Примеры внедрения ПКМ в высокотехнологических отраслях промышленности

По оценкам отраслевых аналитиков, мировой рынок ПКМ демонстрирует устойчивый рост, обусловленный как расширением спектра применения, так и удешевлением технологий производства. Так, согласно анализу Grand View Research, размер рынка продвинутых полимерных композитов вырастет до 14,7 млрд USD к 2030 году, при среднегодовом темпе роста около 4,7 % в период с 2025 по 2030 год. Данные Fortune Business Insights дают еще более оптимистичный прогноз, оценивая размер глобального композитного рынка в 82,9 млрд USD в 2023 году с его ростом на уровне 7,8 % до 162,7 млрд USD к 2032 году.

В российской промышленности также наблюдается положительная динамика: объём внутреннего потребления ПКМ растёт, а локализация производства увеличивается. Положительным примером, например, служит завод «Алабуга-Волокно» компании Umatex (Росатом), обеспечивающий значительную долю отечественного производства углеродного волокна и практически обеспечивающий импортозамещение с уровнем локализации производства 80 % до 90 % в течение пяти лет.

Не обходит стороной эта тенденция и сегмент машиностроения роторного оборудования. В частности, узлы трения, основная несущая динамическую нагрузку и изнашиваемая часть конструкции машин, сегодня становятся полем для активного внедрения ПКМ, обладающих антифрикционными свойствами. Новые разработки в области внедрения ПКМ в узлах трения, ещё недавно воспринимаемые как экспериментальные инициативы энтузиастов, сегодня превращаются в серьёзную альтернативу классическим антифрикционным металлам и сплавам. Такие материалы уже демонстрируют конкурентные показатели по износостойкости, термостабильности и эксплуатационной надёжности в условиях высоких нагрузок и температур [1-4].

Активное внедрение инновационных решений, основанных на использовании ПКМ, продиктовано не только инженерной необходимостью повышения эксплуатационных характеристик и ресурса высоконагруженных узлов трения, но и стратегическими задачами — достижением технологической независимости, снижением затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, при одновременном повышении его общей эффективности.

В этом контексте встаёт принципиально важный вопрос: способны ли ПКМ в полной мере заменить традиционные антифрикционные материалы — в частности, оловянные и свинцовые баббиты, которые на протяжении десятилетий остаются наиболее широко применяемыми подшипниковыми ма-

териалами в узлах трения? И смогут ли они обеспечить новые технологические возможности на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации таких узлов?

Ниже представлен краткий обзор свойств ПКМ и их взаимосвязи с экономическими и технологическими преимуществами, обеспечивающими инновационный потенциал создаваемых изделий. Обзор основан на современных достижениях науки, результатах собственных сравнительных исследований характеристик промышленных ПКМ и баббитовых сплавов, а также на опыте их промышленного внедрения в рамках проектов, реализованных в нашей компании.

1. Превосходство физико-механических и трибологических свойств.

Существует широкий инструментарий для придания ПКМ свойств, необходимых для применения в конструкциях различного назначения, путем добавления различных армирующих компонентов и добавок [5]. Для использования в подшипниках наиболее эффективно проявили себя распространенные ПКМ, такие как полиэфирэфиркетон (ПЭЭК, РЕЕК), политетрафторэтилен (ПТФЭ, PTFE), армированные углеродным волокном (УВ, CF), графитом и другими добавками, демонстрирующие значительно более высокие физико-механические характеристики по сравнению с традиционными баббитами. В частности, прочность CF/РЕЕК при сжатии варьируется от 215 до 320 МПа, а прочность на растяжение — от 129 до 216 МПа (рис. 2), в зависимости от процентного содержания и ориентации углеродных волокон [6–15].

Для сравнения, у баббита марки Б83 предел прочности при растяжении составляет 64–88 МПа, а при сжатии — 101–126 МПа [16–19]. При этом следует учитывать, что баббиты значительно теряют прочность при циклических нагрузках и повышении температуры: снижение прочностных характеристик при нагреве до 200 °С достигает 60–90% [18].

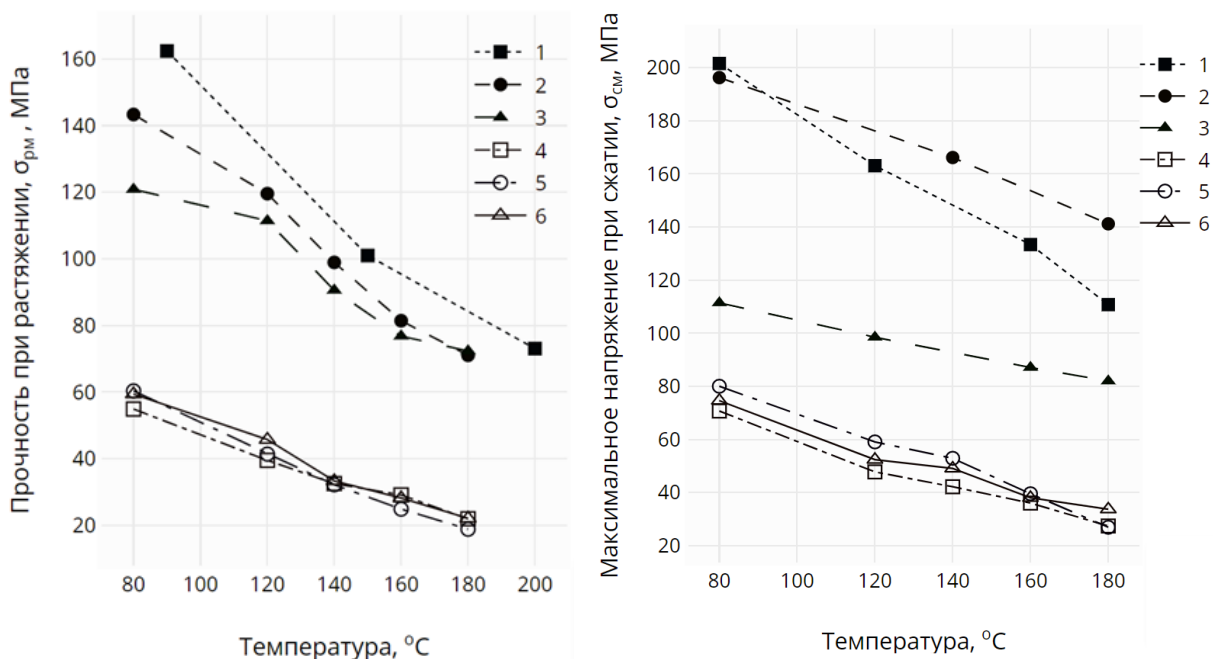


Рис. 2. Значения прочности ПКМ и баббитов при растяжении (слева) и сжатии (справа) при различных температурах. 1-3 – образцы промышленно-доступных ПКМ, 4 – 6 – марки баббитов TEGOSTAR 738, Б16, Б83 соответственно

ПКМ также существенно выигрывают по показателям твёрдости — в 1,5–3 раза выше, чем у баббитов, особенно при эксплуатации в условиях высоких температур (рис. 3). Это напрямую влияет на износостойкость и устойчивость к задиру при переменных нагрузках.

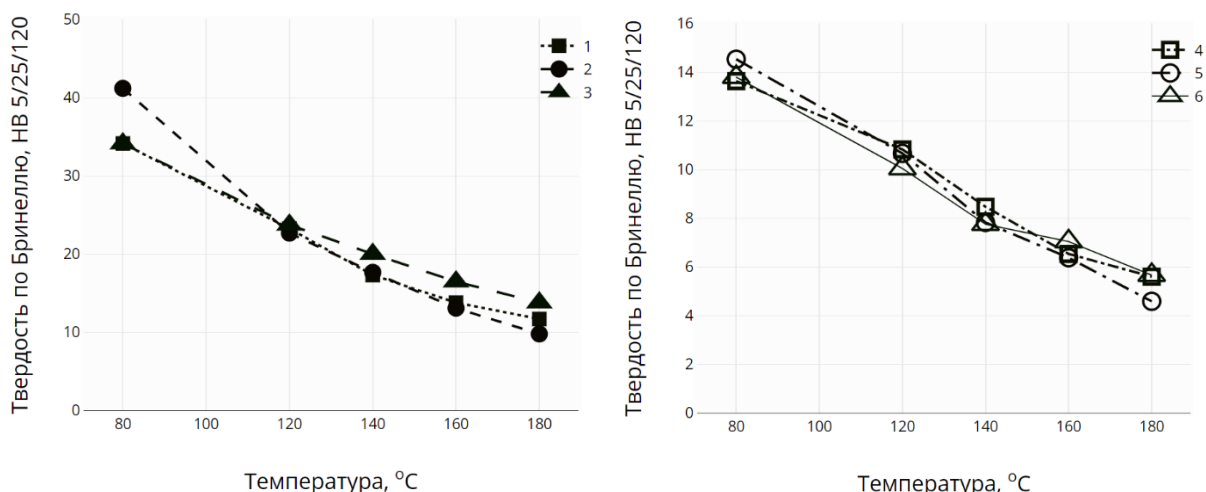


Рис. 3. Значения показателей твердости материалов, измеренных по методу Бринелля, для ПКМ (слева) и баббитов TEGOSTAR 738, Б16, Б83 (справа) при различных температурах

Трибологические исследования, напр. [20-21], показывают, что баббиты, близкие по составу к оловянным маркам Б83, TEGOSTAR 738, после выдержки от 2 до 48 часов при температуре 150 °С демонстрируют ухудшение трибологических свойств. В условиях сухого трения и при смазке (TU-32) коэффициент трения изменяется от 0,447 до 0,558 (со смазкой — от 0,12 до 0,077), а износ составляет от 99 до 139 мг/см²·км (со смазкой — от 8,1 до 9,4 мг/см²·км). Использованный в эксплуатации баббит продемонстрировал увеличение как коэффициента трения до 0,533, так и износа до 375 мг/см²·км, даже при наличии смазки. Ухудшение трибологических свойств баббитов связано с фазовыми изменениями их эвтектической структуры при циклическом нагреве и нагрузке [22]: происходит перераспределение твёрдых β- и η-фаз внутри мягкой α-матрицы, что приводит к локальным разрушениям, выкрашиванию и образованию вторичных изнашивающих частиц.

В противоположность этому, ПКМ демонстрируют низкие и стабильные коэффициенты трения в диапазоне 0,1–0,15, напр. [23–25], что обусловлено наличием в их составе углеродных компонентов с само-смазывающими свойствами, отсутствием адгезии к сопряжённым поверхностям и равномерным распределением нагрузки через армирующую фазу (рис. 4).

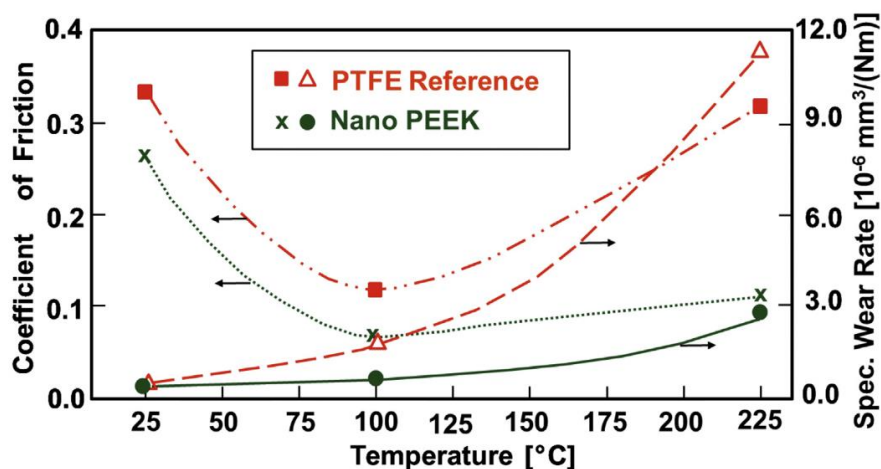


Рис. 4. Коэффициенты трения и износа антифрикционных ПКМ при различных температурах [24]

Кроме того, механизмы деградации и разрушения ПКМ и баббитов принципиально различны. Для баббитов характерны усталостная, термическая и химическая деградация, вызванная их структурной

чувствительностью к нагреву и циклическим нагрузкам. Армированные ПКМ, напротив, сохраняют структурную целостность и работоспособность благодаря высокой термостойкости полимерной матрицы и эффективной передаче напряжений через армирующие наполнители в более широком диапазоне нагрузок и температур.

2. Технологические преимущества.

Благодаря улучшенным физико-механическим свойствам и достижениям в технологии производства ПКМ открываются широкие инновационные возможности для внедрения новых конструктивных решений и технологических подходов в изготовлении и эксплуатации узлов трения. Вот некоторые из них:

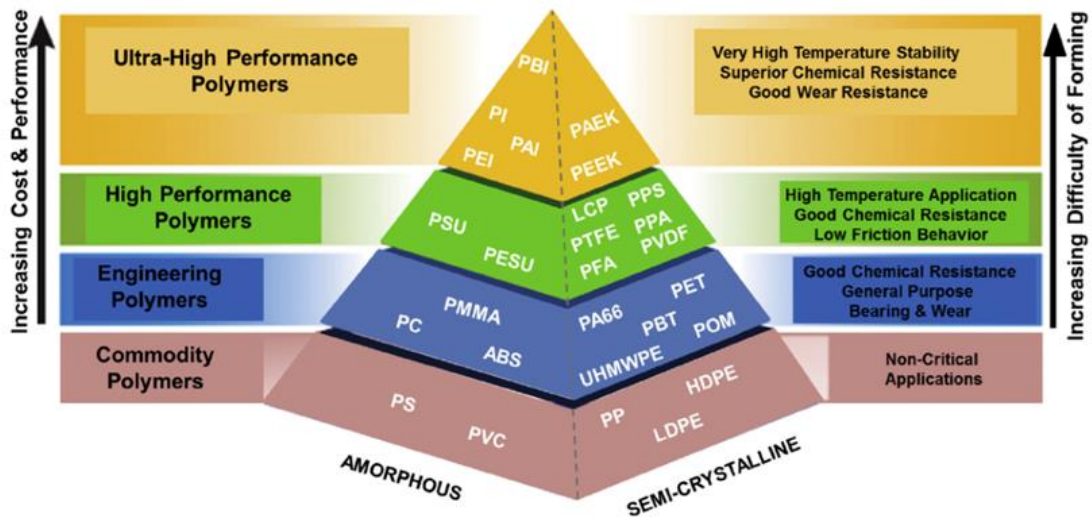


Рис. 5. Современные матрицы для ПКМ [24]

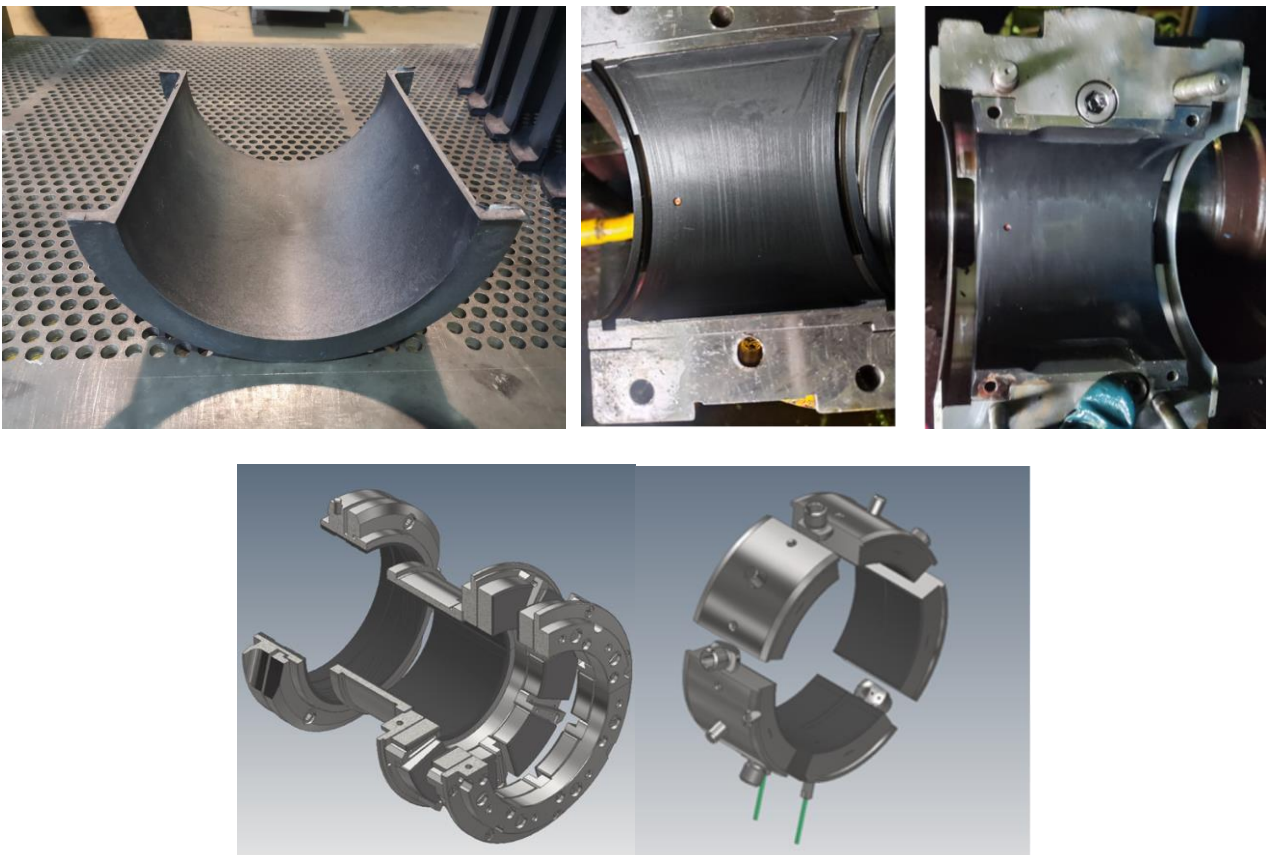


Рис. 6. Технические решения в конструкциях подшипников скольжения

(а) ПКМ обладают широким спектром настраиваемых свойств благодаря многообразию возможных комбинаций матриц и наполнителей (рис. 5). Это позволяет целенаправленно "программировать" свойства материала — от твёрдости и термостойкости до демпфирующих характеристик — под конкретные условия эксплуатации. Такая вариативность даёт конструкторам возможность перехода от компромиссных решений к оптимизированным под задачу материалам. [5,24].

(б) Унификация и упрощение производственных процессов, что ведёт к снижению себестоимости. Одни и те же технологии литья, прессования, 3D-печати и механической обработки могут применяться для изготовления различных узлов и деталей, что расширяет область применения и позволяет использовать общую производственную базу для разных отраслей и заказчиков.

(в) Унифицированные конструкторские решения при изготовлении изнашиваемых частей, позволяющие исключить процесс ремонта и осуществлять замену запасных частей без привлечения высококвалифицированных специалистов (рис. 6).

(г) Увеличение производительности оборудования за счёт более высоких прочностных и термостойких характеристик ПКМ (рис 7).

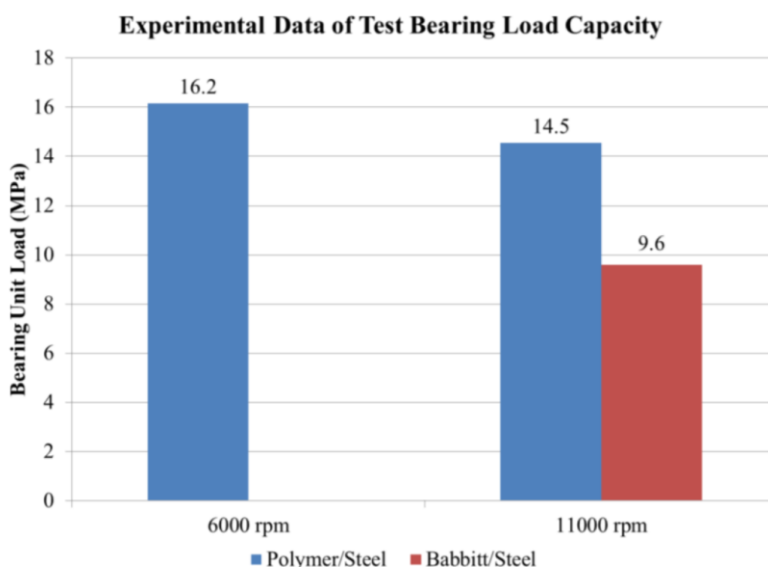
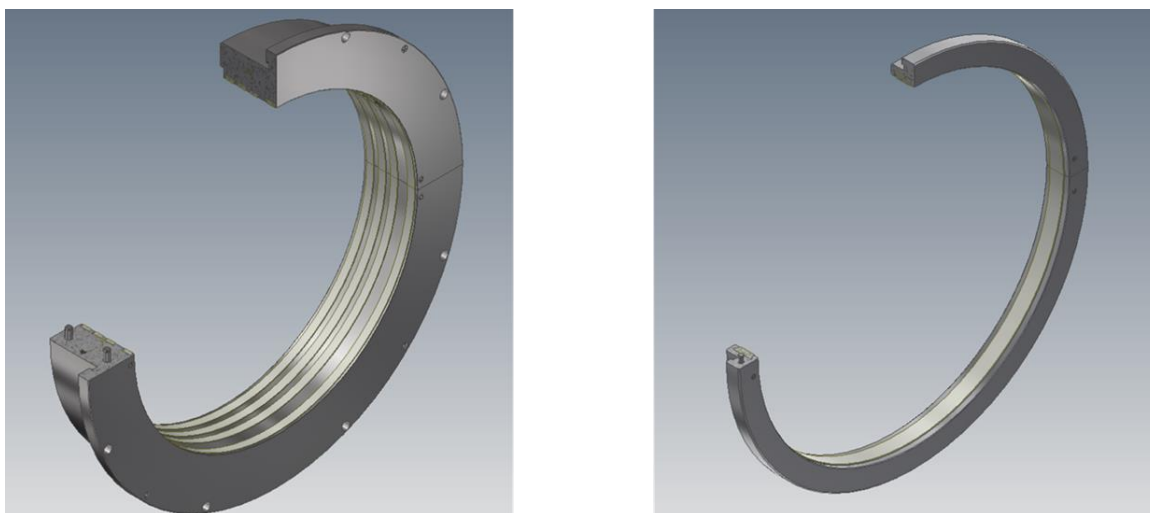
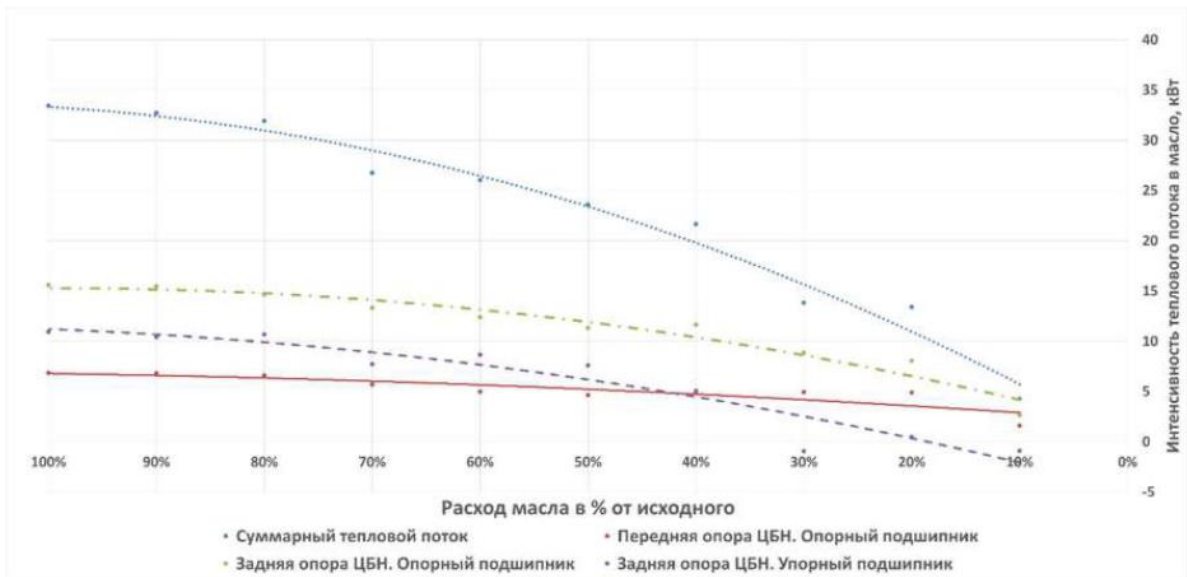


Figure 4. Load capacity at different speeds.

Рис. 7. Лабиринтные уплотнения НЦ-16М/МХИ (экв. Mitsubishi, Япония), позволяющие увеличить производительность нагнетателя с 900 до 1200 куб./ч. (вверху) и увеличение нагрузки на подшипник в стендовых испытаниях [26] (внизу)

(д) Как показано в [2, 26], использование ПКМ позволяет не только безопасно поднять предельные рабочие температуры оборудования без потери работоспособности подшипников, но и снизить тепловыделение от трения (рис. 8).



Experimental Data of Test Bearing Max. 50/60 Pad Temperature

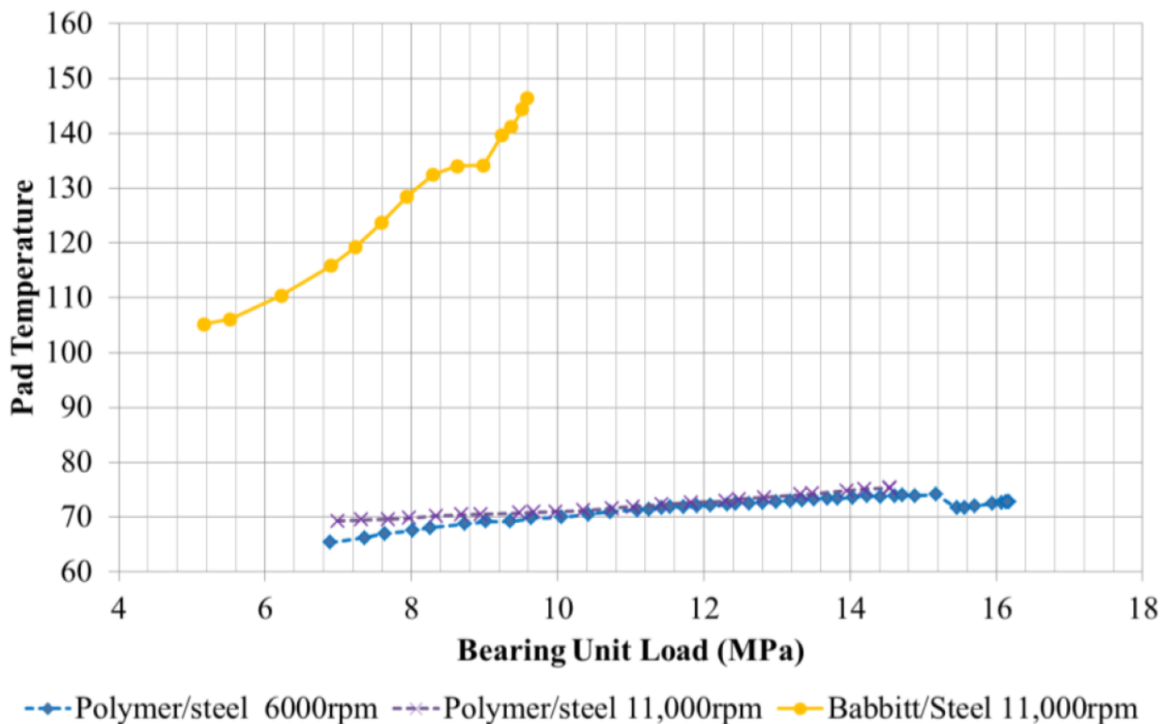


Рис. 8. Снижение тепловыделения в узлах трения НЦ-16/76-1,44 [2] (вверху) и стендовых испытаниях [26] (внизу) подшипников с использованием ПКМ

(е) Снижение коэффициента трения и тепловыделения в узлах трения напрямую влияет на повышение энергетической эффективности оборудования (КПД), снижение нагрузки на системы охлаждения и смазки, сокращение эксплуатационных расходов, включая электроэнергию, замену масла и расходных материалов (рис. 9).

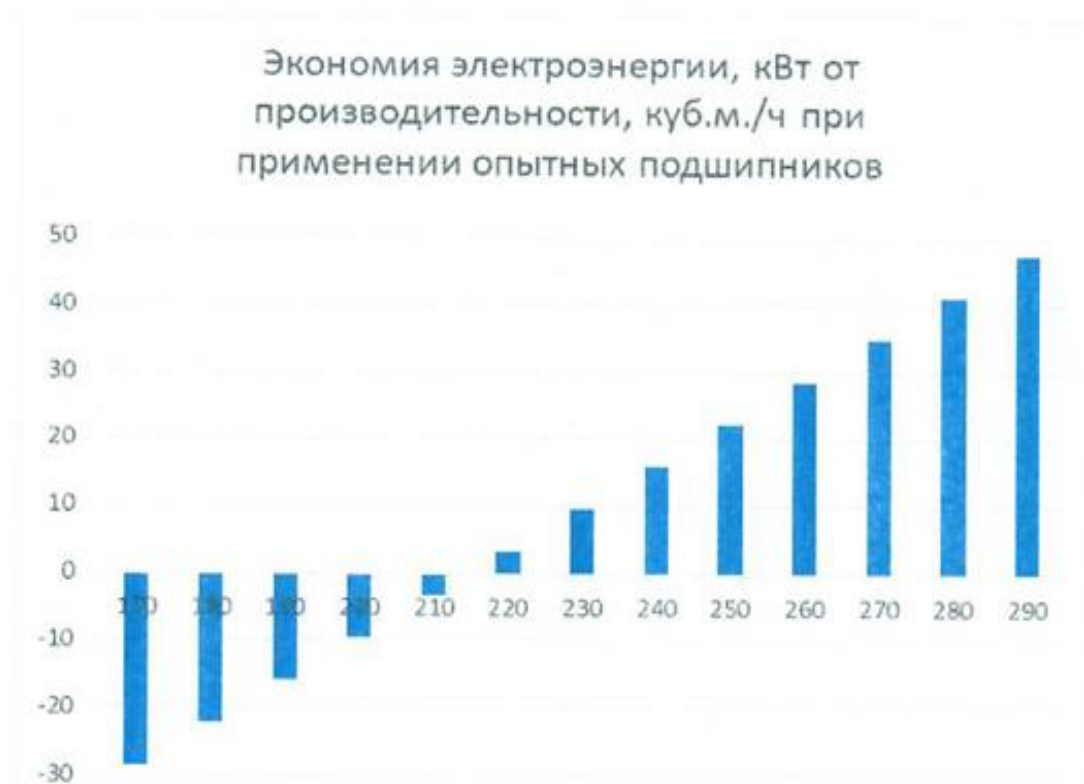
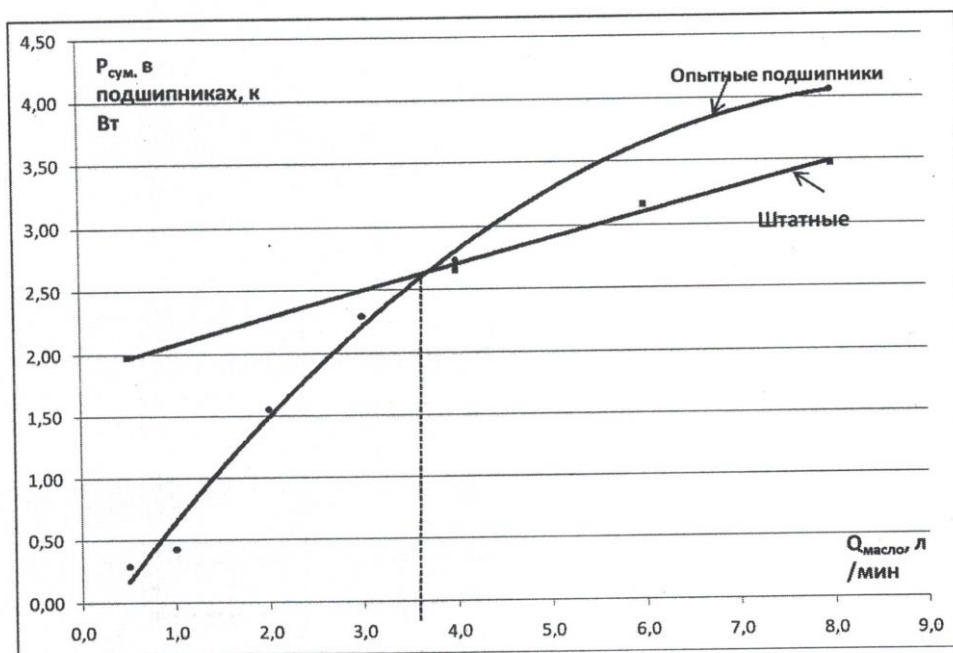


Рис. 9. Снижение тепловыделения в узлах трения стендового турбодвигателе электродвигателя СТДМ-1600-2РУХ4 (ООО «Электротяжмаш-привод») (вверху) и экономия электроэнергии на электронасосе ЦНС 180-1050, СТДМ-1600-2РУХЛ4 (ТПП «Лангепаснефтегаз», ПАО «Лукойл») (внизу)

(ж) Повышение КПД оборудования

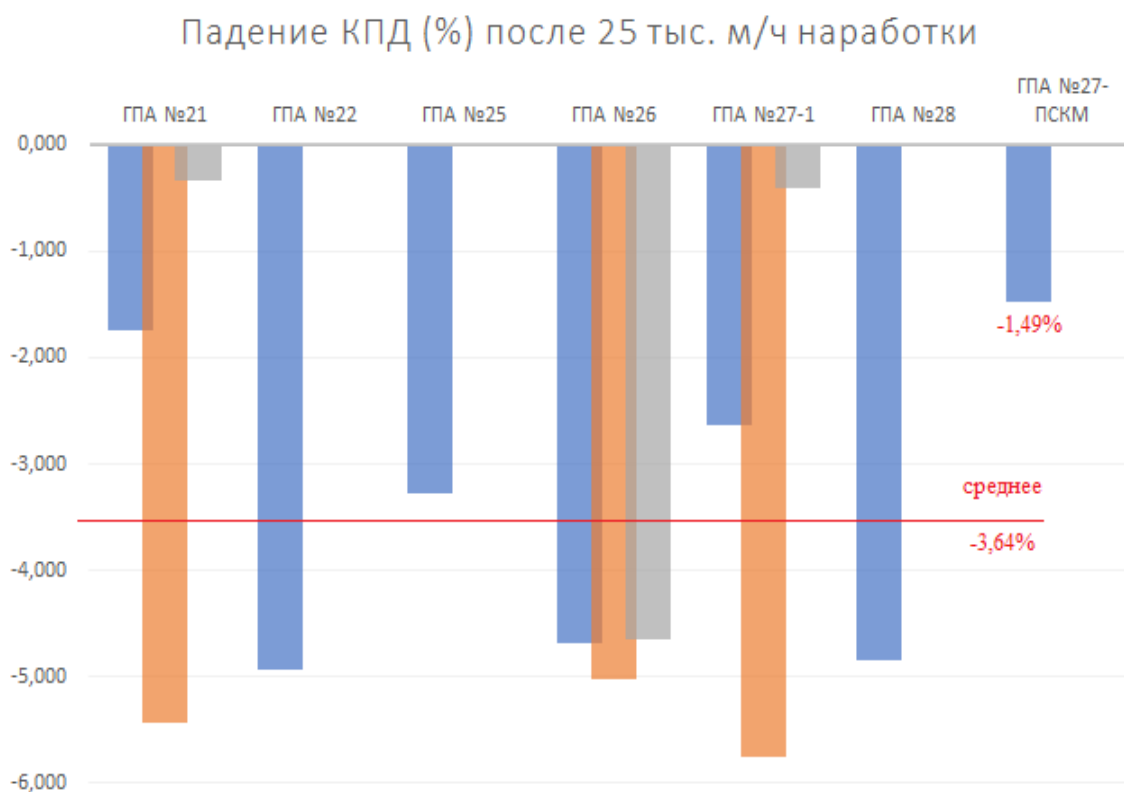


Рис. 10. Снижение КПД между ремонтами у ГПА ГТК-10М и центробежного компрессора Н-370-18-1 ст. № 27 компрессорной станции «Москово» (ООО «Газпром трансгаз Уфа»)

(и) Самосмазывающиеся и необслуживаемые узлы трения (рис. 11).



Рис. 11. Необслуживаемый подшипник с картерной системой смазки для электродвигателя СТДМ-5000-2РУХ4 (ООО «Электротяжмаш-привод»)

(к) Цифровая предиктивная диагностика на основе мониторинга положения ротора и анализа траектории с помощью алгоритмов ИИ (рис. 12).

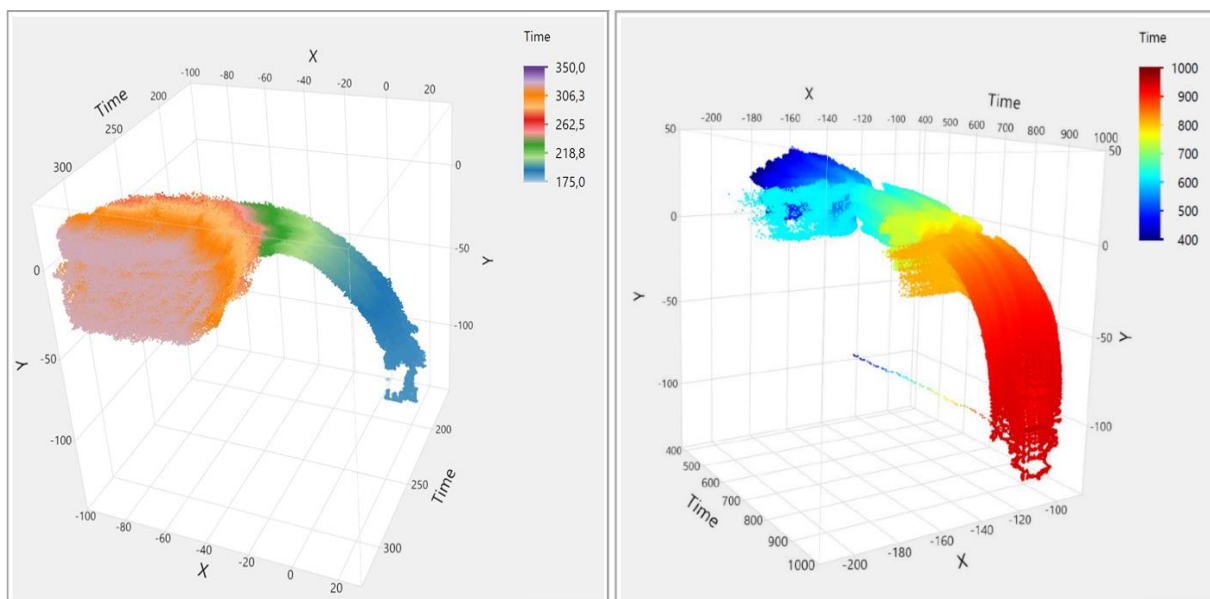


Рис. 12. Траектории движения ротора турбины низкого давления ГПА ГТК-10М (ООО «Газпром трансгаз Уфа») при старте (слева) и останове (справа)

3. Экономические преимущества

Комплекс внедряемых инноваций способствует повышению производительности оборудования, особенно в условиях непрерывных производственных циклов и критически важных технологических линий, обеспечивая тем самым значимые экономические преимущества. Среди важных ключевых факторов:

(а) Повышение безопасности, снижение частоты аварийных остановов и ремонтов. Отсутствие последствий аварий для шеек валов (рис. 13).

(б) Увеличение межремонтного интервала и общего жизненного цикла узлов. ПКМ более устойчивы к усталостному разрушению и температурной деградации, благодаря чему наблюдается существенное сокращение частоты простоев, плановых ремонтов и внештатных остановок оборудования, что напрямую отражается на снижении затрат на обслуживание и ремонт.

(в) С развитием цифровых технологий становится возможным переход от регламентного обслуживания к фактическому — за счёт применения ПКМ, адаптированных к работе с системами дистанционного мониторинга и предиктивной диагностики, в т.ч. с использованием ИИ. Такие технологии позволяют более точно отслеживать реальное состояние узла, прогнозировать износ и производить замену не по сроку, а по фактической потребности, что дополнительно оптимизирует расходы.



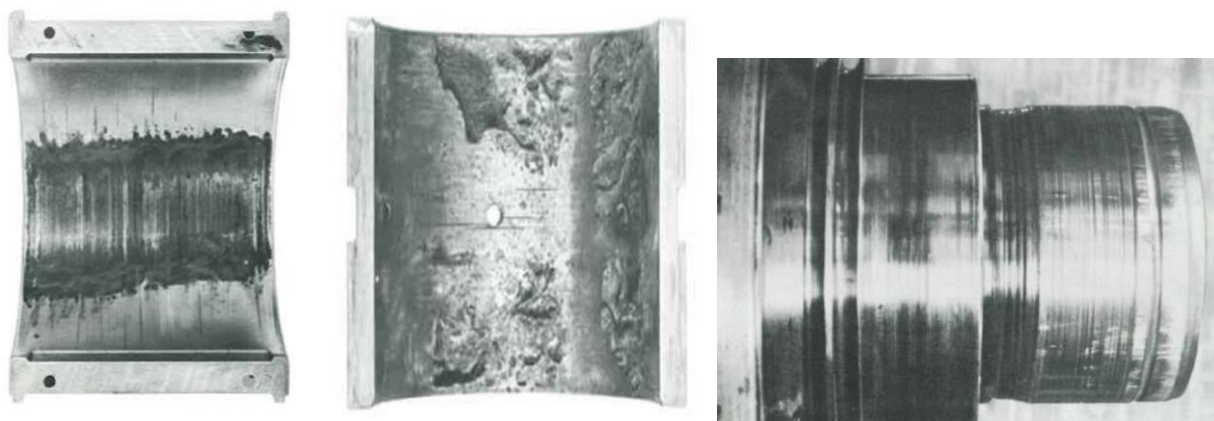


Рис. 13. Последствия масляного голодания подшипников из ПКМ и аварийного останова компрессора Аэроком АА-259/31А УХЛ4 и двигателя СТДМ-1600-2РУХЛ4 (вверху) и последствия аварийных остановов баббитовых подшипников (внизу)

Можно сделать вывод, что ПКМ не только превосходят традиционные баббиты по физико-механическим характеристикам, но и обеспечивают значительные экономические преимущества (пример - табл. 1, 2). Их применение способствует снижению издержек на всех этапах жизненного цикла оборудования — от производства до вывода из эксплуатации — и формирует прочную основу для перехода к более надёжным, цифровым и энергоэффективным технологиям машиностроения.

Таблица 1
Расчет экономического эффекта внедрения ПКМ в МОП локомотивов Свердловской ЖД

№	Наименование	Цена ед.	Текущие показатели в год	Цена ед.	Плановые показатели в год
1	Количеств ТО-2		64		32
2	Количество ТО-3		9		9
3	Доля ремонтов МОП в рамках ТР-2		45%		25%
4	Доля ремонтов МОП в рамках ТР-3		45%		25%
5	Доля ремонтов МОП во внеплановых ремонтах		10%		0
6	Простой в рамках ТО-2+ТО-3, руб.	46 руб/час	80 592	46 руб/час	45 264
7	Обслуживание МОП в рамках ТО-2, руб	500 руб/ед.	384 000	250 руб/ед	96 000
8	Обслуживание МОП в рамках ТО-3, руб	500 руб/ед	54 000	250 руб/ед	27 000
9	Стоимость ремонта МОП в рамках ТР-2 с учетом распределения 3	40 000 руб/ед	108 000	30 000 руб/ед	45 000
10	Стоимость ремонта МОП в рамках ТР-3 с учетом распределения 4	40 000 руб/ед	54 000	30 000 руб/ед	22 500
11	Стоимость ремонта МОП во внеплановом ремонте с учетом распределения 5	40 000 руб/ед	48 000		
12	Стоимость эксплуатационных затрат	100 руб/ед	87 600	50 руб/ед	24 600
	Итого		816 192		260 364
	Экономический эффект для одного локомотива за год				555 828
	Экономический эффект для подвижного состава	260 ед			144 515 280
	Затраты на выполнение программы				93 600 000

Таблица 2

Расчет экономического эффекта внедрения ПКМ в ГПА ГТК-10М ПАО «Газпром»

№ п/п	Показатели	Значение
1	Затраты на внедрение (модернизацию), тыс. руб.	59 013
2	Дисконтированные затраты, всего, тыс. руб.	7 343,84
3	Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	324 020
4	Индекс эффективности проведения и внедрения НИОКР, ед.	45,12
5	Год начала внедрения	2023
6	Период расчета, лет	10
7	Срок окупаемости, лет	2

4. Готовность инженерного сообщества к инновациям.

Как показывает практика, техническая новизна — лишь часть успеха. Важным фактором является восприятие новой технологии со стороны инженеров, разработчиков и служб эксплуатации. Это включает в себя как доверие к надежности и прогнозируемости ПКМ, так и наличие стандартов, методик расчета и накопленного практического опыта.

Несмотря на очевидные преимущества ПКМ, их широкое внедрение в машиностроительную практику всё ещё наталкивается на ряд барьеров, основными из которых являются инерционность инженерного мышления и недостаточная информированность специалистов о возможностях современных ПКМ. Во многих случаях, даже при наличии более эффективных и экономичных альтернатив, выбор подшипниковых материалов осуществляется нерационально — в пользу сплавов импортного производства неясного происхождения или так называемых «высокотемпературных» баббитов. Последние, по сути, представляют собой лишь незначительно модифицированные варианты традиционных сплавов, и, как показывают исследования, не обладают существенными преимуществами по сравнению с распространёнными отечественными марками.

Такой подход влечёт за собой высокие технические риски. Неверный выбор материала может привести к превышению допустимых рабочих температур и нагрузок, нарушению режима гидродинамической смазки, ухудшению условий работы в фазах пуска и выбега, особенно при граничном и сухом трении, и как следствие — к повышенной вероятности отказов и снижению ресурса подшипников и роторного оборудования в целом.

Что необходимо для преодоления существующих барьеров? Для перехода к системному использованию ПКМ требуется реализовать целый комплекс мер, включающих:

- Нарращивание практического опыта внедрения и эксплуатации композитных решений на промышленных объектах различного профиля — от энергетики до транспортного машиностроения.
- Разработку и внедрение стандартов:
 - по типовой линейке ПКМ,
 - по конструктивным решениям узлов трения,
 - по режимам эксплуатации и требованиям обслуживания оборудования.
- Развитие технологий, включая:
 - синтез новых полимерных матриц и модифицированных композиций,
 - производство многокомпонентных систем с адаптивной структурой,
 - упрочнение конструкций из разнородных материалов и связующих слоёв для устойчивой работы в условиях высоких термических и вибрационных нагрузок.
- Создание механизма испытаний и верификации, включающего:
 - лабораторные, стендовые и ресурсные испытания,
 - методы быстрой оценки характеристик материалов на ранних этапах проектирования,
 - систему сертификации ответственных компонентов, особенно для критичных отраслей (энергетика, авиация, медицина).

Заключение.

Полимерные композиционные материалы демонстрируют устойчивое превосходство по совокупности эксплуатационных характеристик, включая высокую износостойкость, низкий коэффициент трения, коррозионную стойкость и малую массу. Их применение в узлах трения не только экономически оправдано, но и технологически реализуемо с использованием современных производственных процессов.

На фоне стремительного развития технологий в области производства ПКМ, цифрового инжиниринга и аддитивного производства, можно уверенно утверждать, что в ближайшие 5–7 лет произойдёт качественный переход от традиционных решений к высокотехнологичным, интеллектуальным и ресурсоэффективным конструкциям подшипников на базе ПКМ. Эти инновационные материалы открывают возможности для создания узлов трения нового поколения — самоадаптирующихся, малозумных и рассчитанных на экстремальные условия эксплуатации. Особую значимость приобретает интеграция ПКМ в концепции «умных» машин и систем предиктивной диагностики, где материалы становятся не только элементами конструкции, но и активными участниками управления износом и надёжностью.

Ключевым вызовом остаётся формирование инженерной культуры практического применения новых материалов. Для массового внедрения ПКМ необходимо развитие нормативной базы, создание стандартов, формирование отраслевых кейсов успешного применения, а также комплексное испытание материалов в условиях реальной эксплуатации. Только сочетание технологических инноваций с системным подходом к внедрению обеспечит переход к следующему этапу эволюции узлов трения — высокоэффективным и интеллектуально управляемым системам на базе полимерных композиционных материалов.

Список источников

1. Овчаренко Н.Ю., Егорушков М.Ю., Романенков П.Г., Константинов А.Е. Термоустойчивые материалы в опорах стационарных газотурбинных установок. / Турбины и дизели. 2024 г. № 1 (112). С. 98-103.
2. Смирнов Е.А., Толстихин Ю.Ю., Шишов А.В. и др. Применение антифрикционных материалов в подшипниках скольжения центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов. / Газовая промышленность. 2023 г. № 4 (857). С. 74-81.
3. Овчаренко Н.Ю., Ладенко С.В., Егорушков М.Ю. Технический прогресс в разработке новых подшипниковых материалов узлов трения. / Турбины и дизели. 2023 г. № 4 (109). С. 16-18.
4. Бронников А.Н., Забелин Н.Н., Шарипов Ш.Г., Романенков П.Г. и др. Применение подшипников скольжения с полимерным антифрикционным покрытием на газоперекачивающем агрегате ГТК-10М. / Газовая промышленность. 2024 г. № 4 (864). С. 84-89.
5. Deshwal D., Belgamwar S.U., Bekinal S.I., Doddamani M. Critical Review of Reinforcement Effect in PEEK Tribology and Its Usage in Biomedical, Coating and Bearing Applications. / Polymer-Plastics Technology and Materials. 2025 г. №64:8. С. 1071-1100. DOI: 10.1080/25740881.2024.2449011
6. Hufenbach W., Gude M., Böhm R., Zschehyge M. Thermomechanical Behavior of Carbon Fiber Reinforced PEEK. / Composites Science and Technology. 2011. №71. С. 976–984. DOI: 10.1016/j.compscitech.2011.02.004.
7. Информационный портал «MakeItFrom.com: Таблица свойств 30% CF/PEEK» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/30-Percent-Carbon-Fiber-30-CF-PEEK/> (дата обращения: 01.07.2025 г.).
8. Shang Gao, Jialu Qu, Honggang Li and Renke Kang. Effect of Fiber Type and Content on Mechanical Property and Lapping Machinability of Fiber-Reinforced Polyetheretherketone. / Polymers. 2022. №14. С. 1079. <https://doi.org/10.3390/polym14061079>.
9. Mao J., Pan Y., Ding J. Tensile Mechanical Characteristics of CF/PEEK Biocomposites with Different Surface Modifications. / Micro & Nano Letters. 2019. №14(3). С.263–268. DOI: 10.1049/mnl.2018.5374

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ФОРУМ ИННОВАЦИЙ И ПЕРЕДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сборник статей

Международной научно-практической конференции

г. Пенза, 15 августа 2025 г.

Под общей редакцией

кандидата экономических наук Г.Ю. Гуляева

Подписано в печать 16.08.2025.

Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 17,3

МЦНС «Наука и Просвещение»

440062, г. Пенза, Проспект Строителей д. 88, оф. 10

www.naukaip.ru

