

УДК 621.432, 621.4-027.21

**Ю.В. Киселев**

канд. техн. наук, доц. СГАУ,  
тел.: +7 846 267-43-26,  
e-mail: zamivt@ssau.ru

**Д.М. Бибишев**

студент СГАУ,  
тел.: +7(917)153-03-29,  
e-mail: bibishevdima@rambler.ru

**Д.С. Кругомов**

студент СГАУ,  
тел.: +7(937)996-96-88,  
e-mail: horatiokane@rambler.ru

**В.В. Кошелев**

студент СГАУ,  
тел.: +7(927)217-49-32,  
e-mail: akira65@rambler.ru

**А.Ю. Слинко**

студент СГАУ,  
тел.: +7(917)118-25-80,  
e-mail: slinko89@gmail.com

**ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ  
В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Аннотация.** Данная статья посвящена диагностике двигателей внутреннего сгорания в эксплуатации. Рассмотрены как поршневые, так и газотурбинные двигатели. Раскрываются задачи технической диагностики и контролепригодности. Описываются методы и средства контроля

технического состояния объектов исследования в процессе их эксплуатации.

**Ключевые слова:** диагностика, контролепригодность, поршневые двигатели, газотурбинные двигатели.

### **Введение**

Основной задачей технической диагностики является распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации. Анализ состояния проводится в условиях эксплуатации, при которых получение информации крайне затруднено. Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений. Решение диагностической задачи (отнесение двигателя к исправным или неисправным) всегда связано с риском ложной тревоги или пропуска дефекта. Решение задач технической диагностики всегда связано с прогнозированием надежности на ближайший период эксплуатации (до следующего технического осмотра). Не менее важным направлением технической диагностики является теория контролепригодности. Контролепригодностью называется свойство изделия обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей отказов. Контролепригодность создается конструкцией изделия и принятой системой технической диагностики. Первой задачей теории контролепригодности является изучение средств и методов получения диагностической информации.

### **Диагностика поршневых двигателей**

Во время эксплуатации двигатель изнашивается, при этом снижаются мощность и надежность его работы, а также экономичность. При значительном изнашивании появляются стуки во время работы двигателя, он дымит, возможны поломки деталей и авария.

В связи с этим необходимо систематически контролировать техническое состояние двигателя, а в целях повышения экономичности его работы и продления срока службы – своевременно проводить регулировки или замену изношенных деталей. В то же время опыт показал, что преждевременная разборка двигателя с целью проверки технического состояния или замены отдельных деталей вредна. При этом нарушается приработка деталей, что сокращает срок службы двигателя в целом, без достаточного основания расходуются дорогостоящие запасные части, непроизводительно затрачивается труд и увеличиваются простои автомобилей [1].

Технически исправный двигатель должен устойчиво работать на холостом ходу, при полном открытии дросселя развивать полную мощность, не перегреваться, не дымить и не пропускать масло через уплотнения.

Наибольшему износу в двигателе подвергаются цилиндры, поршневые кольца, поршни, коленчатый вал и подшипники. По техническому состоянию этих деталей и определяется возможность дальнейшей эксплуатации двигателя или потребность в ремонте.

Для серьезного ремонта поршневого двигателя необходимо правильно провести его диагностику, желательно без радикальной разборки [5].

Диагностику механизмов двигателя без его разборки можно провести следующими основными способами.

1. Диагностика с помощью приборов. При приборном методе диагностики применяются следующие измерительные приборы: компрессор для измерения компрессии и манометр для измерения давления в масляной магистрали.

Масляной манометр поможет оценить общее состояние шатунных коренных шеек коленчатого вала, масляного насоса и всех сопряжений, в

которые при работе двигателя поступает под давлением масло. Замер проводится путем прямого введения наконечника манометра в масляную магистраль.

Компрессор используется для оценки состояния цилиндрово-поршневой группы и герметичности между клапаном и седлом. Компрессор позволяет сделать оценку состояния деталей только косвенно – по величине максимального давления, которое нагнетается воздухом в цилиндры. Прибор покажет то или иное давление в зависимости от износа или поломки двигателя [4].

2. Метод анализа акустических шумов. Этим способом можно на слух определить непосредственно на работающем двигателе состояние большинства сопряжений. Анализируя полученные результаты, нужно учесть разную скорость вращения основных валов двигателя. Прослушивание шумов в двигателе можно проводить с помощью приспособления, которое представляет собой медицинский стетоскоп с механическим датчиком. Двигатель нужно прослушивать в холодном и полностью прогретом состоянии, а также на разных оборотах. Изменение оборотов с разной динамикой даст возможность более правильно проанализировать характер шумов.

3. Диагностика по состоянию выхлопа. Этот метод позволяет достаточно точно определить состояние двигателя. Оценка проводится визуально по цвету выхлопных газов, который может изменяться от чёрного до белого. Если из выхлопной трубы появляется черный дым, то это указывает на неполное сгорание топлива. А если из выхлопной трубы появился белый дым, который усиливается при нагрузке двигателя, это указывает на то, что в цилиндры двигателя попала охлаждающая жидкость.

4. Диагностика по состоянию свечей зажигания. Это очень простой способ, помогающий получить достаточно точные результаты при

небольших затратах на диагностику. О нормальной работе двигателя говорит светло-коричневый или сероватый налет на свече, это означает, что она находится в правильном тепловом режиме при любых оборотах двигателя. Такой характерный цвет отложений на ней указывает на хорошее состояние системы зажигания, питания двигателя и цилиндрово-поршневой группы [2].

Более точный результат можно получить при применении одновременно всех перечисленных методов с сопоставлением полученных результатов.

### **Диагностика газотурбинных двигателей**

Газотурбинные двигатели (ГТД) различных типов, как объекты контроля, обладают рядом особенностей, требующих специального подхода к их контролю и диагностированию.

Выделим общие особенности ГТД, как объекта диагностирования.

1. ГТД представляют собой комплексы, состоящие из большого числа взаимосвязанных газодинамических, механических, гидравлических, пневматических, электрических и электронных и других элементов.

2. Исходное множество параметров, определяющих техническое состояние ГТД, практически бесконечно.

3. Процессы, протекающие в системах ГТД многообразны, взаимосвязаны и случайны, что затрудняет выделение детерминированных причинно-следственных связей между техническим состоянием объектов контроля и значениями параметров.

4. Значения параметров ГТД зависят не только от их технического состояния, но и от режима работы и внешних условий.

5. Активные методы контроля, основанные на подаче стимулирующих сигналов в объект контроля, для многих систем силовых установок, особенно в полете, практически неприменимы.

6. В системах АД в большинстве случаев необходима постановка специальных датчиков-преобразователей неэлектрических величин в электрические, что требует при выборе контролируемых параметров проведения анализа возможности выполнения измерений.

В числе особенностей конструкции ГТД наземного применения, влияющих на организацию систем диагностирования, можно выделить следующие:

- использование топливного газа вместо керосина;
- применение ТНД для привода внешних устройств – нагнетателя или электрогенератора, вместо вентилятора (КНД) авиационного двигателя, являющегося частью двигателя;
- упрощение доступа к деталям газогенератора для выполнения осмотров в случае отсутствия наружного контура;
- применение в маслосистеме маслобака большого объема, сдвоенных выносных маслофильтров, мощных теплообменников с автоматической системой управления, устройства подогрева масла на запуске; масляные сигнализаторы стружки (МСС), выдающих электрический сигнал в систему автоматического управления и участвующих в логике вынужденных или аварийных остановов ГТД.

Особенности режимов работы наземных ГТД:

- продолжительность цикла непрерывной работы от запуска до останова – 1500...3000 ч;
- для ГТД, работающих в составе электростанций, частое изменение нагрузки потребителя электрического тока в случае применения в условиях городской или поселковой системы электропитания, что затрудняет выбор установившегося режима для оценки параметров;
- интенсивное загрязнение проточной части атмосферным воздухом, ухудшающее параметры ГТД.

Таким образом, основные системы диагностирования, применяемые на наземных ГТД, должны быть стационарными и включать:

- систему параметрической диагностики;
- систему вибродиагностики;
- систему трибодиагностики;
- перспективные системы диагностики (например, электростатическая, по анализу выхлопных газов и т.д.).

Прочие методы оценки технического состояния могут использоваться лишь как дополнительные или периодические. Это относится к визуально-оптическим осмотрам, ультразвуковому, люминесцентному, токовихревому контролю.

В зависимости от физической природы диагностических параметров и способа их измерения различают **физические** и **параметрические** методы диагностирования [3].

**Физические методы** основаны на использовании различных физических явлений, сопутствующих работоспособному или неработоспособному состоянию объекта.

К физическим методам относятся:

1) методы неразрушающего контроля (МНК), а именно следующие методы: оптико-визуальный, капиллярный, магнитного контроля, вихревых токов, ультразвуковой, радиационный;

2) метод диагностирования узлов трения по накоплению продуктов износа в масле;

3) тепловые методы, основанные на анализе теплового (инфракрасного) излучения элементов, деталей или всего объекта;

4) виброакустические методы контроля и диагностики, которые основаны на анализе характеристик шума и вибрации изделий.

**Параметрические методы** основаны на измерении диагностических параметров, которые напрямую связаны с

функциональным назначением объекта, а в ряде случаев непосредственно характеризует его техническое состояние. Для ГТД к параметрическим методам, в первую очередь, относятся методы, основанные на измерении термогазодинамических параметров, к которым относятся: давление, температура, отношение давлений и температур, скорость течения, расход топлива и масла, проходные площади сечений проточной части, тяга, а также частота вращения роторов.

В последнее время стали рассматриваться новые методы. Например, метод электростатического диагностирования газо-воздушного тракта ГТД. Метод основан на регистрации разности потенциалов, возникающей между чувствительным элементом электростатического датчика и корпусом ГТД в результате выноса газовым потоком заряженных частиц, образующихся при прогарах и поломках элементов конструкции, эрозионном износе газового тракта, частиц конденсированной фазы продуктов сгорания топлива, а также песка и частиц воды. Утверждается, что этот метод единственный практически реализуемый метод выявления начальной стадии процесса разрушения элементов проточной части работающих ГТД.

Указанный широкий спектр методов технической диагностики используется для определения технического состояния на всех этапах жизненного цикла авиационных ГТД.

По статистическим данным, предоставленным эксплуатирующими предприятиями, заводами производителями и ремонтными заводами можно говорить о том, что 56,8% дефектов определяется визуально при техническом обслуживании, 30% – по функциональным параметрам, 8,5% – при отказе, 3,2% – методами неразрушающего контроля и 1,5% при выполнении регламентных работ.

Однако для двигателей наземного применения соотношение следующее: визуально при ТО – 49%, по функциональным параметрам – 38,6%, при отказе – 11,5%, при выполнении регламентных работ – 0,9%.

Согласно приведенной статистике наибольшее количество отказов и неисправностей выявляется визуально-оптическим методом. Но для наземных ГТД важную роль начинает играть методы диагностики по функциональным параметрам [6].

### **Автоматизированная система диагностирования (АСД)**

предназначена для непрерывного контроля технического состояния объекта диагностирования – приводным двигателем наземного применения.

Система базируется на обработке штатных параметров двигателя в реальном масштабе времени в персональном компьютере, связанном локальной сетью с системой управления ГПА. Обработка параметров ведется по алгоритмам диагностирования, позволяющим оценивать техническое состояние проточной части двигателя, систем двигателя и его вибросостояние, определять неисправные узлы двигателя, а также проводить прогнозирование аномальных изменений в двигателе.

Система автоматически формирует диагностические сообщения при недопустимых отклонениях параметров и характеристик двигателя и выдает рекомендации эксплуатирующему персоналу по дальнейшей эксплуатации двигателя. В базе данных системы хранится информация по параметрам и характеристикам двигателя за длительный период эксплуатации, а также ретро-информация за определенные промежутки времени перед остановом двигателя.

**Основные функции, выполняемые системой.** АСД осуществляет:

– прием и сохранение исходной информации, вводимой оператором из формуляра двигателя и о проведенных работах на двигателе;

- прием аналоговых и дискретных параметров из микропроцессорной системы контроля и управления (МСКУ), используемых для диагностирования двигателя, с частотой 1 Гц;
  - формирование признака работающего двигателя;
  - формирование признаков установившихся режимов работы двигателя;
  - математическую обработку поступающей информации, включающую отбраковку, осреднение, аппроксимацию, тренд-анализ и прогнозирование;
  - контроль предельных значений параметров, сигналов аварийного состояния и неправильного функционирования систем и узлов;
  - контроль вибросостояния;
  - диагностирование маслосистемы;
  - контроль выполнения программы регулирования и диагностирование системы регулирования;
  - диагностирование проточной части;
  - диагностирование системы измерений;
  - формирование рекомендаций по обнаружению неисправностей и проведению необходимых работ;
  - тестирование программ (по команде);
  - формирование и автоматическую выдачу на монитор и печать диагностических сообщений;
  - формирование и выдачу на монитор и печать по запросу информации (в том числе графической), формируемой автоматически для каждого диагностического сообщения;
  - автоматическое сохранение (архивирование) информации с глубиной хранения от 10 с. и до всего времени эксплуатации двигателя.
- Форма, объем и глубина хранения информации определяются автоматически в зависимости от диагностического сообщения;

- копирование информации на внешние носители;
- формирование и печатание суточной ведомости контроля и диагностирования.

**Состав АСД.** В состав АСД входят:

- ПЭВМ не ниже Pentium;
- монитор;
- печатающее устройство (принтер);
- линии (кабель) связи АСД с МСКУ по локальной сети;
- программное обеспечение;
- дистрибутивы программного обеспечения;
- техническое описание АСД;
- руководство для работы с АСД и по ее обслуживанию.

## **Выводы**

1. Для обеспечения надежной и безотказной работы ГТД требуется наличие развитой системы технической диагностики, основанной на сочетании определенного многообразия специальных, в том числе принципиально новых, методов и средств диагностирования, которые призваны обеспечить заданное достоверное распознавание состояний, в необходимых случаях с локализацией неисправностей с требуемой глубиной (до узла, конструктивного элемента, блока и т.д.) в условиях эксплуатации, а также прогнозирование работоспособности двигателей на требуемый период наработки.

2. Статистика применения различных методов диагностики показывает, что обнаружение отказов и неисправностей ГТД происходит чаще всего методами неразрушающего контроля. Это характерно в первую очередь для авиационных ГТД. Для этих двигателей наиболее «работающим» методом, с помощью которого обнаруживается наибольший процент отказов и неисправностей, является визуально-

оптический метод. Методы трибодиагностики также позволяют выявить большое количество отказов и неисправностей.

3. Для ГТД наземного применения системы диагностирования должны строиться по стационарному принципу с реализацией в первую очередь следующих методов диагностики:

- методы диагностики по термогазодинамическим параметрам;
- методы вибродиагностики;
- методы трибодиагностики.

Прочие методы оценки технического состояния, при их возможной реализации исходя из особенностей конструкции и условиям эксплуатации, могут использоваться лишь как дополнительные или периодические.

### **Литература**

1. Барашков И.В. Организация технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1966. 122 с.
2. Говорушенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1970. 252 с.
3. Киселев Ю.В. Основы теории технической диагностики: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. ун-та, 2004. 138 с.
4. Крамаренко Г.В. Техническое обслуживание автомобилей: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1968.
5. Мирошников Л.В. Диагностика технического состояния автомобилей: учеб. для вузов. М., Высшая школа, 1967. 128 с.
6. Научно-технический отчет «Разработка методологии контроля и диагностирования технического состояния ГТД в процессе доводки». Самара, 2012. 132 с.

## References

1. Barashkov I.V. Organizacija tehničeskogo obslužhivanija i tekushhego remonta avtomobilej, Moscow, Transport, 1966, 122 p.
2. Govorushenko N.Ja. Diagnostika tehničeskogo sostojanija avtomobilej, Moscow, Transport, 1970, 252 p.
3. Kiselev Ju.V. Osnovy teorii tehničeskoy diagnostiki, Samara, Samar. gos. un-t, 2004, 138 p.
4. Kramarenko G.V. Tehničeskoe obslužhivanie avtomobilej, Moscow, Transport, 1968.
5. Miroshnikov L.V. Diagnostika tehničeskogo sostojanija avtomobilej, Moscow, Vysshaja shkola, 1967, 128 p.
6. Nauchno-tehničeskij otchet «Razrabotka metodologii kontrolja i diagnostirovanija tehničeskogo sostojanija GTD v processe dovodki», Samara, 2012, 132 p.

**Ju. Kiselev,**  
**D. Bibishev,**  
**D. Krugomov,**  
**V. Koshelev,**  
**A. Slinko**

### *Diagnostics of internal combustion engines in operation*

**Abstract.** This article focuses on the diagnosis of internal combustion engines in operation. Considered as piston and turbine engines. Revealed problems of technical diagnostics and testability. Describes the methods and means of control of technical condition of the study during their operation.

**Key words:** diagnostics, testability, piston engines, gas turbine engines.