

Кирюхин А.Л., Ажимов В.В.

ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ

Получили дальнейшее развитие конструктивные мероприятия по обеспечению виброустойчивости судовых роторных систем. Обосновано применение демпферных подшипников для повышения эффективности удержания и стабилизации валов турбомашин на протяжении жизненного цикла морского транспортного средства.

Ключевые слова: роторная система, вибрация, подшипник скольжения, моделирование.

Анализ аварийности элементов судовых энергетических установок (СЭУ) показывает [1,2], что среди различных причин, которые могут привести к срыву выполняемых задач, а также к авариям с тяжелыми последствиями и существенными убытками, одно из определяющих мест занимают отказы агрегатов и механизмов вследствие пространственного смещения осей и увеличения амплитуд колебаний валов. Долговечность и безотказность судовых роторных систем, в первую очередь, зависят от режима работы трибосопряжения в подвесах. Под воздействием эксплуатационных факторов в подшипниках активизируются трибомеханические и реологические процессы, которые способствуют рассеиванию подведенной механической энергии как по деструктурирующим механизмам, вызывающим вибрацию ротора и износ опорных узлов, так и по защитным – в реализации которых заложен ресурс повышения виброустойчивости судовых роторных систем.

Важным аспектам научно-прикладной проблемы повышения эффективности удержания валов турбомашин на протяжении жизненного цикла транспортных и стационарных энергетических установок посвящены работы [3 – 15], отражающие перспективные направления совершенствования функциональных свойств роторных систем:

- выявление резервов повышения эффективности удержания валов путём совершенствования триботехнических характеристик пар трения и свойств смазочных материалов, оптимизации эксплуатационных режимов турбомашин;
- разработка конструкций подшипников скольжения, функционирующих на принципах управления положением шипов в зазорах опор путём изменения потенциальной и кинетической энергии рабочего тела при внешнем воздействии;
- реализация принципов магнито-пассивного, магнито-активного, гидрогазодинамического и гозостатического удержания осей и стабилизации колебаний валов судовых турбомашин.

Увеличение ресурса и обеспечение безотказности судовых турбомашин за счёт дальнейшего повышения надежности и резервирования элементов роторных систем требует чрезмерных материальных затрат и ведёт к неэффективным конструктивным решениям, а реализация новых принципов удержания осей валов ограничивается спецификой функционирования энергоёмких агрегатов морских транспортных средств. В этих условиях разработка конструктивных мероприятий по обеспечению виброустойчивости судовых роторных систем становится одной из приоритетных задач при формировании комплексного подхода к повышению эксплуатационной надежности в судоходстве. Принимая во внимание высокий уровень технического совершенства и специфичность производства судового оборудования в контексте совершенствования удельных показателей силовых турбомашин и повышения их надежности при одновременном снижении массогабаритных характеристик, объектом исследования выбраны судовые роторные системы с радиальными подшипниками скольжения на традиционных смазочных материалах – минеральных смазочных маслах из группы турбинных.

Цель исследования: обеспечение виброустойчивости судовых роторных систем.

Фундаментальными и прикладными исследованиями, проводимыми в Академии военно-морских сил им. П.С. Нахимова созданы теоретические основы разработки судовых роторных систем, реализующих процессы гидростатодинамического удержания осей и стабилизации колебаний валов, функционирующие на принципах управления положением шипов в зазорах подшипников путём изменения потенциальной и кинетической энергии рабочей жидкости [16]. На основе критического анализ конструктивного совершенства подшипников энергоёмких турбомашин (рис.1) обоснован выбор демпферных подшипников, рабочий процесс которых в наибольшей степени реализует концепцию управления упруго-демпфирующими свойствами опор при возмущающем воздействии конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов.

Установлено, что стабилизация динамического равновесия валов при их гармоническом нагружении обеспечивается за счёт трибокоординации структуры потока в слоях смазочного материала по высоте гидродинамической части зазора, а воздействие переменных нагрузок компенсируется повышением потенциальной энергии рабочего тела в камерах на внешней стороне сегментов, сообщающихся с гидродинамическим слоем через дроссели, расположенные в наиболее нагруженной зоне опорной поверхности колодок. Разделение несущего слоя на гидродинамический и гидростатический позволяет формировать запас потенциальной энергии рабочего тела без существенного изменения виброустойчивости подшипника.

Механизмы взаимодействия сил вязкого трения и инерции смазочного материала, которые уравнивают квазистационарные и гармонические нагрузки на вал путём перераспределения кинематических, тепловых и реологических параметров гидродинамического и гидростатического смазочных слоев демпферного подшипника, формализованы в виде математической модели, основанной на решении системы уравнений динамики ротора, дополненной уравнениями сохранения количества движения, массы и энергии для характерных участков гидравлического тракта подшипников [17]. Однозначность начальных и граничных условий позволило использовать для решения исходных уравнений отработанные методы динамического анализа и механики сплошных сред [3, 4, 7, 9, 15].



Рис.1. Конструкция подшипников:

a – двухклиновой втулочный гидродинамический; *б* – гибридный (гидростатодинамический) с управляемыми несущими зонами; *в* – многоклиновой сегментный гидродинамический; *г* – гидродинамический с самоустанавливающимися вкладышами; *д* – демпферный гидростатодинамический; *е* – магнитный подвес.

Многовариантные расчёты на имитационной математической модели показали, что в условиях неблагоприятных для релаксации внешних воздействий в гидродинамических

подшипниках (ГДП) традиционной конструкции применение демпферных подшипников (ДП) активизирует адаптивные процессы в смазочном слое, которые эффективно снижают интенсивность дестабилизирующих явлений в опорных узлах путём перераспределения напряжений в гидродинамическом и гидростатическом слоях. Перераспределение расходов в зазоре вследствие увеличения радиальной компоненты скорости движения жидкости и роста перепуска жидкости в гидростатические карманы на внешней поверхности сегментов приводит к уменьшению жесткости гидродинамического слоя за счёт снижения уровня пиковых давлений в нем и, как следствие, к улучшению демпфирующих свойств масляной пленки, охваченной сдвиговым течением, и уменьшению амплитуд вибраций ротора (рисунок 2). Следует отметить, что суммарная жесткость взаимодействующих слоев ДП остается соизмеримой с жесткостью ГДП с таким же зазором, а с учётом тенденции к установлению повышенных зазоров в подшипниках традиционной конструкции – может быть даже выше.

Выводы. Комплексный подход к повышению эксплуатационной надежности в судостроении требует совершенствования конструктивных мероприятий по обеспечению виброустойчивости судовых роторных систем. Для решения научно-прикладной проблемы повышения эффективности удержания валов СЭУ на протяжении жизненного цикла морского транспортного средства созданы теоретические основы разработки судовых роторных систем, реализующих процессы гидростатодинамического удержания осей и стабилизации колебаний валов, функционирующие на принципах управления положением шипов в зазорах опор скольжения путём перераспределения напряжений в гидродинамическом и гидростатическом смазочных слоях демпферных подшипников вследствие разбалансировки ротора под действием конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов.

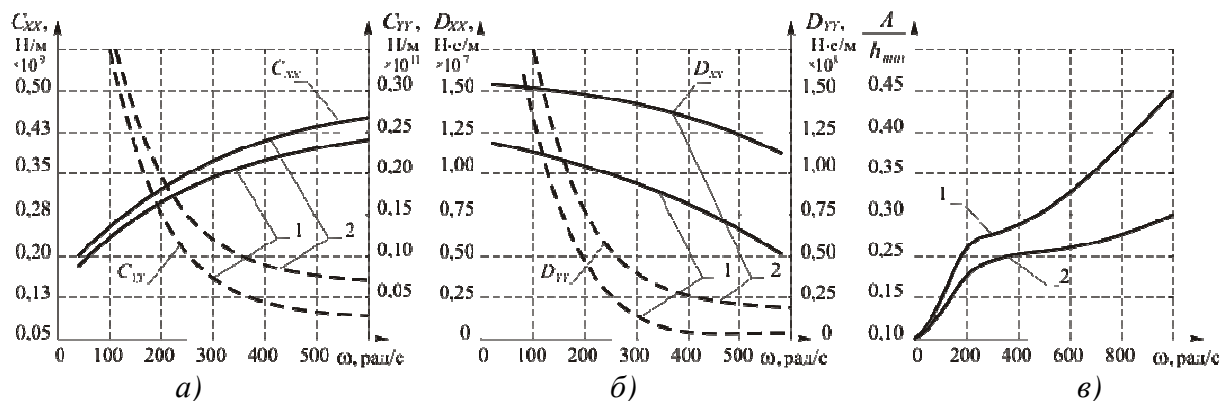


Рис.2. Сравнительный анализ коэффициентов жесткости (а), демпфирования (б) и относительных амплитуд колебаний ротора (в) судового турбоагрегата в радиальных гидродинамических (1) и гидростатодинамических демпферных (2) подшипниках (нагрузка на подшипник 15 кН, радиус цапфы вала 100 мм, масло Тп–46, радиальный зазор 0,2 и 0,12 мм, давление питания 0,14 и 0,19 МПа соответственно).

Приоритетным направлением дальнейших исследований является формирование концепции синтеза систем удержания и стабилизации жестких и гибких роторов в демпферных подшипниках с перспективой внедрения таких систем в транспортную, нефтегазодобывающую, электроэнергетическую и другие смежные отрасли экономики Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидорченко В. Ф. Морские катастрофы / В. Ф. Сидорченко.– СПб: Юридический центр Пресс, 2006. – 419 с.
2. Сборник характерных аварийных случаев на морском транспорте/ [Б. Т. Сверчков, Ю. И. Лелека, Ю. Ф. Стрижак и др.]; под ред. В. И. Щеголева.– СПб: ЦНИИМФ, 2007.– 124 с.

3. Гидростатические опоры роторов быстроходных машин: [монография] / [Н. П. Артёменко, А. И. Чайка, В. Н. Доценко и др.]– Харьков: Изд-во «Основа», 1992.– 197 с.
4. Максимов В. А. Трибология подшипников и уплотнений жидкостного трения высокоскоростных турбомашин: [монография] / В. А. Максимов, Г. С. Баткис.– Казань: Изд-во «ФЭН», 1998.– 428 с.
5. Гольдин А.С. Динамика роторных машин / А. С. Гольдин. – М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.
6. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / [Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун, Н. А. Буше]; под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
7. Савин Л. А. Моделирование роторных систем с подшипниками жидкостного трения: [монография] / Л. А. Савин, О. В. Соломин. – М.: Машиностроение, 2006. – 444 с.
8. Романовский Г. Ф. Динамика упорных подшипников скольжения судовых турбомашин: [монография] / Г. Ф. Романовский, Н. Я. Хлопенко.– Николаев: Нац. ун-т кораблестроения, 2007. – 140 с.
9. Романовский Г. Ф. Термогидродинамический расчёт подшипников скольжения судовых импульсивных комплексов в неспецификационных эксплуатационных условиях / Г. Ф. Романовский, А. Л. Кирюхин // Проблемы трибологии.– 2009. – №3 (53).– С. 62-71.
10. Childs D. Turbomachinery rotordynamics: phenomena, modeling and analysis / D. Childs.– New York: Wiley-Interscience, 1993. – 496 p.
11. Chen W. J. Introduction to dynamics of rotor – bearing system / W. J. Chen, E. J. Gunt. – Bloomington, USA: Trafford publ., 2005. – 482 p.
12. Muszynska A. Rotordynamics / A. Muszynska. – Raton, USA: CRC Press, 2005. – 128 p.
13. Genta G. Dynamics of rotating systems / G. Genta. – Berlin: Springer, 2005. – 658 p.
14. Gasch R. Rotordynamik / R. Gasch, R. Nordmann, H. Pfutzner. – Berlin: Springer, 2005. – 699 s.
15. Kudish I. I. Modeling and analytical methods in tribology / I. I. Kudish, M. J. Covitch. – Raton, USA: CRC Press, 2010. – 928 p.
16. Кирюхін О. Л. Удосконалення функціональних властивостей систем утримання та стабілізації валопроводів судових турбінних установок: : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.05.03 „Двигуни та енергетичні установки” / О. Л. Кирюхін. – Одеса, 2011.– 36 с.
17. Кирюхин А. Л. Методология научного исследования процессов удержания и стабилизации валов судовых турбинных установок / А. Л. Кирюхин // Сб. научн. тр. Академии ВМС. – Севастополь: АВМС, 2010. – Вып. 3 (3). – С. 142–150.

Kiryukhin A.L., Azhimov V.V.

STABILIZATION OF SHIP ROTOR SYSTEM VIBRATION

The conception of using of damper bearings for increasing of effectiveness of turbomachine shafts holding and stabilization during the lifecycle of marine vehicle is improved.

Key words: rotor system, vibration, sliding bearing, modeling.

Кирюхін О.Л., Ажимов В.В.

ВІБРОСТІЙКІСТЬ СУДНОВИХ РОТОРНИХ СИСТЕМ

Отримали подальший розвиток конструктивні заходи щодо забезпечення вібростійкості судових роторних систем. Обґрунтовано застосування демпферних підшипників для підвищення ефективності утримання та стабілізації валів турбомашин на протязі життєвого циклу морського транспортного засобу.

Ключові слова: роторна система, вібрація, підшипник ковзання, моделювання.