УДК 62-543.3

**КОНЦЕПЦИЯ МЕХАТРОННОГО РОТОРНО-ОПОРНОГО КОМПЛЕКСА С УПРАВЛЕНИЕМ ПО 5 КООРДИНАТАМ**

**Корнаев А.В., Казаков Ю.Н.**

*Россия, г. Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева*

*В работе представлен анализ современных подходов к созданию интеллектуальных роторных машин. Рассмотрен пример управления динамическими характеристиками роторно-опорних узлов с использованием коничсеких подшипников жидкостного трения. Представлена концепция подшипниковых узлов с целью уменьшения энергозатрат на выполнение управления.*

***Ключевые слова:*** *роторные машины, подшипник жидкостного трения, управление характеристиками ротора.*

Концепция сегодняшнего мира складывается из того что все сферы работают на минимизацию потерь в том или ином их проявлении. Сохранение энергии стало ключевым движущем факторам многих областей и сфер жизни. Уменьшение затрат времени и действий с целью сохранения энергии на совершение какого либо действия сейчас является определяющим фактором при выборе того или иного предложения. Инженерная деятельность не является исключением. Сегодня большое внимание уделяется системам с интеллектуальным управлением которые зачастую включают в методы искусственного интеллекта. Интеллектуализация систем в роторных машин сейчас является обширной и часто затрагиваемой областью. Ее применение позволяет решать такие проблемы как адаптивное изменеение динамических характеристик опорных узлов, коэффициентов жесткости и демпфирования, в процессе работы, уменьшение износа оборудования, минимизация потерь мощности на трение. Затрагиваемые проблемы связаны с энергозатратами. Для их решения существует несколько проверенных путей решения: использование информационно-измерительных систем, использование магнитного подвеса, который позволяет минимизировать трение и осуществлять управление положением ротора, использование различного рода покрытий опор жидкостного трения. Наиболее распространенным решением проблем связанных с энергозатратами является использование информационно-измерительных систем (ИИС), сравнительный анализ таких систем представлен в работе [1]. Авторами установлено что наиболее эффективными являются системы измерения уровня вибрации в подшипниковых узлах. В работах [2-4] рассмотрено адаптивное управление магнитными подшипниками в реальном времени. В [2] авторами представлены несколько типов регуляторов, способных осуществлять управление опорными узлами. В работе [3] рассмотрено управление активными магнитными подшипниками высокоскоростных роторов, авторами разработана модель прогностического управления, на базе контроллера. В работе [5] представлен способ улучшения характеристик подшипников газовой смазки. Для этой цели используются различные покрытия подшипников.

Описаные выше методы позволяют решать задачу минимизации энергии или в узком диапазоне или с использованием оборудования высокой стоимости. В представляемой работе рассматривается применение мехатронных систем на основе конических подшипников жидкостного трения для осуществления регулировки динамических характеристик опорного узла и одновременного управления перемещения ротора по нескольким координатам.

Близкой работой можно считать [6]. В работе представлена концепция мехатронного роторно опорного комплекса с коническим подшипником жидкостного трения (рисунок 1). На рисунке 1 представлен ротор на двух опорах жидкостного трения цилиндрической и конической.



***Рисунок 1 – Роторно-опорный комплекс на подшипниках жидкостного трения.***

В данной компановке возможно осуществлять управление ротором путем регулирования давления жидкости в подшипниковых узлах, изменяя давление торцевой подачи, возникают силы, которые заставляют сдвигаться ротор в осевом направлении всвязи с чем возникает изменение величины зазора (рисунок 2 (а)).



***Рисунок 2 – Конический подшипник скольжения***

*а) изображение изменения величины смазочного слоя при осевом смещении*

*б) обозначение радиальных координат ротора*

Толщина смазочного слоя является определяющей, когда речь идет о роторных системах на пошипниках жидкостного трения и вычисляется по формуле:

$h=h\_{0}+z\sin((α/2)),$ (1)

где $h\_{0}$ – средний зазор, z – осевое смещение, $α$ – угол конусности.

Имея возможность регулирования величины зазора возможно не только изменение динамических характеристик ротора, но и также осуществляется управление по 3 координатам одновременно: по 2 радиальным и 1 осевой (рисунок 2 (б)), при этом управление происходит только по осевой координате. На рисунке 3 представлен ротор на двух конических опорах.



***Рисунок 3 – Ротор на двух конических подшипниках жидкостного трения***

Внедрение второй конической опоры позволяет осуществлять регулирование в двух опорах одновременно. В такой компоновке изменение зазора смазочного слоя происходит в двух подшипниковых узлах одновременно по формуле (1). Изменение величины зазора смазочного слоя в двух опорах говорит о том, что управление системой осуществляется по 5 координатам вместо 3 как в концепции установки представленной выше. На рисунке 4 представлена структурно-функциональная схема роторно-опорного комплекса на конических опорах жидкостного трения.



***Рисунок 4 – Структурно-функциональная схема роторно-опорного комплекса на 2-ух конических опорах жидкостного трения***

Информационно-измерительная система и система управления основаны на базе оборудования National Instruments. Управление осуществляется за счет изменения степени открытия сервоклапанов (СК) тем самым регулируется давление жидкости в подшипниковых узлах (ПУ). За счет перепада давления можно добиться смещения ротора по осевой координате, смещение возможно за счет внедрения в систему подвижной муфты, степень смещения контролируется датчиком перемещения (ДП) также как и перемещение ротора по двум координатам. Датчики давления (ДД) контролируют давление создаваемое жидкостью в подшипниковых узлах. Управление скоростью вращения двигателя осуществляется автоматически за счет управляющего сигнала подаваемого на частотный преобразователь (ПБ).

В результате работы была представлена концепция роторно-опорного комплекса на конических подшипниках жидкостного трения и способ управления пятью координатами ротора при помощи осевого смещения. Внедрение в структуру роторно-опорного комплекса второго конического подшипника позволяет повысить центрирование вала и осуществлять контроль динамическими характеристиками ротора. Смещение будет возможным при наличии подвижной муфты, что усложняет структуру установки.

***Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РНФ №16-19-00186 «Планирование оптимальных по расходу энергии траектории движения роторов мехатронных модулей в средах сложной реологии» Авторы выражают благодарность фонду за оказанную поддержку.***

Список литературы

1. Stanisław Adamczak, Krzysztof Stępień, Mateusz Wrzochal “Comparative study of measurement systems used to evaluate vibrations of rolling bearings. [Text]” Procedia Engineering ,vol 192, pp. 971 – 975, 2017

2. Takeshi Mizuno “TRANSFER FUNCTION CHARACTERIZATION OF OUTPUT REGULATION CONTROL IN ACTIVE MAGNETIC BEARINGS. [Text]” 14th World Congress of IFAC

3. Jie Zhao, Hai-Tao Zhang, Ming-Can Fan, Yue Wu, Huan Zhao “Control of a Constrained Flexible Rotor on Active Magnetic Bearings. [Text]” IFAC PapersOnLine 48-28, pp 156–161, 2015

4. Toma - Leonida Dragomir, Ioan Silea “CONTROL PROBLEMS RELATED TO A BALANCING MACHINE WITH MAGNETIC BEARINGS. [Text]” IFAC Large Scale Systems: Theory and Applications, Bucharest, Romania. 2001

5. A. Minaev, R. Сhizhikov, O. Portnova “Multifunctional Coatings for Gas-Lubricated Bearings Used in Marine Equipment” [Text] Procedia Engineering, vol 206, pp. 746–751, 2017

6. Казаков, Ю.Н. Концепция мехатронного роторно-опорного комплекса с управляемыми характеристиками ротора на основе конического подшипника жидкостного трения [Текст] / Ю.Н. Казаков, А.В. Корнаев // Юность и знания – гарантия успеха – 2020. – М., 2020. – С.194 – 200.

**Корнаев Алексей Валерьевич**, док. тех. наук, доцент кафедры мехатроники, механики и робототехники ОГУ имени И.С. Тургенева, е-mail: rusakor@inbox.ru

**Казаков Юрий Николаевич**, студент ОГУ имени И.С. Тургенева, e-mail: KazakYurii@yandex.ru

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**THE CONCEPT OF A MECHATRONIC ROTARY-SUPPORTING COMPLEX WITH 5 COORDINATE CONTROL**

**Kornaev A.V., Kazakov Yu.N.**

*Russia, Orel,* *Orel State University named after I.S. Turgenev*

*The paper presents an analysis of modern approaches to the creation of intelligent rotary machines. An example of controlling the dynamic characteristics of rotary support units using liquid-friction tapered bearings is considered. The concept of bearing units is presented in order to reduce energy consumption for control.*

***Keywords:*** *rotary machines, liquid friction bearing, control of rotor characteristics.*

Bibliography

1. Stanisław Adamczak, Krzysztof Stępień, Mateusz Wrzochal “Comparative study of measurement systems used to evaluate vibrations of rolling bearings. [Text]” Procedia Engineering ,vol 192, pp. 971 – 975, 2017

2. Takeshi Mizuno “TRANSFER FUNCTION CHARACTERIZATION OF OUTPUT REGULATION CONTROL IN ACTIVE MAGNETIC BEARINGS. [Text]” 14th World Congress of IFAC

3. Jie Zhao, Hai-Tao Zhang, Ming-Can Fan, Yue Wu, Huan Zhao “Control of a Constrained Flexible Rotor on Active Magnetic Bearings [Text].” IFAC PapersOnLine 48-28, pp 156–161, 2015

4. Toma - Leonida Dragomir, Ioan Silea “CONTROL PROBLEMS RELATED TO A BALANCING MACHINE WITH MAGNETIC BEARINGS. [Text]” IFAC Large Scale Systems: Theory and Applications, Bucharest, Romania. 2001

5. A. Minaev, R. Сhizhikov, O. Portnova “Multifunctional Coatings for Gas-Lubricated Bearings Used in Marine Equipment [Text]” Procedia Engineering, vol 206, pp. 746–751, 2017

6. Kazakov, Yu.N. Concept of a mechatronic rotor-support complex with controlled rotor characteristics based on a conical liquid friction bearing [Text] / Yu.N. Kazakov, A.V. Kornaev // Youth and knowledge-a guarantee of success – 2020. – М., 2020. – p.194 – 200.

**Kornaev Alexey Valerievich**, Doctor of Technical Science, Associate Professor at the Department of мechatronics, mechanics and roboticsOrel State University named after I.S. Turgenev, е-mail: rusakor@inbox.ru

**Kazakov Yuri Nikolaevich**, Student Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, e-mail: KazakYurii@yandex.ru