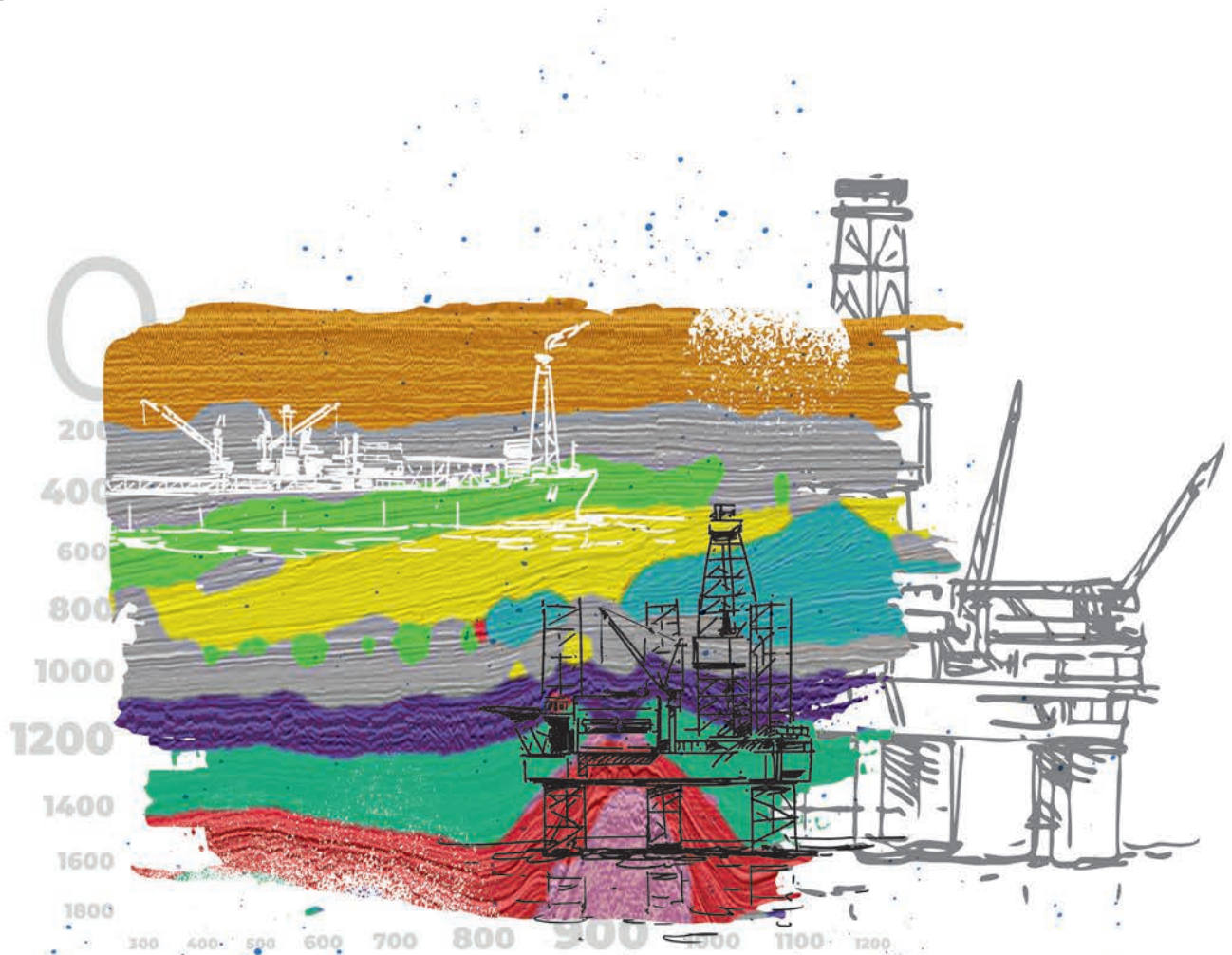


ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 4

864 | 2024

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ, ИЗДАЕТСЯ С 1956 г.,
ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ВАК



АРКТИКА: ГРАДУС РАЗВИТИЯ. КАКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НУЖНЫ ГАЗОВИКАМ И НЕФТЯНИКАМ ДЛЯ ПОКОРЕНИЯ «КОСМОСА НА ЗЕМЛЕ» И ГДЕ БРАТЬ ДЛЯ ЭТОГО КАДРЫ?

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБОКИХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ПЕРЕНОСА ОБУЧЕНИЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУППЫ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ



Уважаемые читатели!

Компания «Газпром» последовательно развивает газовую промышленность России. В фокусе внимания находится реализация Восточной системы газоснабжения, которая в дальнейшем будет объединена с инфраструктурой, расположенной на западе нашей страны.

В настоящее время «Газпром» ведутся работы в рамках первого этапа данного проекта, который предусматривает соединение действующих магистральных газопроводов «Сила Сибири» и Сахалин – Хабаровск – Владивосток. С этой целью начато строительство участка Белогорск – Хабаровск протяженностью более 800 км. Параллельно ведутся проектно-изыскательские работы и по другим участкам. В результате будут обеспечены дополнительная надежность и гибкость поставок газа российским потребителям, а также откроются новые возможности для газификации регионов Сибири и Дальнего Востока.

Синхронно с развитием современной газотранспортной системы компания обустроивает новые центры газодобычи, создает перерабатывающие мощности, занимается разработкой новых технологий для обеспечения деятельности в непростых геолого-климатических условиях и реализации высокотехнологичных проектов. Масштабный производственный комплекс «Газпрома» на востоке России уверенно развивается в интересах отечественной газовой отрасли и всей нашей страны.

Подробнее о передовом опыте и лучших практиках, позволяющих создавать надежную инфраструктуру и обеспечивать промышленность и жителей Российской Федерации экологичным и стабильным источником энергии, рассказываем на страницах научно-технического журнала «Газовая промышленность».

Так, в апрельском выпуске представлено сразу несколько работ, посвященных внедрению технологий искусственного интеллекта в целях совершенствования производственных процессов. В частности, авторы этого номера предлагают применять машинное обучение для решения актуальных задач диагностики и прогнозирования неисправностей газотурбинных установок. В статье приводятся данные о высокой точности определения технического состояния оборудования. В другой научной работе рассматривается применение одного из методов глубокого обучения для выполнения сейсмофациального анализа, востребованного при комплексной геологической интерпретации сейсмических данных. Внедрение передовых технологий, в том числе цифровых, обеспечивает компании устойчивость и дальнейший рост. Для потребителей это гарантия высокой надежности поставок энергоресурсов в любых, даже самых сложных рыночных условиях.

Большое значение в настоящее время имеет развитие так называемых арктических технологий. Именно с этим суровым регионом на долгосрочную перспективу связано развитие нефтегазовой промышленности и экономики Российской Федерации в целом. При этом по своей сложности освоение Арктики сопоставимо с покорением космоса. И «Газпром» обладает уникальными компетенциями реализации проектов, простирающимися как за пределы земной атмосферы, так и за полярный круг. О перспективах развития Арктики и арктических технологий – в интервью с экспертом и научных статьях на страницах «Газовой промышленности». Приглашаю к прочтению!

*Заместитель Председателя Правления –
начальник Департамента ПАО «Газпром»,
главный редактор журнала «Газовая промышленность»
В.А. Маркелов*



ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С ПОЛИМЕРНЫМ АНТИФРИКЦИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ НА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕМ АГРЕГАТЕ ГТК-10М

УДК 62-186::621.438::622.691.4

А.Н. Бронников, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, Россия),

A.N.Bronnikov@adm.gazprom.ru

Н.Н. Забелин, ПАО «Газпром», N.Zabelin@adm.gazprom.ru

Ш.Г. Шарипов, ООО «Газпром трансгаз Уфа» (Уфа, Россия),

ShSharipov@ufa-tr.gazprom.ru

П.Г. Романенков, ООО «Газпром трансгаз Уфа»,

PRomanenkov@ufa-tr.gazprom.ru

А.Е. Константинов, ООО «Газпром трансгаз Уфа»,

AKonstantinov@ufa-tr.gazprom.ru

Х.Т. Галяутдинов, Инженерно-технический центр – филиал

ООО «Газпром трансгаз Уфа» (Уфа, Россия),

ITC-HGalyautdinov@ufa-tr.gazprom.ru

Выбор материалов подшипников, зависящий от ряда факторов (нагрузки, скорости, рабочей температуры, типа и чистоты смазки), играет важную роль в их производительности. Современные антифрикционные покрытия из специализированных высокомолекулярных полимеров обеспечивают высокие трибологические характеристики подшипников за счет низкого коэффициента трения. Использование полимерных соединений позволяет также получать более технологически надежные конструкции пар трения. Обладая перечисленными свойствами, полимерные покрытия могут служить прямой заменой баббитовых и использоваться в подшипниках скольжения.

В статье рассматриваются результаты поэтапных испытаний и опытно-промышленной эксплуатации подшипников скольжения с полимерным антифрикционным покрытием К30ПТ на газоперекачивающем агрегате ГТК-10М и центробежном компрессоре Н-370-18-1 ст. №27 компрессорной станции «Москово» ООО «Газпром трансгаз Уфа». Главной задачей этих работ была оценка целесообразности применения вкладышей, отремонтированных методом наплавки антифрикционного сплава К30ПТ, а также проверка возможности применения подшипников АО НПК «Промышленные технологии» в составе газоперекачивающего агрегата ГТК-10М. Испытания выполнялись в два этапа: первый – предварительные, длительностью 72 ч, второй – приемочные, длительностью 3 тыс. ч. По их результатам для подтверждения энергоэффективности применения подшипников проводилась опытно-промышленная эксплуатация продолжительностью 6 тыс. ч. По завершении этих работ были подтверждены положительные технические результаты использования подшипниковых узлов с применением антифрикционного материала К30ПТ. Для дальнейшего изучения заявленных характеристик предложено внести корректировки в методологию проведения испытаний и продолжать опытно-промышленную эксплуатацию до наработки 12 тыс. ч.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ, ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ, БАББИТ, ИСПЫТАНИЕ, ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ.

Традиционно используемые в подшипниках скольжения покрытия, например баббиты Б16 и Б83 (ГОСТ 1320-74 [1]), характеризуются рядом недо-

статков при масляном голода-нии (в том числе по сравнению с полимерными материалами [2]). К основным из них относятся (табл.):

– изменения свойств поверхности трения (задиры, износы, изменения физических свойств и т.п.), происходящие на глубине до 1мм. При этом во время ремонт-



A.N. Bronnikov, PJSC Gazprom (Saint Petersburg, Russia), A.N.Bronnikov@adm.gazprom.ru

N.N. Zabelin, PJSC Gazprom, N.Zabelin@adm.gazprom.ru

Sh.G. Sharipov, Gazprom transgaz Ufa LLC (Ufa, Russia), ShSharipov@ufa-tr.gazprom.ru

P.G. Romanenkov, Gazprom transgaz Ufa LLC, PRomanenkov@ufa-tr.gazprom.ru

A.E. Konstantinov, Gazprom transgaz Ufa LLC, AKonstantinov@ufa-tr.gazprom.ru

Kh.T. Galyautdinov, Engineering and Technical Center – branch of Gazprom transgaz Ufa LLC (Ufa, Russia), ITC-HGalyautdinov@ufa-tr.gazprom.ru

Application of plain bearings coated with anti-friction polymer in GTK-10M gas compressor unit

Selection of materials for bearings depends on a variety of factors (load, speed, operating temperature, lubricant type and purity grade) and plays an important role in bearing performance. State-of-the-art anti-friction materials produced from special high-molecular polymers ensure high tribological performance of bearings due to low coefficient of friction. Application of polymeric compounds provides for the more reliable design of friction couples. Possessing the mentioned properties, polymer components can be a direct substitute for babbitt parts and can be used in plain bearings.

The article discusses the results of various testing stages and pilot operation of plain bearings with K30PT anti-friction coating in GTK-10M gas compressor unit and N-370-18-1 centrifugal compressor at Moskovo compressor station operated by Gazprom transgaz Ufa LLC. The main goal of these activities was to assess, whether application of inserts previously repaired by welding an overlay made of K30PT anti-friction alloy would be feasible, and to check if bearings manufactured by AO Scientific and Production Company “Industrial Technologies” (joint stock company) could be used in GTK-10M gas compressor unit.

The tests were carried out in two stages; the first stage consisting of preliminary tests which lasted for 72 h, and the second stage – of acceptance tests which took 3 thousand h. These were followed by pilot operation for 6 thousand h to confirm the energy efficiency of the bearings application. These activities confirmed the positive technical outcomes delivered through the use of bearing assemblies with K30PT anti-friction materials. To facilitate the further study of the stated properties, the authors proposed to adjust the testing method and extend pilot operation to 12 thousand h.

KEYWORDS: PLAIN BEARING, POLYMER COATING, BABBITT, TEST, PILOT OPERATION, GAS COMPRESSOR UNIT.

ных работ необходимо производить полный демонтаж подшипников, удаление всего баббита и новую наплавку с проточкой под финишные размеры при износе всего 2 % от всей массы антифрикционного материала;

– устойчивость баббита к сторонним включениям и низкая сопротивляемость при их наличии на рабочей поверхности, что приводит к повышенному износу поверхности цапфы и шеек вала, а в случае перегрева – к аварийному повреждению и необходимости проведения дорогостоящего ремонта.

В связи с этим в настоящее время в машиностроении, газовой, нефтехимической и других отраслях промышленности при изготовлении подшипников скольжения активно внедряются полимерные антифрикционные материалы. Они имеют хорошие показатели при литье и механической обработке изделий, обеспечивают более низ-

кую стоимость ремонта и в связи с этим нашли широкое применение при изготовлении сложных деталей. Изначально используемые в качестве эффективной замены металлических накладок, антифрикционные покрытия сейчас обеспечивают высокую несущую способность и надежность роторного оборудования. Известно, что полимеры характеризуются большими значениями пластичности и прочности при сжатии и изгибе при высоких температурах, чем баббит [3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Внедрение инновационных технологий при эксплуатации газоперекачивающих агрегатов (ГПА) – одна из приоритетных задач ООО «Газпром трансгаз Уфа», поэтому в соответствии с указанием Департамента ПАО «Газпром» (В.А. Михаленко) в декабре 2021 г. было принято решение организо-

вать работу в целях определения возможности применения подшипниковых узлов с полимерным покрытием на ГПА типа GTK-10M с нагнетателем Н-370-18-1 [4]. Для этого были разработаны и согласованы в указанном Департаменте техническое задание на изготовление подшипниковых узлов скольжения, программа и методика испытаний комплекта опорных/упорных подшипников с полимерным покрытием К30ПТ (см. табл.). В соответствии с данными документами на ГПА типа GTK-10M ст. №27 компрессорной станции №18 «Москово» ООО «Газпром трансгаз Уфа» была проведена модернизация комплекта опорных и упорных колодок; опорных, опорно-упорных подшипников турбин высокого (ТВД) и низкого (ТНД) давления, а также центробежного компрессора (ЦБК) с использованием антифрикционного полимерного материала (четыре подшипника турбоблока и два – ЦБК).

Сравнение основных характеристик материала К30РТ (ТУ 22.29.29-003-49348341–2020 [2]) и баббита Б83 (ГОСТ 1320–74 [1])
Main characteristics of К30РТ (TU 22.29.29-003-49348341–2020 [2]) and B83 babbitt (GOST 1320–74 [1])

Характеристика Characteristic	Баббит Б83 B83 babbitt	К30РТ К30РТ
Коррозия и воздействие агрессивных сред Corrosion and aggressive media effect	Подвержен Confirmed	Нет No
Усталость Fatigue	Сильно подвержен Very susceptible	Нет No
Потеря смазки Loss of grease	Критична Critical	Нет No
Задиры шейки ротора Burr on rotor journal	Наблюдаются Observed	Нет No
Следствия перегрева Overheating effects	Коксование, коррозия, выплавка Coking, corrosion, melting	Нет. Выдерживает кратковременные перегревы до 300 °С No. Withstands short-term overheating to 300 °C
Рабочая температура (max), °С Operating temperature (max), °C	70	250
Температура плавления, °С Melting temperature, °C	240	370
Удельное рабочее давление, МПа Specific operating pressure, MPa	10–15	20–30
Предел текучести, МПа Yield strength, MPa	80–85	370
Коэффициенты трения покоя Static friction factors	0,6–0,8	0,09
Коэффициенты трения скольжения при страгивании Sliding friction factors at breakaway	0,14/0,09	0,04/0,02
Предел прочности при сжатии, МПа Compressive strength, MPa	110	230
Предел прочности при изгибе, МПа Bending strength, MPa	140	290
Плотность, кг/см ³ Density, kg/cm ³	7,38	1,44
Температура изгиба под нагрузкой 1,8 МПа, °С Temperature of bending at 1.8 MPa load, °C	240	343

Эксплуатационные испытания в течение 3 тыс. ч

На первом этапе проводились длительные эксплуатационные испытания комплекта опорных/упорных вкладышей в течение 3 тыс. ч, предусматривавшие в числе прочего ступенчатое снижение давления масла в линии подачи смазки за регулятором давления «после себя» с 608,0 до 313,8 кПа. Режим работы ГПА «Магистраль» характеризовался следующими параметрами:

– частоты вращения роторов:
 $N_{\text{ТВД}} = 4640\text{--}4660$ об/мин, $N_{\text{ТНД}} = 3850$ об/мин;

– температуры газов: $T_{\text{пс}} = 494\text{--}500$ °С (по условиям работы компрессорного цеха).

При испытаниях непрерывно контролировались такие параметры, как температура масла в маслобаке (перед аппаратом воздушного охлаждения масла (АВОМ)) и на входе в подшипники (после АВОМ), температура вкладышей и колодок подшипников, общий уровень вибрации по штатным датчикам. Осуществлялся дополнительный контроль уровня вибрации подшипников в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях

с использованием переносного вибронализатора, перепада давления в системе уплотнения «масло – газ», осевых сдвигов роторов.

В ходе испытаний параметры вибрации и температуры подшипников (рис. 1) находились в норме и не превышали установленных значений.

По истечении 3016 ч наработки были произведены разборка и осмотр подшипников. Получены следующие результаты:

– антифрикционное покрытие обеспечило работоспособность при всех заданных режимах эксплуатации;

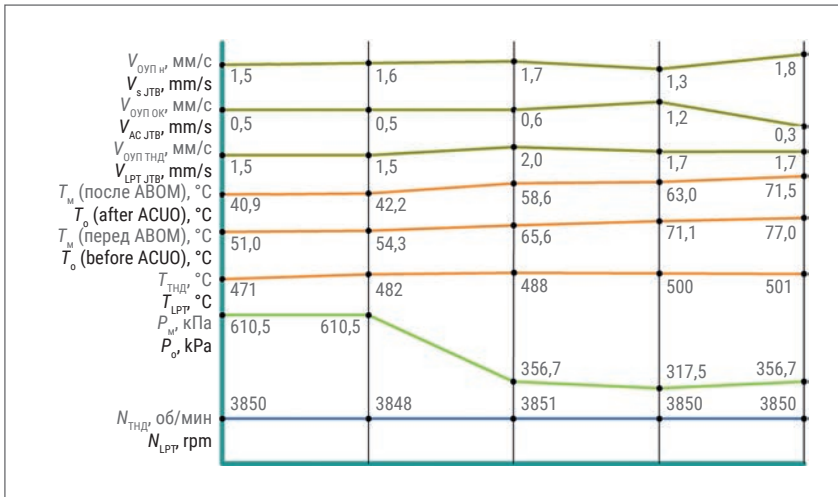


Рис. 1. Параметры работы газоперекачивающего агрегата при проведении эксплуатационных испытаний: $N_{\text{ТНД}}$ – частота вращения ротора турбины низкого давления; $P_{\text{м}}$ – давление масла; $T_{\text{ТНД}}$ – температура за турбиной низкого давления; $T_{\text{м}}$ – температура масла; $V_{\text{OUP}} \text{ н}$ – вибрация опорно-упорного подшипника нагнетателя; $V_{\text{OUP}} \text{ ОК}$ – вибрация опорно-упорного подшипника осевого компрессора; $V_{\text{OUP}} \text{ ТНД}$ – вибрация опорно-упорного подшипника турбины низкого давления. АВОМ – аппарат воздушного охлаждения масла
Fig. 1. Operating parameters of gas compressor unit during the performance tests: N_{LPT} – rotational speed of the low-pressure turbine’s rotor; $P_{\text{о}}$ – oil pressure; T_{LPT} – temperature downstream the low-pressure turbine; $T_{\text{о}}$ – oil temperature; $V_{\text{с ЖТВ}}$ – vibration of the supercharger’s journal and thrust bearing; $V_{\text{AC ЖТВ}}$ – vibration of the axial compressor’s journal and thrust bearing; $V_{\text{LPT ЖТВ}}$ – vibration of the low-pressure turbine’s journal and thrust bearing. АВОМ – oil air cooling unit

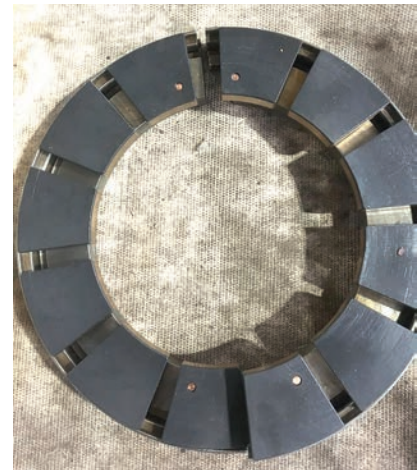


Рис. 2. Колодки опорно-упорного подшипника ротора осевого компрессора турбины высокого давления после 3016 ч эксплуатации
Fig. 2. Pads of the journal and thrust bearing of the high-pressure turbine axial compressor rotor after 3016 h of operation

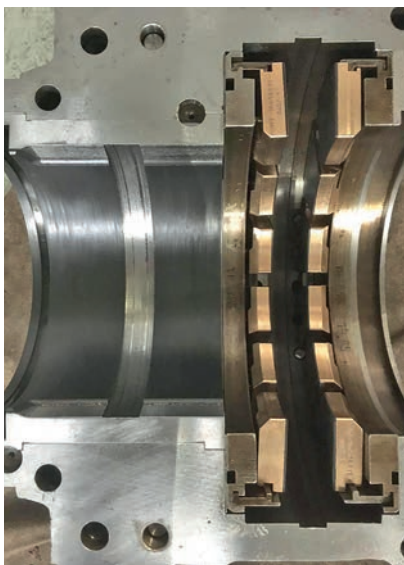


Рис. 3. Опорно-упорный подшипник ротора турбины низкого давления после 3016 ч эксплуатации
Fig. 3. Journal and thrust bearing of the low-pressure turbine rotor after 3016 h of operation

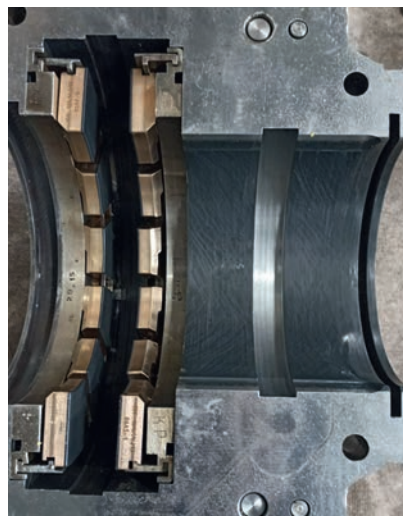


Рис. 4. Опорно-упорный подшипник ротора осевого компрессора турбины высокого давления после 3016 ч эксплуатации
Fig. 4. Journal and thrust bearing of the high-pressure turbine axial compressor rotor after 3016 h of operation



Рис. 5. Опорный подшипник ротора осевого компрессора турбины высокого давления после 3016 ч эксплуатации
Fig. 5. Journal bearing of the high-pressure turbine axial compressor rotor after 3016 h of operation

- недопустимых дефектов выявлено не было;
- непродолжительное масляное голодание не оказало влияния на техническое состояние под-

шипников и на работу агрегата в целом;

- в ходе эксплуатационных испытаний располагаемая мощность составила 9989 кВт, а КПД – 29,6 %.

Техническое состояние подшипников после 3016 ч эксплуатации представлено на рис. 2–5.

В целях подтверждения эффективности применения подшипников,

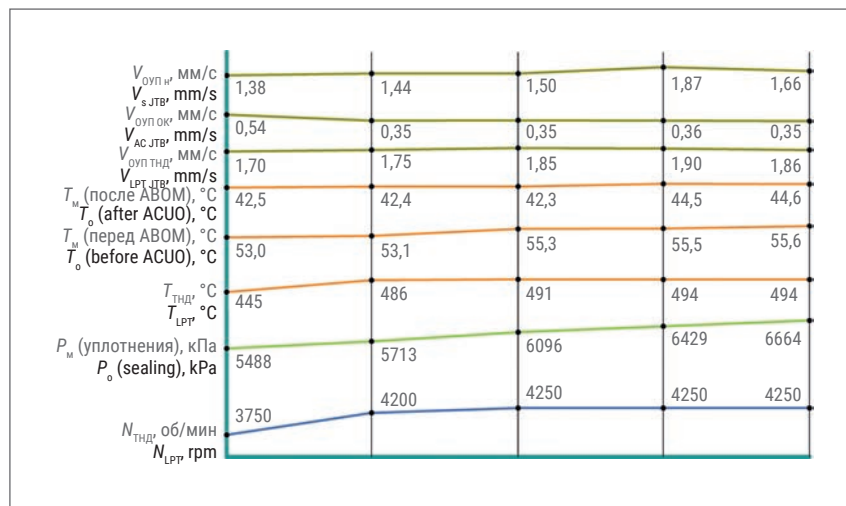


Рис. 6. Параметры работы газоперекачивающего агрегата при проведении опытно-промышленной эксплуатации. Обозначения см. на рис. 1

Fig. 6. Operating parameters of the gas compressor unit during the pilot operation. For legend see fig. 1

а именно определения возможного диапазона снижения давления масла, подаваемого в них и необходимого для устойчивой работы агрегата, установления зависимости температуры в зоне трения подшипников при изменении давления подаваемого масла и диапазона значений температуры масла, подаваемого в подшипники, было принято решение продолжить опытно-промышленную эксплуатацию (ОПЭ) ГПА ст. №27 с подшипниками скольжения с полимерным покрытием до 6 тыс. ч.

Опытно-промышленная эксплуатация в течение 6 тыс. ч

Опытно-промышленная эксплуатация проводилась при следующих параметрах работы ГПА «Магистраль»:

- частота роторов: $N_{ТВД} = 4640-4660$ об/мин, $N_{ТНД} = 3850$ об/мин;
- температуры газов: $T_{пс} = 494-500$ °С (по условиям работы компрессорного цеха).

Первая фаза ОПЭ предполагала достижение давления масла в системе на уровне 50 % от исходных значений и проведение эксплуатации ГПА при данном режиме в течение 72 ч.

Непрерывно контролировались параметры температуры опорного и опорно-упорного подшип-

ников, вибрации и давления (рис. 6). Замечаний к работе оборудования выявлено не было.

Во второй фазе проведено последовательное отключение АВОМ в целях повышения температуры масла в маслосистеме. Режим работы ГПА «Магистраль» характеризовался следующими параметрами:

- частота роторов: $N_{ТВД} = 4590-4670$ об/мин, $N_{ТНД} = 3750-4250$ об/мин;
- температуры газов: $T_{пс} = 450-500$ °С (по условиям работы компрессорного цеха);
- температура наружного воздуха до 20–29 °С.

В процессе испытаний с увеличением температуры масла в маслосистеме было отмечено снижение его давления на уплотнение с 666,8 до 549,1 кПа и перепада давлений в системе «масло – газ» с 242,2 до 225,5 кПа.

Уменьшение подачи масла на подшипники турбины до 48 % от номинального при постоянной частоте вращения ротора осевого компрессора ТВД не оказало отрицательного влияния на устойчивость работы ГПА.

По завершении 6284 ч ОПЭ были произведены разборка и осмотр подшипников, при этом получены следующие результаты:

- антифрикционное покрытие обеспечило работоспособность при всех заданных режимах эксплуатации;

- недопустимых дефектов выявлено не было;

- в ходе эксплуатационных испытаний располагаемая мощность составила 9158 кВт, а КПД – 29,7 %.

Снижение мощностных параметров объясняется загрязнением осевого компрессора, а также эксплуатационным износом газотурбинной установки.

Техническое состояние подшипников после 6284 ч ОПЭ представлено на рис. 7–10.



Рис. 7. Колодки опорно-упорного подшипника ротора осевого компрессора турбины высокого давления после 6284 ч эксплуатации
Fig. 7. Pads of the journal and thrust bearing of the high-pressure turbine axial compressor rotor after 6284 h of operation

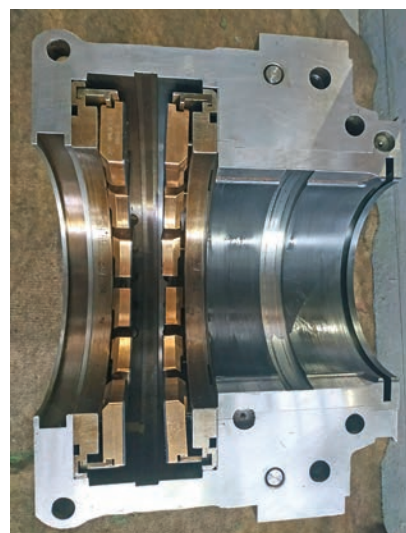


Рис. 8. Опорно-упорный подшипник ротора турбины низкого давления после 6284 ч эксплуатации
Fig. 8. Journal and thrust bearing of the low-pressure turbine rotor after 6284 h of operation

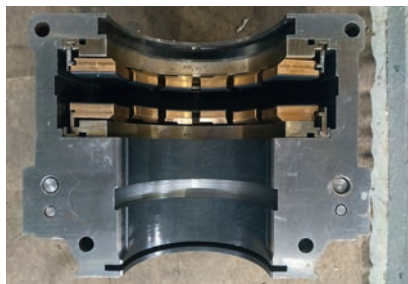


Рис. 9. Опорно-упорный подшипник ротора осевого компрессора турбины высокого давления после 6284 ч эксплуатации
Fig. 9. Journal and thrust bearing of the high-pressure turbine axial compressor rotor after 6284 h of operation

По сравнению с обследованием до установки подшипников с полимерным антифрикционным покрытием КЗОПТ отмечается изменение мощностных параметров: располагаемая мощность увеличилась на 329 кВт (с 9554 до 9883 кВт), КПД – на 0,3 % (с 29,2 до 29,5 %). Этот факт объясняется проведением среднего ремонта ГПА по наработке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование антифрикционных композиционных материалов позволяет расширить температурный режим устойчивой работы подшипников скольжения при масляном голодании.

За счет стабильной работы узла ГПА с полимерными подшипниками

в условиях снижения параметров смазки может увеличиться срок эксплуатации оборудования.

Пластичность рассматриваемого композиционного материала позволяет ему поглощать и удерживать механические включения, которые могут попадать в пленку вместе с маслом, тем самым предотвращая повреждение трущихся поверхностей.

Применение полимерных антифрикционных материалов и инновационных конструкторских решений даст возможность уменьшить стоимость ремонта подшипников за счет сокращения работ по дефектации, перезаливке, расточке, а также сократить трудозатраты персонала, осуществляющего ремонт и диагностику узлов трения, центровку агрегата и другие сопутствующие работы. Наличие сменного фонда стандартных вставок для подшипников, резервные экземпляры которых обычно не хранятся на предприятии, позволит сократить время аварийного и запланированного простоя.

По результатам длительных испытаний и ОПЭ ГПА ст. №27 компрессорной станции №18 «Москово» с подшипниками скольжения с полимерным покрытием можно сделать вывод, что внедрение антифрикционных материалов имеет перспективы для применения



Рис. 10. Опорный подшипник ротора осевого компрессора турбины высокого давления после 6284 ч эксплуатации
Fig. 10. Journal bearing of the high-pressure turbine axial compressor rotor after 6284 h of operation

на ГПА. Использование полимерных антифрикционных материалов позволяет увеличить ресурс вкладышей опорных и опорно-упорных подшипников ТВД, ТНД и ЦБК [5].

Наконец, снижение объема маслоснабжения и давления в маслосистеме, а также расширение температурного диапазона ее эксплуатации даст возможность сократить потребление электроэнергии маслоохладителями, нагрузку на главный масляный насос и расход масла. ■

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 1320–74 (ИСО 4383–91). Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009197> (дата обращения: 01.04.2024).
- ТУ 22.29.29–003–49348341–2020. Антифрикционные полимеры // АО НПК «Промышленные технологии»: офиц. сайт. URL: <https://npkpt.ru/> (дата обращения: 01.04.2024). Режим доступа: по особым условиям в локальной сети владельца.
- Овчаренко Н.Ю., Ладенко С.В., Егорушков М.Ю. Технический прогресс в разработке новых подшипниковых материалов узлов трения // Турбины и дизели. 2023. № 4 (109). С. 16–18.
- ИЭ-194. Инструкция по эксплуатации ГТК-10–4. Л.: Невский завод, 1979. 69 с.
- Смирнов Е.А., Толстикин Ю.Ю., Шишов А.В. и др. Применение антифрикционных материалов в подшипниках скольжения центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов // Газовая промышленность. 2023. № 54 (857). С. 74–81.

REFERENCES

- USSR State Committee for Standards. *GOST 1320–74 (ISO 4383–91) (state standard). Tin and lead babbitts. Specifications.* Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200009197> [Accessed: 1 April 2024]. (In Russian)
- AO Scientific and Production Company “Industrial Technologies” (joint stock company) [AO NPK “Promyshlennye tekhnologii”]. *TU 22.29.29–003–49348341–2020 (specifications). Anti-friction polymers.* [Accessed: 1 April 2024]. (Accessible under specific conditions in the owner’s local area network; in Russian)
- Ovcharenko NYu, Ladenko SV, Egorushkov MYu. Technical advance in the development of new bearing materials for friction units. *Turbines & Diesels [Turbiny i dizeli].* 2023; 109(4): 16–18. (In Russian)
- Nevsky Zavod. *IE-194 (operating instructions). GTK-10–4 operating instructions.* Leningrad: Nevsky Zavod; 1979. (In Russian)
- Smirnov EA, Tolstikhin YuYu, Shishov AV, Baukin VA, Blokhin DV, Ovcharenko NYu. Application of anti-friction materials in journal bearings of centrifugal superchargers of gas compressor units. *Gas Industry [Gazovaya promyshlennost’].* 2023; 857(S4): 74–81. (In Russian)