

В. С. Марцинковский, к.т.н., доц., академик УТА, директор,
К. В. Путро, инженер-конструктор I категории (ООО «ТРИЗ», г. Сумы, Украина)

Повышение эксплуатационных характеристик упорных подшипников скольжения для турбогенераторов

В работе выполнен анализ причин разрушения штатного подшипника и рассмотрены результаты комплекса работ по совершенствованию подшипников скольжения паровых турбин. Приведены примеры реализации эффективных технических решений по увеличению несущей способности и электроэрозионной защите в конструкциях подшипников скольжения паровых турбин турбогенераторов и результаты их внедрения. Разработанные и реализованные оригинальные технические решения для упорных подшипников позволяют увеличить несущую способность штатных подшипников до 4-х раз при сохранении габаритных размеров штатного подшипника и использовании штатных маслосистем агрегатов.

Ключевые слова: упорные подшипники, несущая способность, толщина масляного слоя, расход масла, максимальная температура гидродинамического клина.

В роботі виконано аналіз причин руйнування штатного підшипника і розглянуті результати комплексу робіт щодо вдосконалення підшипників ковзання парових турбін. Наведені приклади реалізації ефективних технічних рішень по збільшенню несучої здатності і електроерозійного захисту в конструкціях підшипників ковзання парових турбін турбогенераторів і результати їх впровадження. Розроблені і реалізовані оригінальні технічні рішення для упорних підшипників дозволяють збільшити несучу здатність штатних підшипників до 4-х разів при збереженні габаритних розмірів штатного підшипника і використанні штатних маслосистем агрегатів.

Ключові слова: упорні підшипники, несуча здатність, товщина масляного шару, витрата масла, максимальна температура гідродинамічного клину.

The report describes the results of a complex of works on modernization of bearings that allows to increase efficiency of steam turbines. The examples of effective technical solutions to improve the bearing capacity in constructions of the slide bearings of steam turbines, turbine generator, and the results of their implementation. Developed and implemented unique technical solutions for persistent bearings, improve the bearing capacity of regular bearings up to 4 times while maintaining the overall dimensions of a standard bearing and using regular macrosystem units. Pillow block bearings provide overhaul mileage of at least 50,000 hours without a "draw-down" of the rotor.

Keywords: thrust bearings, bearing capacity, the oil film thickness, oil flow, maximum temperature of the hydrodynamic wedge.

Упорные подшипники турбин работают в тяжёлых условиях. Большинство упорных подшипников работают с перекосами. Причинами перекоса являются температурная расцентровка агрегата, вызванная неравномерным удлинением фундаментных колонн и разными силовыми и тепловыми расширениями ротора и статора, неточности при изготовлении деталей подшипника, а также неточности сборки при монтаже и ремонте. Искривление геометрической оси ротора в турбинах под собственным весом или по другим причинам ведёт к неравномерной нагрузке упорных колодок подшипника и, как результат, его разрушению.

Электроэрозия. Отсутствие или недостаточная защита от электроэрозии приводит к эрозионному разрушению несущих поверхностей подшипника в зависимости от направления прохождения электрического разряда разрушению подвержен баббитовый слой упорных колодок, или несущая поверхность упорного диска.

Поэтому наряду с эффективным уравниванием роторов, методиками расчета осевых сил, учитывающих возможные эксплуатационные режимы систем защиты и мониторинга осевого сдвига, задача создания высокоэффективных и надежных упорных подшипников (УП) актуальна и сегодня.

Фирма ООО «ТРИЗ» обладает опытом разработки и модернизации подшипниковых узлов, обеспечивающих высокую несущую способность и надежность. Рассмотрим эти решения на примере паровой турбины Т-50\70-6,8\0,12 показанной на рис. 1, которая установлена на Челябинской ТЭЦ-3, ПГУ-230Т, БЛОК 3.

Одноцилиндровая, проточная часть состоит из восемнадцати одновенечных ступеней. Первая ступень является регулирующей. Камерой регулируемого отопи-

тельного отбора турбина делится на часть высокого давления (ЧВД) и часть низкого давления (ЧНД). ЧВД состоит из тринадцати ступеней, ЧНД – из пяти ступеней. В ЧВД турбины предусмотрен промежуточный ввод пара за десятую ступень из контура низкого давления (КНД) котла-утилизатора.

Номинальным режимом работы паровой турбины в составе энергоблока ПГУ-230Т является теплофикационный режим при температуре наружного воздуха минус 14,3 С. Максимальным режимом работы паровой турбины в составе энергоблока ПГУ-230Т является конденсационный режим при температуре наружного воздуха + 15 С.

При эксплуатации паровой турбины в период с октября 2014 по февраль 2015 происходил постепенный



Рис. 1. Паровая турбина Т-50\70-6,8\0,12

рост осевого сдвига турбины, что приводило к разрушению баббитового слоя упорных колодок (рис. 2). Для устранения причины было принято решение о модернизации паровой турбины Т-50\70-6,8\0,12 фирмой ALSTOM PowerSp. Z o.o., а также замены штатного упорного подшипника на подшипник упорный рычажный, производства ООО «ТРИЗ», обладающий увеличенной несущей способностью и протекторами от электроэрозии.

В период капитального ремонта при разборке пе-



Рис. 2. Изношенные штатные рабочие упорные колодки

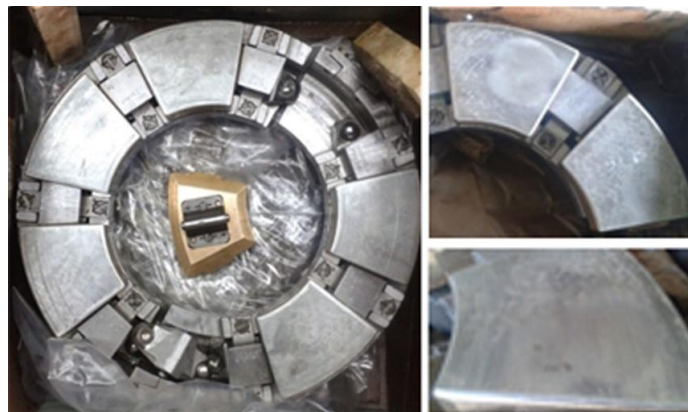


Рис. 3. Штатные упорные колодки

При проведении анализа штатных подшипниковых узлов определены причины возникновения осевого сдвига турбины. Это:

1. Электроэрозия. Отсутствие или недостаточная защита от электроэрозии приводит к разрушению баббитового слоя упорных колодок.

2. В процессе эксплуатации рост осевого сдвига турбины происходит за счет уменьшения зазора из-за недостаточной несущей способности упорного подшипника.

3. Неравномерное распределение нагрузки на упорные колодки также приводит к уменьшению несущей способности подшипника.

По результатам ревизии заказчиком было принято решение о разработке, изготовлении и поставки предприятием ООО «ТРИЗ» упорного рычажного подшипника ПУР-430, а также, в связи с неудовлетворительным состоянием баббитового слоя опорных колодок, об изготовлении и установке штатных опорных колодок переднего подшипника (рис. 5).

Сравнительная характеристика штатного упорного подшипника и ПУР 430 TRIZ® приведена в табл. 1.



Рис. 4. Следы электроэрозии на штатных упорных колодках

Таблица 1. Сравнительная характеристика упорных подшипников

Параметр	Упорный рычажный подшипник	Упорный рычажный подшипник ТРИЗ
Несущая способность, F, кгс	14000	36700
Максимальная температура колодок упорных, С	65	48
Скорость скольжения, V, м/сек	67	67
Удельное давление, P, кгс/см ²	22,5	48,0
Удельный расход смазки, Q, л/мин	150	95
Защита от электроэрозии	-	+
Коэффициент заполнения (κ)	0,6	0,82

Особенностью конструкции ПУР-430TRIZ® является:

✓ Расширение диапазона коэффициента заполнения несущими колодками.

Коэффициент заполнения (κ) представляет собой отношение рабочей площади упорных колодок к площади кольца, ограниченного внутренним и наружным диаметром колодок, и оказывает существенное влияние на несущую способность упорного подшипника. Подшипники традиционной конструкции выдерживают наибольшую нагрузку при значении $\kappa = 0,6$ [1]. Установленные в межколодочном пространстве маслосъемные скребки препятствуют переносу горячего масла с колодки на колодку, поэтому в таких упорных подшипниках увеличение площади колодок сопровождается по-

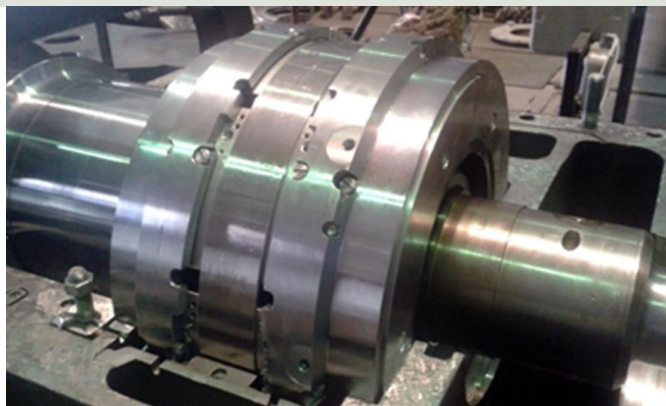


Рис. 5. Подшипник упорный рычажный ПУР-430

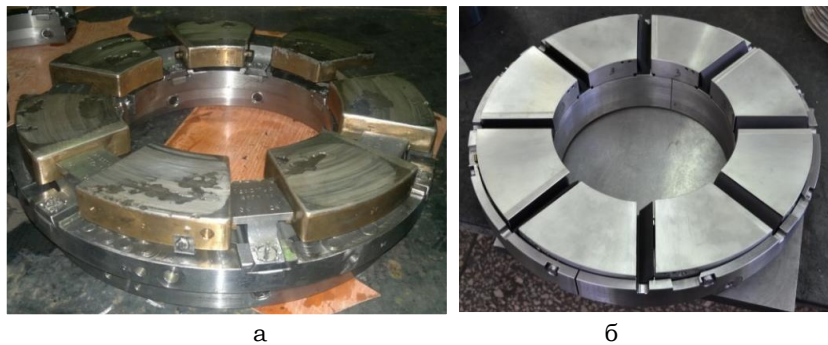


Рис. 6. Штатный подшипник (а) и подшипник TRIZ® (б)

вышением их несущей способности (рис. 6). При установке между колодками маслосъемных скребков коэффициент заполнения несущей поверхности колодок увеличивается с $\kappa = 0,6$ до $0,9$, в связи с чем несущая способность подшипника, имеющего те же габариты, увеличивается на 50%.

✓ Выравнивающая система TRIZ®, повышающая несущую способность подшипника.

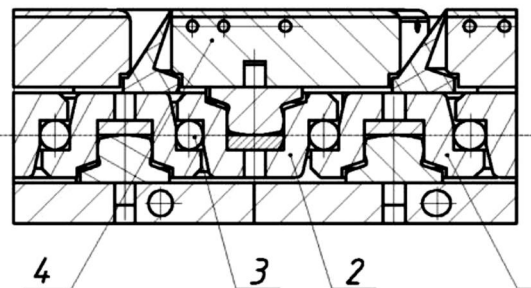
Неравномерное нагружение колодок может привести к лавинообразному разрушению колодок упорного подшипника. При использовании традиционных рычажных выравнивающих систем, разность температуры между максимально нагруженной и минимально нагруженной колодкой достигает 40°C .

Для более равномерного распределения нагрузки между упорными колодками в подшипнике TRIZ® применена рычажная выравнивающая система с повышенными компенсирующими свойствами, в которой трение скольжения между рычагами заменено трением качения. Такая выравнивающая система позволяет при перекосах упорного диска повышать несущую способность подшипника до 1,2 раза (рис. 6).

Предлагаемый индивидуальный подвод смазки является не совсем эффективным при отсутствии эффективного отвода масла на выходе из колодок. В этом случае горячая пленка масла беспрепятственно переносится из-под одной упорной колодки на другую, что ухудшает температурный режим подшипника. В то же время в подшипнике конструкции TRIZ® в межколодочном пространстве установлены маслосъемные скребки, которые предотвращают перенос горячей пленки масла, что позволяет снизить температуру на входе в колодку до 10°C . Кроме того, изготовление скребков из электропроводного материала предотвращает электроэрозсион-



Рис. 7. Рычажная выравнивающая система качения TRIZ® с высокими компенсирующими свойствами: 1 – рычаг нижний, 2 – рычаг верхний, 3 – ролик, 4 – колодка упорная



тов.

При планировании модернизации упорного подшипника турбины Т-48/62-7,4/0,12 заказчиком были рассмотрены подшипники, предлагаемые Калужским турбинным заводом совместно с ОАО "Силловые машины" и подшипник TRIZ®.

Сравнение несущей способности штатного подшипника, предлагаемого модернизированного подшипника и подшипника конструкции TRIZ®, а также факторы, влияющие на повышение несущей способности, приведены в таблицах 2 и 3.

Выводы:

1. Анализ причин разрушения штатных упорных подшипников скольжения паровых турбин выявил резервы повышения их несущей способности и надежности, заключающиеся в изменении их конструкции.
2. Новые технические решения, используемые фирмой ООО TRIZ, обеспечивают, без увеличения габаритов упорного подшипника паровой турбины, более высокую несущую способность и надежность его работы.

Список литературы:

1. Сержкина Л.П., Зарецкий Е.И. Осевые подшипники мощных паровых турбин - М.: Машиностроение, 1988.- 175 с.
2. Патент на винахід 81026, Україна, F16C 17/04. Важливі навіривальна система упорного підшипника.

Таблица 2. Сравнение несущей способности упорных подшипников турбины Т-48/62-7,4/0,12

Конструкция подшипника	Несущая способность, кгс
КТЗ штатный (7 реверсивных колодок)	14000
Модернизированный КТЗ+ "Силовые машины" (6 нереверсивных колодок с индивидуальным подводом масла)	25200*
ТРИЗ (8 нереверсивных колодок, со скребками, улучшенной геометрией колодок, рычажной выравнивающей системой с повышенными компенсирующими свойствами, дополнительным охлаждением термонагруженной зоны колодок)	36700

Таблица 3. Факторы, влияющие на несущую способность упорного подшипника ПУР-430 TRIZ® турбины Т-48/62-7,4/0,12

Параметр	Величина
Несущая способность штатного упорного подшипника с 6 реверсивными колодками, кгс	14000
Увеличение несущей способности за счет изменения количества и формы колодок, выполения заходных кромок, кгс	10470 (75%)
Увеличение несущей способности за счет установки скребков, кгс	4400 (18%)
Увеличение несущей способности за счет дополнительного охлаждения термонагруженной зоны колодок, кгс	2930 (12%)
Увеличение несущей способности за счет использования рычажной выравнивающей системы с повышенными компенсирующими свойствами, кгс	4900 (20%)
ИТОГО: несущая способность упорного подшипника ТРИЗ, кгс	36700

В.С. Марцинковский, Ю.С. Филоненко, В.М.Кучеренко.
3. Патент на изобретение 2305212, Россия, F16C 17/04. Рычажная выравнивающая система упорного подшипника. В.С.Марцинковский, Ю.С.Филоненко, В.Н.Кучеренко.
4. A utility model patent. 62 184, Russia, F16C 31/00.

The support bearing assembly (specias). V.S.Martsinkovsky.
5. A utility model patent. 3489, the Republic of Belarus, F16C 32/00. The support bearing assembly (specias). V.S. Martsinkovsky, I.V. Ovseenko.
6. Patent for utility model 74963, Ukraine, F16C32/00. Bearing bearing unit (specias). V.S.Martsinkovsky.

Инжиниринговые решения для различных отраслей промышленности в области автоматизации, мониторинга и диспетчеризации объектов

