

ТУРБОКОМПРЕССОР С ГАЗОМАГНИТНЫМИ ПОДШИПНИКАМИ ДЛЯ СИСТЕМ НАДДУВА ДВС

THE TURBOCHARGER WITH GAS-MAGNETIC BEARINGS FOR SUPERCHARGING SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Prof., Cand. Tech. Sc. Smirnov V.V., Ass. Prof., Cand. Tech. Sc. Smirnov A.V.,
Prof., Doct. Tech. Sc. Kosmynin A.V., Ass. Prof., Cand. Tech. Sc. Khvostikov A.S.
Komsomolsk-on-Amur state technical university, Komsomolsk-on-Amur, Russia
email: avs1978@bk.ru

Abstract: *One of directions of development of internal combustion engines is to improve supercharging systems. Among the various supercharging systems the most interest turbocharging. Its main element – the turbocharger is characterized by various abnormalities and failures, which can lead to, including, and deviations in the work of the bearing unit. To improve the reliability and efficiency of the turbocharger interesting is the use of in its design contactless bearings – gas-magnetic bearing.*

KEYWORDS: SUPERCHARGING SYSTEM, TURBOCHARGER, FAILURES, GAS-MAGNETIC BEARING, PERSPECTIVE

1. Введение

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) сегодня занимают значительную нишу в области использования тепловых двигателей. И в обозримой перспективе ДВС остаются основным видом привода, особенно для транспортной энергетики [1,2,3].

Развитие ДВС в настоящее время происходит по нескольким направлениям, одним из которых является совершенствование систем наддува и, в частности, систем турбонадува. В свою очередь, системы турбонадува развиваются по следующим основным направлениям:

- регулирование пропуска воздуха и/или отработавших газов двигателя;
- исследование различных компоновок системы (последовательная или параллельная работа ТК, отключаемые ТК, дополнительные камеры сгорания и т.п.);
- совершенствование конструктивных элементов ТК (регулируемые лопаточные аппараты, подшипниковые узлы и т.д.);
- исследование вопросов совместной работы двигателя и ТК.

Система наддува оказывает существенное влияние на эффективные показатели ДВС, поэтому исследование и совершенствование как системы в целом, так и ее элементов является актуальной задачей.

2. Статистика отказов ТК

Одним из ключевых элементов системы турбонадува является турбокомпрессор (ТК). Особый интерес представляет исследование и совершенствование такого элемента ТК как подшипниковый узел, так как он способен значительно влиять на надежность и эффективность работы ТК, а следовательно, и всего двигателя. Для подтверждения важности этого вопроса рассмотрим статистику отказов по элементам ТК, в том числе и по подшипникам.

Интересна информация источника [4], в котором приводятся данные Регистра Ллойда, являющегося одним из ведущих международных классификационных обществ, устанавливающих технические правила и инструкции для классификации судов и установленного оборудования, включая двигатели и турбокомпрессоры. На основе данных этого источника отказы по элементам ТК распределяются примерно следующим образом: сопловой аппарат – от 6 до 10 %, колесо компрессора ≈ 7 %, корпус турбины – от 8 до 11 %, лопатки турбины – от 9 до 12 %, подшипники компрессора и турбины – от 10 до 12 %, ротор – от 14 до 16 %. В статистику вошли данные по двухтактных и четырехтактным главным двигателям.

В работе [5] приводятся результаты статистических исследований причин отказов основного оборудования систем, обслуживающих судовые дизели различных конструктивных модификаций. Среди обследуемых нагнетателей были VTR 631/1, T680G, T540E, T680O. Виды отказов распределяются примерно следующим образом: трибологические отказы ≈ 52 %, отказы по параметрам прочности ≈ 28 %, отказы по параметрам коррозии ≈ 20 %. Для обследованных типов ТК коэффициент отказов отдельных узлов составил: газовыпускной корпус – 0,44; сопловой аппарат – 0,23; лопатки ротора – 0,16; подшипники скольжения – 0,11; лабиринтные уплотнения – 0,06.

Результаты обширного статистического анализа по отказам ТК судовых дизель-генераторов приводятся в работах [6,7]. Было обследовано 24 ТК типа VTR250 (VTR200), 30 – типа ТК23H, 12 – типа N3 [6,7]. Распределение отказов по элементам ТК примерно следующее:

1) ТК типа VTR250: подшипники ≈ 53 %, корпус ≈ 21 %, ротор ≈ 11 %, рабочее колесо компрессора ≈ 8 %, сопловой аппарат ≈ 6 %;

2) ТК типа ТК23H: уплотнения ≈ 43 %, корпус и сопловой аппарат ≈ 20 %, подшипники ≈ 14 %, ротор ≈ 13 %, колесо турбины ≈ 10 %;

3) ТК типа N3: турбина ≈ 30 %, компрессор ≈ 21 %, уплотнения ≈ 19 %, корпус турбины ≈ 14 %, ротор ≈ 9,5 %, подшипник ≈ 4,5 %.

Таким образом, представленные статистические данные из различных источников показали, что основными узлами и элементами ТК, выходящими из строя, являются: подшипники, уплотнения, ротор и корпус.

Причины, приводящие к выходу из строя указанных элементов, могут быть различными и хорошо описываются в разных источниках. Рассмотрим только работу подшипниковых узлов ТК.

3. Причины повреждений подшипников ТК

В настоящее время в конструкциях ТК применяют подшипники качения и скольжения (с преобладанием последних). Причинами повреждений подшипников являются: несоответствие ресурса действительным условиям работы; загрязнение лабиринтовых уплотнений; низкое качество сборки ТК и подшипниковых узлов, разбалансировка ротора, срез фиксирующих выступов демпферных колец; разрушение сепаратора подшипника, первоначальный дефект, обрыв стопора пяты, износ упорной шайбы; выплавление вкладышей, набои на беговых дорожках, возможное воздействие вибрации [5,6,7]. Особенно хочется подчеркнуть проблемы, связанные с применением масляной системы смазки. Эта информация широко представлена на сайтах многих фирм, занимающихся

производством, продажей и ремонтом ТК. К поломке ТК может привести загрязненное масло, недостаточная смазка, химическое загрязнение и разложение масла, выброс масла в компрессор или турбину. Эти факторы могут привести к коксованию масла, абразивному износу и перегреву пар трения, нарушению работы уплотнений, химической коррозии и т.д.

Таким образом, существует необходимость совершенствования подшипниковых узлов ТК.

4. Бесконтактные подшипники ТК

Одним из решений, позволяющим уйти от недостатков в работе подшипников ТК и предотвратить ряд поломок, является применение бесконтактных подшипников. Под бесконтактными подразумеваются подшипники с малыми потерями на трение – газовые, магнитные и их комбинации.

Применение бесконтактных опор позволяет не только исключить масляную систему смазки, которая оказывает существенное влияние на надежность работы ТК, но и повысить механический КПД и маневренность ТК. В целом, система наддува с ТК на бесконтактных опорах позволяет повысить ее надежность и продлить ресурс, а также улучшить приемистость двигателя.

Для оценки состояния вопроса в области применения бесконтактных опор в конструкциях ТК систем наддува ДВС был выполнен обзор патентных источников и научно-технической информации. Анализ найденных источников показал, что из всего объема работ примерно 70 % посвящено газовым опорам, 7 % – магнитным, 2 % – газомангнитным и 21 % – перспективам использования газовых и магнитных подшипников в ТК.

Среди газовых опор, применяемых в ТК, можно выделить следующие: по принципу действия – газодинамические, газостатические, гибридные; по конструкции – цилиндрические, сферические, с самоустанавливающимися вкладышами, в виде диска (подпятника); по восприятию усилий – осевые и радиальные; по способу подачи газовой смазки в рабочий зазор – с питателями, пористые, с подачей смазки в осевом направлении с торцов втулки подшипника.

Из магнитных опор в ТК применяются подшипники с постоянными магнитами и с электромагнитами, как радиальные, так и осевые.

Но самое интересное, что среди всех найденных работ практически нет таких, которые бы описывали конкретные результаты применения бесконтактных подшипников. Только в двух работах встречается описание результатов экспериментов, и то только для газовых подшипников.

5. Перспективы применения в ТК газомангнитных подшипников

Несмотря на определенные преимущества газовых и магнитных подшипников по сравнению с подшипниками качения и гидроопорами, они обладают рядом недостатков. Эти недостатки в общем можно свести к следующему. И газовые, и магнитные подшипники имеют относительно невысокую несущую способность и склонность к потере устойчивости при возникновении вибрации, что неизбежно на работающем двигателе. Магнитные подшипники, а иногда и газовые, страхуются подшипниками качения или скольжения на случай их отказа, что приводит к усложнению конструкции. Также в магнитном поле взвешенное тело находится в неустойчивом положении.

Тем не менее, применение в турбокомпрессорах бесконтактных опор с малыми потерями на трение имеет перспективу. Решением, позволяющим улучшить характеристики бесконтактных опор и частично устранить их недостатки, является применение комбинированных опор –

газомангнитных подшипников. Такие подшипники имеют большую несущую способность, лучше демпфируют колебания и стабилизируют вращение ротора. При этом можно отказаться от страховочных подшипников, так как страховкой магнитному подшипнику будет газовая смазка.

Конструкция ТК с газомангнитной опорой была предложена в работе [8]. Но для традиционных ТК эта конструкция не применима, так как в ней отсутствует турбинное колесо для привода компрессора, а вал в середине имеет конический участок с соответствующей формой подшипника, который обеспечивает компенсацию усилий только в одном направлении.

Интересным представляется разработка и исследование ТК с газомангнитным подшипниковым узлом, компенсирующим радиальные и осевые усилия во всех направлениях. Исследованиями в этой области в настоящее время занимаются в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете. Разработана соответствующая конструкция подшипникового узла.

6. Заключение

В результате проведенного обзора и анализа можно сделать следующие выводы:

- 1) одним из направлений развития ДВС является совершенствование системы турбонаддува и, в частности, ТК;
- 2) на эффективность работы ТК может существенно влиять надежность подшипникового узла, который по статистике является одним из основных элементов ТК, приводящим к отказам в работе;
- 3) решением, позволяющим повысить надежность подшипникового узла и эффективность работы ТК, является применение бесконтактных опор – газовых и магнитных;
- 4) среди бесконтактных опор определенный интерес представляет газомангнитный подшипник, который сохраняет преимущества газовых и магнитных опор при частичном устранении их недостатков.
- 5) исследования в области применения газомангнитных подшипников в конструкциях ТК ДВС проводятся в настоящее время в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете.

7. Литература

1. Наддув бензиновых и дизельных ДВС // Vor dem Elektroantrieb kommt die Aufladung von Benzin-und Dieselmotoren. VDI-Nachr. – 2011. – № 30-31. – С.19.
2. Жуков, В.А. Поршневые двигатели внутреннего сгорания: перспективы использования и совершенствования / В.А. Жуков // Справ. Инж. ж. – 2010. – № 11. – С.46-50.
3. Кусака Дзин. Прогноз развития ДВС / Кусака Дзин // Meiden jiho=Meiden Rept. – 2007. – №316. – С.2-5.
4. Ципленкин Г.Е., Иовлев В.И. Данные Регистра Ллойда по отказам турбокомпрессоров на дизелях морского флота // Двигателестроение, 2012, №1, С.27-29.
5. Башуров Б.П., Балякин А.В. Причины отказов основного оборудования некоторых систем судовых дизелей и пути повышения их работоспособности // Двигателестроение, 2001, №3, С. 18-22.
6. Николаев Н.И., Савченко В.А. Современное состояние и техническая эксплуатация турбонаддувочных агрегатов: Монография. – СПб.: Судостроение, 2005.- 114 с.
7. Николаев Н.И. Повышение эффективности и надежности турбокомпрессоров судовых двигателей в эксплуатации: монография.- СПб: Судостроение, 2009.- 230 с.
8. Авторское свидетельство № 1746069 СССР МПК F04D25/06; опубл. 07.07.92, бюл. № 25.