

## О ПОВРЕЖДЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ РОТОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА НК, РАБОТАЮЩИХ В КАЧЕСТВЕ ПРИВОДА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ

© 2011 С. В. Наздрачёв

ОАО «КУЗНЕЦОВ», Самара

После разборки двигателей-приводов генераторов, пришедших из эксплуатации, на подшипниках силовой турбины были обнаружены дефекты в виде продольных полос на беговых дорожках и телах качения. Имели место разрушения подшипников, вызванные развитием дефекта в виде полос. Проведенные исследования убедительно доказывают, что причиной появления дефектов является прохождение электрического тока через подшипники силовой турбины. Это подтверждается проведёнными микроисследованиями материала и расчётным объяснением частоты следования полос на беговых дорожках роликовых подшипников. Разрабатываются мероприятия по изоляции подшипников.

*Газотурбинный двигатель, повреждение роторных подшипников, керамическое покрытие, гибридные подшипники.*

В настоящее время наземные газотурбинные двигатели нашли широкое применение в качестве приводов различных устройств, таких как газовые компрессоры для транспортировки и нагнетания природного газа, генераторы электрического тока, привода буровых установок и т.д.

К ГТД предъявляются ряд требований, существенно отличающихся в каждом конкретном случае. Требования обусловлены особенностями работы в составе установки (характер нагрузки, пиковые и нагрузочные характеристики и т.п.), а также особенностями эксплуатации (наличие большого коли-

чества абразивных частиц в цикловом воздухе, климатические особенности).

В данной статье речь идёт об особенностях двигателей приводов, выполненных по схеме со свободной турбиной. Рассматриваются двигатели семейства НК, работающие в составе газотурбинной электростанции: НК-16СТ и НК-37СТ.

Свободные турбины двигателей НК-16СТ и НК-37СТ конструктивно выполнены в виде отдельных модулей, имеющих собственные рамы и стыкующихся с газогенераторами болтовыми соединениями.

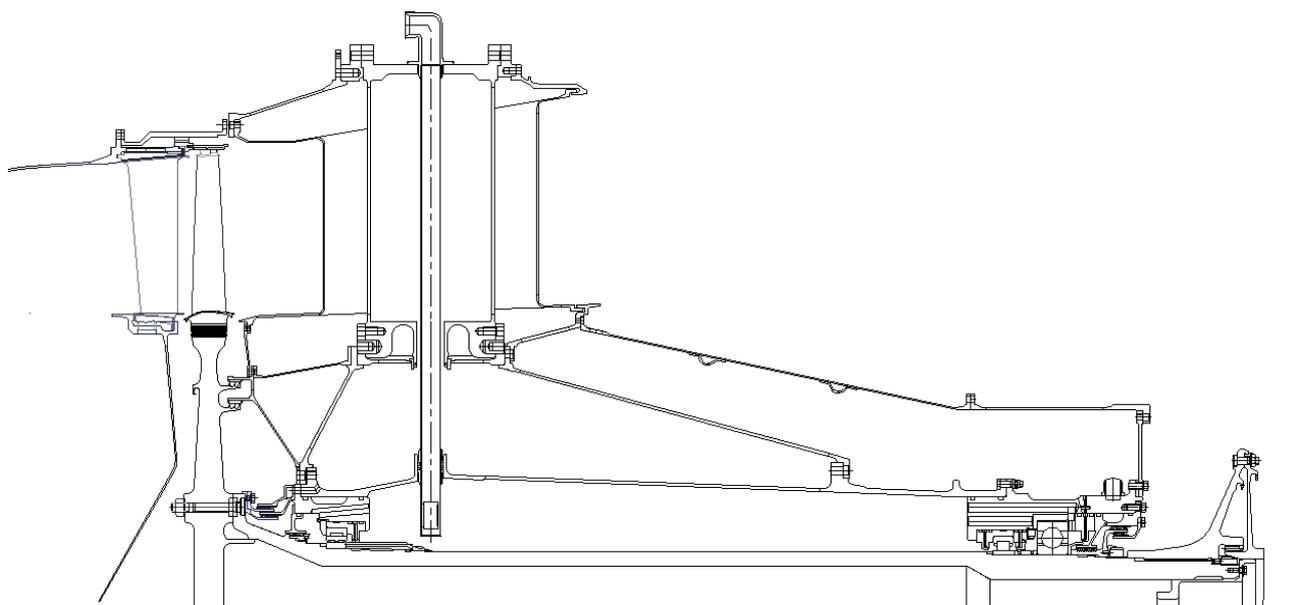


Рис. 1. Свободная турбина НК-16СТ

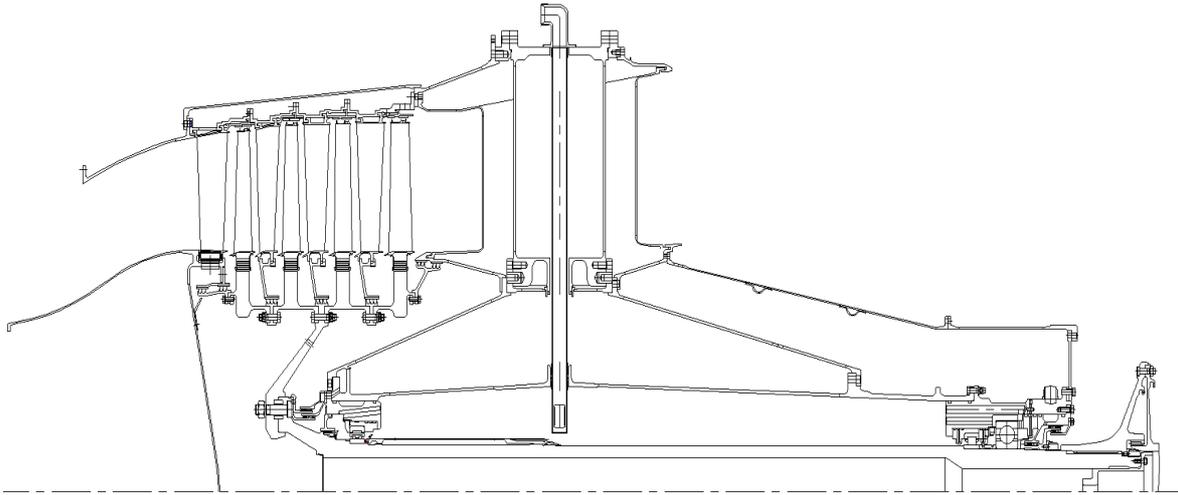


Рис. 2. Свободная турбина НК-37СТ

Турбина НК-16 СТ (рис. 1) состоит из 3 основных частей – статора, ротора и опоры турбины, выполненных в виде модулей. Турбина одноступенчатая. Номинальная мощность  $P=16(18)$  МВт, частота вращения  $n=5300$  об/мин

Турбина НК-37СТ (рис.2) четырёх-ступенчатая, также состоит из статора, ротора и опоры СТ, выполненных в виде модулей. Номинальная мощность  $P=25$  МВт, частота вращения вала  $n=3000$  об/мин.

Ротор турбины в каждом случае опирается на 3 подшипника: 2 радиальных и один радиально-упорный, причём радиально-упорный работает в связке с задним радиальным роликовым подшипником. Такая конструкция позволяет освободить шариковый радиально-упорный подшипник от радиальной нагрузки. Расчётная долговечность подшипников составляет 25000 часов (межремонтный ресурс двигателя). Работоспособность данной схемы подтверждена многолетней эксплуатацией двигателей НК-16СТ и НК-36СТ в составе ГПА.

В 2009 году при проведении ремонта двигателей НК-16СТ и НК-37СТ на подшипниках свободной турбины были обнаружены множественные дефекты. Вид дефектов подшипников НК-37СТ представлен на рис. 3-6.



Рис. 3. Наружная обойма переднего РП (НК-37СТ)



Рис. 4. Ролики (НК-37СТ)

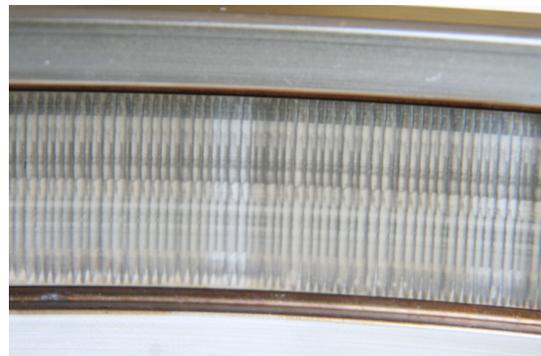


Рис. 5. Наружная обойма заднего РП (НК-37СТ)



Рис. 6. Беговая дорожка шарикового подшипника (НК-37СТ)



Рис. 10. Шарики (НК-16СТ)

Вид дефектов на подшипниках свободных турбин НК-16СТ представлен на рис. 7-10.

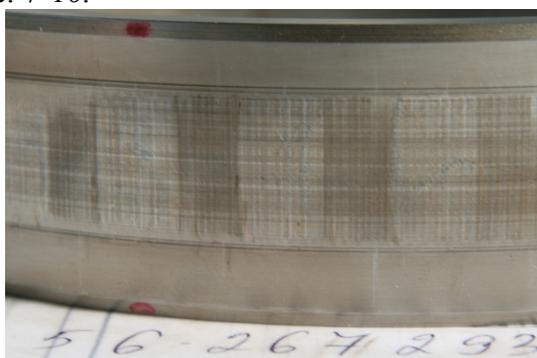


Рис. 7. Внутренняя обойма переднего РП (НК-16СТ)

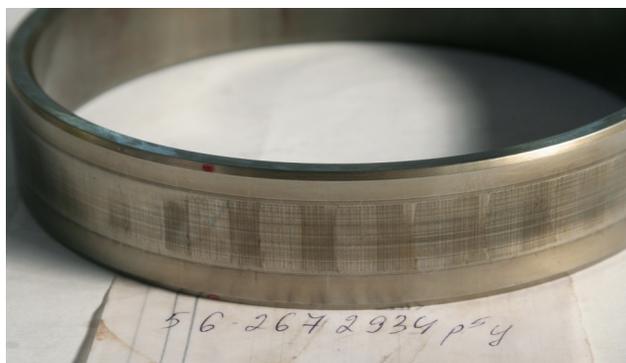


Рис. 8. Внутренняя обойма переднего РП (НК-16СТ)



Рис. 9. Ролики (НК-16СТ)

Обнаружены следующие дефекты: поперечные полосы на беговых дорожках и роликах, потемнение шариков, матовый цвет беговых дорожек, потемнение шаров, серповидные отпечатки на полуобоймах упорных подшипников, потемнение смазки.

Имело место разрушение переднего роликового подшипника на одном из двигателей.

Поскольку ранее с подобными дефектами наше предприятие не сталкивалось, были проведены работы по исследованию причин дефекта и предложены мероприятия для его устранения. Для выяснения причин появления полос на обоймах подшипников и роликах, а также понимания характера дефекта были проведены следующие исследования:

1. Исследование опыта ведущих зарубежных и отечественных подшипниковых фирм по выявлению подобных дефектов.
2. Обмеры элементов повреждённых подшипников на измерительной машине.
3. Металлургические исследования.
4. Расчётные гипотезы.

Удалось установить, что SKF, NSK и другие ведущие зарубежные и отечественные подшипниковые фирмы в качестве возможной причины появления полос на беговых дорожках называют прохождение электрического тока через подшипники. Поскольку дефекты отмечены на машинах, работающих в качестве приводов турбогенераторов, эта версия была принята в качестве основной.

Процесс повреждения выглядит следующим образом: тепло, образующееся

при электрических разрядах, вызывает местное плавление металла, это вызывает маленькие эрозионные изъязвления и изменения в структуре металла. В результате этих небольших повреждений на беговых дорожках и элементах качения образуется своего рода «стиральная доска» (износ роликовых подшипников). Износ – это уже вторичное повреждение, вызываемое динамическим воздействием элементов качения при перекачивании по эрозионным дефектным местам. Разряды тока вызывают также изменение состава смазки в подшипниках, быстрое ухудшение её качества и преждевременную потерю смазочных свойств. С началом воздействия электрического тока повышается уровень шума, снижается эффективность смазки, повышается выделение тепла, возможно появление чрезмерных вибраций. Эти факторы способствуют снижению ресурса подшипника.

Проведённые исследования дали дополнительную информацию.

Обмеры на координатно-измерительной машине показали, что глубина износа находится в пределах 0,032...0,2 мм и максимумы износа приходятся на определённый сектор беговой дорожки на дуге примерно 120°. Пример обмеренной дефектной обоймы приведен на рис. 11.

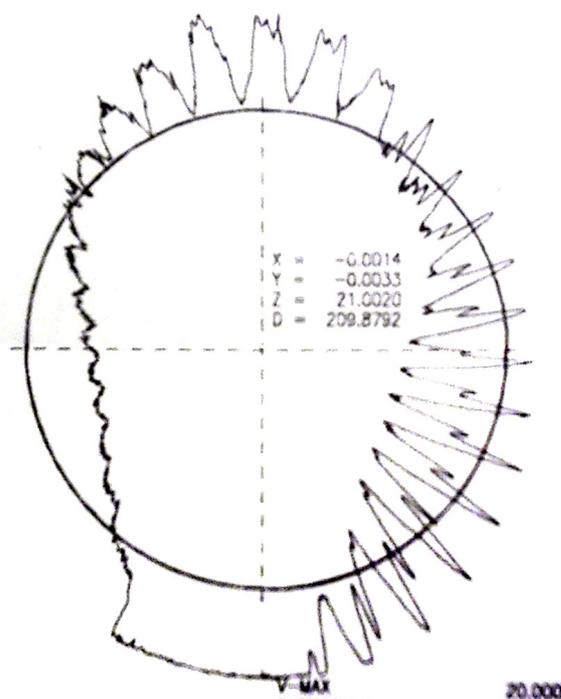


Рис. 11. Обмер беговой дорожки на КИМ

Поскольку характер поврежденной поверхности имеет схожий вид с поверхностью после электроэрозионной обработки, то поскольку при электроэрозионной обработке на поверхности обрабатываемой детали имеется изменённый дефектный слой, была предпринята попытка найти изменённый слой на поверхностях беговых дорожек и роликах в зоне дефектов, для чего было проведено микроисследование материала колец и роликов.

Вид микроструктуры материала приведен на рис. 12.

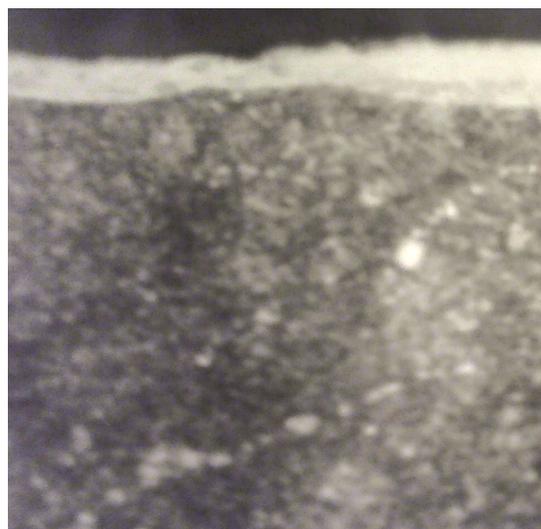


Рис. 12. Вид структуры материала в зоне проявления дефектов

Искомый дефектный слой был найден (на рисунке это светлая полоса на поверхности).

Таким образом, гипотеза о повреждении подшипников током получила подтверждение.

Также расчётным путём была обнаружена взаимосвязь между геометрическими параметрами подшипника (диаметры беговых дорожек) и условиями его работы (частота вращения ротора силовой турбины НК-37 составляет 50Гц) с частотой следования полос на беговых дорожках, что ещё раз подтвердило правильность гипотезы о повреждении током, предположительно возникающем на приводимом турбогенераторе.

Для устранения дефектов были предложены следующие мероприятия:

1. Устранение первоисточника тока.
2. Устранение проводимости в системе генератор-модуль СТ.
3. Создание «обходных путей» для

стекания индуцированных токов.

#### 4. Изоляция подшипников.

Первые два мероприятия предполагают устранение утечек тока с турбогенератора по системе ротор генератора - трансмиссия (редуктор) - ротор СТ. Данные мероприятия дорогостоящие и трудоёмкие, например, устранение паразитных токов и утечек по ротору турбогенератора влечёт значительную переделку всего генератора, а постройка изоляции в трансмиссию потребует коренной переделки всей трансмиссии.

Третье мероприятие было предложено одним из первых и заключалось в заземлении рамы СТ. Эффективность данного мероприятия пока не оценена в полной мере.

Наиболее эффективным и в то же время дешёвым предполагается мероприятие по изоляции подшипников. В частности, SKF предлагает для этих целей два основных направления:

- использование изоляции за счёт напыления на обоймы изолирующего керамического материала;

- использование гибридных подшипников с керамическими телами качения.

По первому направлению предполагается использовать напыление диоксида циркония, диоксида кремния или оксида алюминия на наружную и внутреннюю обоймы, причём напыление будет осущест-

вляться на серийные подшипники СПЗ специалистами ОАО «Кузнецов» на имеющемся оборудовании для плазменного напыления. В настоящее время мы занимаемся исследованиями в этом направлении. Предварительная проработка напыления оксида кремния показала его недостаточную стойкость на обоймах подшипника. Продолжает отрабатываться технология нанесения, состав и толщина покрытия. Предполагается проверка подшипников с напылением на установках и в составе изделия. Как альтернатива рассматривается возможность приобретения у SKF гибридных подшипников в случае возникновения непреодолимых трудностей с напылением.

Таким образом, изоляция подшипника даёт следующие эффекты:

- в одном решении осуществление двух функций:
  - подшипника;
  - изоляции от воздействия электрического тока;
- реальное устранение преждевременных поломок подшипника, вызываемых паразитными электрическими токами;
- увеличение ресурса машины;
- снижение эксплуатационных расходов;
- экономическое решение в сравнении с другими решениями по изоляции токов.

## **GAS TURBINE ENGINE ROTOR BEARINGS ELECTRICAL CURRENT DAMAGE ON THE BASE OF NK-FAMILY ENGINES FOR ELECTRICAL GENERATOR DRIVE**

© 2011 S. V. Nazdrachev

JSC «KUZNETSOV», Samara

Electrical current damage is a problem known for a long time. But until now we have never met this problem in our gas turbine engines. The article deals with our experience in diagnostic of this event and solution of bearing protection problem and measures of dielectric resistance increase by means of bearing ceramic coating and the use of hybrid bearings.

*Gas turbine engine, rotor bearings current damage, bearing ceramic coating, dielectric resistance, hybrid bearings.*

### **Информация об авторах**

**Наздрачёв Сергей Владимирович**, инженер-конструктор ОАО «КУЗНЕЦОВ», Самара. Тел.: 8927-768-98-72, E-mail: [kovbawood@rambler.ru](mailto:kovbawood@rambler.ru). Область научных интересов: конструкция и надёжность газотурбинных двигателей.

**Nazdrachev Sergey Vladimirovich**, design engineer, JSC «KUZNETSOV», Samara. Phone: 8927-768-98-72. E-mail: [Kovbawood@rambler.ru](mailto:Kovbawood@rambler.ru). Area of research: design and reliability of gas turbine engines.