DOI: 10.17122/ntj-oil-2017-4-186-192

УДК 621.65.03+621.65.05

С.Г. Бажайкин (НТЦ ООО «НИИ Транснефть», г. Уфа, Российская Федерация),
В.С. Велижанин (ООО «Интех», г. Ижевск, Российская Федерация),
А.С. Михеев (НТЦ ООО «НИИ Транснефть», г. Уфа, Российская Федерация)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ТИПА ЦНС

S.G. Bazhaykin (Scientific and Technical Center, Transneft R&D, LLC, Ufa, Russian Federation), **V.S. Velizhanin** (Intekh LLC, Izhevsk, Russian Federation), **A.S. Mikheev** (Scientific and Technical Center, Transneft R&D, LLC, Ufa, Russian Federation)

COMPOSITE MATERIALS APPLICATION EXPERIENCE FOR IMPROVEMENT OF CENTRIFUGAL PUMPS

Введение

Применение композиционных материалов в насосостроении возможно при изготовлении подшипников, щелевых и торцевых уплотнений, дисков гидропаты и облегченных коррозионностойких рабочих колес. Применение всех этих элементов сегодня снижает надежность насосов типа ЦНС и требуют совершенствования.

Цели и задачи

Провести сравнительный анализ российских композиционных материалов и рассмотреть возможность их использования для совершенствования подшипниковых опор центробежных насосов.

Проанализировать возможность вместо баббитовых подшипников, охлаждаемых маслосистемой, применять встроенные подшипники, охлаждаемые перекачиваемой средой.

Результаты

Рассмотренные российские материалы: фенольный углепластик (ФУТ), оксафен - показали хорошую работоспособность в качестве подшипников скольжения.

Background

The use of composite materials in the pump industry is possible for bearings, slotted and face seals, hydraulic discs and lightweight corrosion-resistant impellers manufacturing. Today, usage of all these elements reduces the reliability of pumps and requires improvement.

Aims and Objectives

Conduct a comparative analysis of Russian composite materials and consider the possibility of using them to improve centrifugal pumps bearings.

Analyze the possibility to use integrated bearings cooled by the pumped medium instead of babbit bearings cooled by an oil system.

Results

The examined Russian materials: phenolic carbon fiber (PCF), oxaphen - showed good performance as sliding bearings.

At present, the area of their application is expanding both in the pumping industry and in other areas of industry.

В настоящее время область их применение расширяется как в насосостроении, так и в других областях промышленности.

Замена баббитовых подшипников на встроенные из композиционных материалов позволит полностью устранить утечки перекачиваемой среды, снизить затраты на эксплуатацию, снизить вибрацию и шум, уменьшить загазованность помещения, продлить межремонтный период.

Replacement of babbitt bearings for built-in ones made of composite materials will completely eliminate leaks of the pumped medium, reduce operating costs, reduce vibration and noise, reduce gas contamination of the room, and prolong the overhaul period.

Ключевые слова: встроенный подшипник, центробежный насос, композиционные материалы, фенольный углепластик, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, баббит, эффективность

Key words: built-in bearing, centrifugal pump, composite materials, phenolic carbon fiber, ultra-high molecular weight polyethylene, babbitt, efficiency

Применение композиционных материалов в насосостроении возможно при изготовлении подшипников, щелевых и торцевых уплотнений, дисков гидропаты и облегченных коррозионностойких рабочих колес. Все эти элементы сегодня снижают надежность насосов типа ЦНС и требуют совершенствования.

Впервые применение углепластика ФУТ в подшипниковом узле насосов типа ЦНС в базовых вариантах ЦНС 63, ЦНС 80 производства АО «Воткинский завод», разработчиком которых является ГУП «ИПТЭР», началось с 2011 г. Непосредственное участие во внедрении углепластика принимали ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» и Технический центр ОАО «ТД «Воткинский завод».

Для разработки подшипников, работающих в новых условиях, необходимо пройти следующие этапы - выбрать материал, разработать конструкцию подшипника, довести конструкцию и материал до эффективного промышленного применения в условиях эксплуатации.

Основными трудами, касающимися разработки подшипников для нефтяной отрасли, являются работы [1-6].

Подшипники с применением углепластика ФУТ работают по контртелам из стали, бронзы, сплавов металлов, керамики и других материалов со смазкой водой, нефтью, кислотами и другими средами при температуре от минус 196 °С до 140 °С.

Совместными усилиями ГУП «ИПТЭР» и ТД «Воткинский завод» было показано, что модификация ФУТ может работать при скоростях скольжения до 40 м/с.

Конструкция была доведена до промышленного применения. Благодаря исследованиям, проведенным во ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», по исследованию различных материалов для контртела применена бронза БрА9Мц2Л, которая позволила повысить триботехнические свойства пары трения по сравнению с применяемой втулкой из стали 12Х18Н10.

По данным ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» представлена зависимость изнашивания материала ФУТ от контактного давления и материала контртела (таблица 1).

Из анализа таблицы 1 следует, что при использовании любого материала подбор контртела имеет большое значение.

Таблица 1. Трение углепластика ФУТ в паре со сталями различной структуры, применяемыми в качестве контртела в центробежных насосах

Пара трения	Структура в соответствии с ГОСТ 5632-72	Контактное давление, МПа	Интенсивность изнашивания, $\times 10^7$, мкм/км	Твердость контртела, HRC
ФУТ - 07X16H4Б	мартенситная	1,0	0,9	32 - 34
		2,0	2,1	
ФУТ - 14X17H2 и 08X17H6Т	мартенситно-ферритная	1,0	3,9	28 - 30
		2,0	12,2	
ФУТ - 08X18H10Т	аустенитная	1,0	710	18 - 20
ФУТ - 20X13	мартенситная	1,0	1,1	33 - 35
		2,0	5,0	
ФУТ - 20X13 (упрочн.)	мартенситная	1,0	0,8	33-35
		2,0	4,0	

Рассмотрим результаты эксплуатации подшипников и твердосплавных соединений. На промыслах Татарстана испытывались насосы типа ЦНС 180 с карбидокремниевыми подшипниками производства ТД «Воткинский завод». Из восьми эксплуатирующихся насосов семь вышло из строя по причине разрушения роторных карбидокремниевых втулок при наработке от 1000 до 3500 ч.

Также подшипники из твердосплавных материалов в насосе ЦНС 180-1900-ЗТМ производства ОАО «Сумское НПО им. Фрунзе» вышли из строя с загибом вала по причине сваривания роторной и статорной твердосплавных втулок при наработке 1930 ч. Все подшипники были заменены на встроенные подшипники из материала ФУТ, который показал хорошую работоспособность.

Материал ФУТ показал явное преимущество перед материалами с повышенной коррозионно-эрозионной стойкостью, твердостью и износостойкостью за счет постепенного износа без критических разрушений основных узлов насоса, которые происходят при разрушении керамики, твердосплавных подшипников и невозможностью восстановления насоса на месте эксплуатации, что возможно при применении ФУТа.

По мнению авторов, применение подшипников из керамики и твердосплавных материалов целесообразно при перекачке жидкостей с твердыми абразивными включениями, обеспечивая при этом достаточное охлаждение подшипника.

На сегодняшний день применение углепластика ФУТ распространилось на насосы типа ЦНС с производительностью от 25 до 240 м³/ч и диапазоном напора от 700 до 2100 м. В подшипниковых узлах насосов ФУТ применяется с полевой, муфтовой сторон, а также после 2-й ступени в насосе ВЦНС 25 и работает на окружных скоростях от 12,5 м/с (при 6827 об/мин) до 38 м/с (при 12000 об/мин) в перекачиваемой среде (пресная, сточная, подтоварная вода, нефть).

Общее количество насосов с применением углепластиком ФУТ составляет более 200 единиц, и работают они в различных нефтяных компаниях, таких как ПАО «Татнефть», ООО «Лукойл-Пермь, ОАО «Удмуртнефть» и др.

С решением технических задач по переводу насосов с традиционными выносными баббитовыми подшипниками скольжения на встроенные подшипники ФУТ достигаются следующие положительные моменты:

- полностью устраняются утечки перекачиваемой среды с нагнетательной стороны насоса;
- значительно (до 4 раз) снижается вибрационная нагрузка на узлы насоса за счет сближения опор на роторе и демпфирующих свойств материала ФУТ;
- снижаются затраты на энергопотребление по сравнению с принудительной системой охлаждения маслом баббитовых подшипников;
- увеличен межремонтный период за счет разработки и внедрения несложной операции на месте эксплуатации по перевороту подшипника ФУТ на 180°, тем самым продлевая срок его службы.

Показатели углепластика ФУТ, такие как рабочая температура, интенсивность изнашивания, модуль упругости, коэффициент трения, агрессивная стойкость, по сравнению с другими материалами привели его к достойному применению во встроженных подшипниковых узлах насосов ЦНС.

В настоящее время в России появились новые материалы, не уступающие по своим свойствам фенольному углепластику.

Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН (г. Красноярск) предлагает другой интересный материал –сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ).

Данный полиэтилен в 7 раз превосходит фторопласт по стойкости к ударным воз-

действиям и имеет в 5 раз меньшую истираемость.

Обладая свойствами, не уступающими материалу ФУТ, СВМПЭ является дешевым и доступным материалом. Модифицирование СВМПЭ дает возможность получить материал с необходимыми свойствами.

Институт катализа СО РАН и ООО «Томскнефтехим» наладили производство порошка СВМПЭ. Метод горячего прессования позволяет создать изделия и заготовки сложной формы. Сведения о сверхвысокомолекулярном полиэтилене изложены в работах [7-10]. Характеристики материалов представлены в таблицах 2, 3.

Разработанные ООО «ОВИТЭК» (г. Мытищи) материалы карбонит и оксафен по своим антифрикционным свойствам, ресурсам и эксплуатационным нагрузкам превосходят по характеристикам изделия из бронзы, текстолита, фторопласта, различных полиамидов от 2 до 10 раз. Использование оксафена для подшипников приведено в таблице 4.

Вопрос «Насколько целесообразно использование рассматриваемых выше материалов?» необходимо решать отдельно для каждого конкретного случая. Это предполагает необходимость детального рассмотрения всех условий работы при подборе материала и механической конструкции для поиска наилучшего решения как с технической, так и с экономической точек зрения.

Таблица 2. Материалы, используемые в насосах ЦНС ООО «Интех»

№ п/п	Наименование материала	Место применения в насосе	Производитель
1	Углепластик ФУТ	Подшипники скольжения	ФГУП ЦНИИ «Прометей», г. Санкт-Петербург
2	Углепластик СТЭТ	Щелевые кольца	ФГУП ЦНИИ «Прометей», г. Санкт-Петербург
3	СВМПЭ «Поликерамопласт-базис»	Подшипники скольжения, щелевые кольца	ООО «НПО ГЕЛАР», г. Красноярск
4	Оксафен	Подшипники скольжения, щелевые кольца	ООО «ОВИТЭК», г. Мытищи

Таблица 3. Характеристики антифрикционных материалов для высокоскоростных подшипников скольжения

Свойства		Баббит	Бронза	Тордон XL	Оксафен	ФУТ	СВМПЭ (поликремопласт-базис)
		Б88	Бр. 010Ф1				
Прочность при растяжении, МПа		80	250	35	120-210	150	48
Температурный коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C} \cdot 10^6$		22	18	100	2,6-4,3	16	1,6
Объемное изменение размеров при работе в воде, %		0	0	1,3	1,0	0	0
Допустимая скорость скольжения, мм/с		100	30	15	25	40	40
Трение в воде по стали	Коэф. трения	0,005	до 0,180	0,03-0,1	0,07-0,1	0,03-0,1	0,03-0,1
	Интенсивность изнашивания, 10^9	-	-	30	0,02-0,03	0,5-1,0	0,5-1,0

Таблица 4. Список насосов производства ООО «Интех», в которых оксафен использовался для производства деталей

№ п/п	Номер насоса	Типоразмер насоса	Детали, изготовленные из оксафена
1	№ 12-16 г.	ЦНС 300-1050	Вкладыши полевого и муфтового подшипников
2	№ 20-16 г.	ЦНС 63 (100)-1440	Вкладыши полевого и муфтового подшипников
3	№ 24-16 г.	ЦНС 180 (300)-1100	Вкладыши полевого и муфтового подшипников, малые щелевые кольца
4	№ 25-16 г.	ЦНС 300-800	Вкладыши полевого и муфтового подшипников, малые щелевые кольца
5	№ 26-16 г.	ЦНС 300-1100	Вкладыши полевого и муфтового подшипников, малые щелевые кольца
6	№ 34-16 г.	ЦНС 300-1100	Вкладыши полевого и муфтового подшипников, малые щелевые кольца
7	№ 002-17 г.	ЦНС 180 (240)-1422	Вкладыши полевого и муфтового подшипников, малые щелевые кольца
8	№ 005-17 г.	ЦНС 180 (120)-1000	Вкладыши полевого и муфтового подшипников
9	№ 009-17 г.	ЦНС 80/120-1900	Малые щелевые кольца

Выводы

Проведенный литературный анализ и результаты экспериментов позволяют выбрать наиболее перспективные конструкционные материалы для совершенствования центробежных насосных агрегатов. К ним от-

носятся ФУТ, оксафен, СВНП, поликерамопласт, не уступающие зарубежным образцам.

Применение российских материалов позволит уйти от зарубежной зависимости в этом вопросе.

Список литературы

1. Горячева И.Г., Анисимов А.К., Бахарева В.Е. и др. Высокоскоростные подшипники скольжения из антифрикционных углепластиков, работающих при температурах до 200 °С, для насосов и паровых турбин // Проблемы импортозамещения: тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. «СиНТ 15». Воронеж, 2015. С. 67-80.
2. Анисимов А.В., Бахарева В.Е. и др. Антифрикционные углепластики для подшипников скольжения центробежных насосов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. Ч. 1. № 5. С. 34-46; Ч. 2. № 6. С. 22-27.
3. Велижанин В.С., Малышев И.В., Лобынцева И.В. Применение углепластика ФУТ в насосах типа ЦНС, предназначенных для систем ППД и нефтесбора // Вопросы материаловедения. 2009. № 1. С. 77-80.
4. Анисимов А.В., Бахарева В.Е., Карпинский Г.С., Лишевич И.В., Никитина И.В. Перспективы применения суперконструкционных термопластов для подшипников скольжения центробежных насосов // Насосы. Турбины. Системы. 2014. № 3. С. 3-14.
5. Велижанин В.С. Применение антифрикционного углепластика ФУТ в центробежных насосах производства ФГУП ГПО «Воткинский завод» // Вопросы материаловедения. 2002. № 3. С. 88-91.
6. Бажайкин С.Г., Дьячук А.И., Багманов А.А., Велижанин В.С. О проблемах модернизации оборудования и реконструкции промышленных систем на нефтедобывающих предприятиях // Энергоэффективные технологии: тез. докл. науч.-техн. конф. 21 мая 2003 г. Уфа, 2003. С. 71-74.
7. Селютин Е.Г., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенская Е.Н. и др. Композиционные материалы на основе сверхмолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18. С. 375-388.
8. Майер Э.А., Дудченко В.К., Поддубняк А.Н., Аркатов О.Л. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: новая реальность отечественной промышленности полиолефинов // Пластические массы. 2003. № 8. С. 3-4.
9. Охлопова А.Л., Гоголева О.В., Шиц Е.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и ультрадисперсных соединений // Трение и износ. 2004. № 2 (25). С. 202-206.
10. Корнопольцев В.Н., Могнонов Д.М., Фарихон И.А., Никитин В.Е., Захаров В.А. Применение

References

1. Goryacheva I.G., Anisimov A.K., Bakhareva V.E. e.a. Vysokoskorostnye podshipniki skol'zheniya iz antifriktsionnykh ugleplastikov, rabotayushchikh pri temperaturakh do 200 °S, dlya nasosov i parovykh turbin [Antifriction Carbon Plastic High-Speed Sliding Bearings Operating at Temperatures up to 200 °C for Pumps and Steam Turbines]. *Trudy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy importozameshcheniya» «SiNT 15»* [Scientific Works of the VIII International Scientific-Practical Conference «Problems of Import Substitution» «SiNT 15»]. Voronezh, 2015, pp. 67-80. (in Russ.).
2. Anisimov A.V., Bakhareva V.E. e.a. Antifriktsionnye ugleplastiki dlya podshipnikov skol'zheniya tsentrobezhnykh nasosov [Antifriction Carbon Plastics for Sliding Bearings of Centrifugal Pumps]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroyeniye - Chemical and Petroleum Engineering*, 2014, Ch. 1, No. 5, pp. 34-46; Ch. 2, No. 6, pp. 22-27. (in Russ.).
3. Velizhanin V.S., Malyshev I.V., Lobyntseva I.V. Primeneniye ugleplastika FUT v nasosakh tipa TsNS, prednaznachennykh dlya sistem PPD i neftesbora [Carbon Plastic FUT Using in CHC Pumps for Systems of Maintaining Plast Pressure and Oil Dumping]. *Voprosy materialovedeniya - Material Science Issues*, 2009, No. 1, pp. 77-80. (in Russ.).
4. Anisimov A.V., Bakhareva V.E., Karpinskii G.S., Lishevich I.V., Nikitina I.V. Perspektivy primeneniya superkonstruktsionnykh termoplastov dlya podshipnikov skol'zheniya tsentrobezhnykh nasosov [Prospects of Using Super Engineering Thermoplastics for Sliding Bearings of Centrifugal Pumps]. *Nasosy. Turbiny. Sistemy - Pumps. Turbines. Systems*, 2014, No. 3, pp. 3-14. (in Russ.).
5. Velizhanin V.S. Primeneniye antifriktsionnogo ugleplastika FUT v tsentrobezhnykh nasosakh proizvodstva FGUP GPO «Votkinskii zavod» [The Antifriction Carbon Plastic FUT Application in Centrifugal Pumps Produced by FGUP GPO Votkinsky Works]. *Voprosy materialovedeniya - Material Science Issues*, 2002, No. 3, pp. 88-91. (in Russ.).
6. Bazhaikin S.G., D'yachuk A.I., Bagmanov A.A., Velizhanin V.S. O problemakh modernizatsii oborudovaniya i rekonstruktsii promyslovyykh sistem na nefte dobyvayushchikh predpriyatiyakh [On Problems of Equipment Modernization and Fishing Systems Reconstruction in Oil Producing Enterprises]. *Tezisy Ddokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energoeffektivnost'. Problemy i*

СВМПЭ для подшипниковых материалов на стальной подложке // Трение и износ. 2009. Т. 30. № 1. С. 78-81.

resheniya» 21 maya 2003 g. [Thesis Reports of Scientific and Practical Conference «Power Efficiency. Problems and Solutions» May, 21, 2003]. Ufa, 2003, pp. 71-74. (in Russ.).

7. Selyutin E.G., Gavrilov Yu.Yu., Voskresenskaya E.N. e.a. Kompozitsionnye materialy na osnove sverkhmolekulyarnogo polietilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya [Composite Materials Based on Ultrahigh-Molecular Polyethylene: Properties, Outlooks for Use]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya - Chemistry for Sustainable Development*, 2010, T. 18, pp. 375-388. (in Russ.).

8. Maier E.A., Dudchenko V.K., Poddubnyak A.N., Arkatov O.L. Sverkhvysokomolekulyarnyi polietilen: novaya real'nost' otechestvennoi promyshlennosti poliolefinov [Ultrahigh-Molecular Polyethylene: the New Reality of the Domestic Polyolefin Industry]. *Plasticheskie massy - Plastics*, 2003, No. 8, pp. 3-4. (in Russ.).

9. Okhlopko A.L., Gogoleva O.V., Shits E.Yu. Polimernye kompozitsionnye materialy na osnove sverkhvysokomolekulyarnogo polietilena i ul'tradispersnykh soedinenii [Polymer Composites Based on Ultrahigh-Molecular Polyethylene and Ultrafine Compounds]. *Trenie i iznos - Friction and wear*, 2004, No. 2 (25), pp. 202-206. (in Russ.).

10. Kornopol'tsev V.N., Mogonov D.M., Farion I.A., Nikitin V.E., Zakharov V.A. Primenenie SVMPE dlya podshipnikovykh materialov na stal'noi podlozhe [Application of UHMWPE for Bearing Materials on a Steel Substrate]. *Trenie i iznos - Friction and wear*, 2009, T. 30, No. 1, pp. 78-81. (in Russ.).

Авторы

• Бажайкин Станислав Георгиевич, д-р техн. наук, профессор
Научно-технический центр
ООО «НИИ Транснефть»
Заведующий лабораторией технологических норм и насосного оборудования
Российская Федерация, 450055, г. Уфа, пр. Октября, 144/3
e-mail: BazhaykinSG@niitnn.transneft.ru

• Велижанин Валерий Сергеевич, канд. техн. наук
ООО «Интех»
Научный руководитель
Российская Федерация, 426000, г. Ижевск, ул. Пушкинская, 150а
e-mail: ooo-inteh@bkt.ru

• Михеев Андрей Сергеевич
Научно-технический центр
ООО «НИИ Транснефть»
Научный сотрудник Сектора мониторинга насосного оборудования
Российская Федерация, 450055, г. Уфа, пр. Октября, 144/3
e-mail: MiheevAS@niitnn.transneft.ru

The Authors

• Bazhaykin Stanislav G., Doctor of Technical Sciences, Professor
Scientific and Technical Center, Transneft R&D, LLC
Chief of Engineering Standards and Pumping Equipment Research Laboratory
144/3, October ave., Ufa, 450055, Russian Federation
e-mail: BazhaykinSG@niitnn.transneft.ru

• Velizhanin Valery S., Candidate of Technical Sciences
Intekh LLC
Scientific Director
150a, Pushkinskaya str., Izhevsk, 426000, Russian Federation
e-mail: ooo-inteh@bkt.ru

• Mikheev Andrey S.
Scientific and Technical Center, Transneft R&D, LLC
Researcher of Pumping Equipment Monitoring Sector
144/3, October ave., Ufa, 450055, Russian Federation
e-mail: MiheevAS@niitnn.transneft.ru