

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ РН

© А. Н. Пономарев, А. В. Сичевой

Фізико-технічний інститут Дніпропетровського національного університету

Розглянуто актуальні проблеми підвищення надійності експлуатації ракет-носіїв, сучасні методи випробувань, методи віброакустичного діагностування машин і механізмів. Представлено склад стендового обладнання для випробувань елементів автоматики пневмогідролічних систем ракет-носіїв.

Высокая стоимость современных летательных аппаратов и важность задач, которые ставятся перед ними, определяют повышенные требования к их надежности. Одним из способов улучшения качества изготовления и повышения надежности РН является совершенствование существующих и разработка принципиально новых методов контроля и диагноза на всех этапах производства, хранения и эксплуатации.

Раннее обнаружение зарождающихся дефектов и защита эксплуатируемого оборудования составляют основную проблему технической диагностики. Техническая диагностика изучает методы получения и оценки диагностической информации, диагностические модели и алгоритмы принятия решений. Целью технической диагностики является повышение ее надежности и ресурса технических систем. Наиболее важным показателем надежности является отсутствие отказов во время функционирования технической системы. Техническая диагностика, благодаря раннему обнаружению дефектов и неисправностей, позволяет устранить подобные отказы в процессе технического обслуживания, что повышает надежность и эффективность эксплуатации, а также дает возможность оценки состояния технических систем ответственного назначения.

Как известно, вопросы повышения эксплуатационной надежности являются чрезвычайно важными для космической и ракетной техники. Это объясняется большим уровнем как материальных, так и трудовых затрат для производства изделий отрасли. В силу этого огромные усилия и средства прилагаются для повышения надежности изделия. Испытания на надежность являются важнейшей и неотъемлемой частью производства ракет-носителей.

Одной из наиболее сложных составных частей РН является пневмогидравлическая схема (ПГС). В

ее состав входит большое количество элементов, узлов, агрегатов автоматики. Необходимо также учитывать, что ПГС работает при достаточно напряженных условиях — высокие давления и низкие температуры для криогенных топлив. Вследствие сложности конструкции ПГС проходит ряд испытаний, как на этапе сборки, так и на завершающем этапе в целом. Но после окончательной сборки изделие направляется на стартовую площадку. В результате транспортировки и сборки изделия непосредственно на стартовой площадке в конструкции могут возникнуть неполадки, которые в дальнейшем могут привести к аварийному исходу. Поэтому следует отметить именно важность предстартовых испытаний, которые могут гарантировать успешный пуск изделия.

В последнее время предприняты решительные усилия, направленные на то, чтобы вопросы обеспечения производственно-технологической надежности ставились и решались на самых ранних этапах создания новых образцов техники, начиная с проектирования. Впервые обоснованная схема обеспечения ПТН от этапа проектирования до изготовления изделия, основой которой являлись холдовые технологические испытания (ХТИ), разработана для ПГС космических РН КБ «Южное» при сотрудничестве ДГУ и внедрена на ПО ЮМЗ.

Важная и характерная особенность метода — контроль всех систем ракеты без заправки ее компонентами топлива, без запуска ЖРД, без разборки систем на полностью собранной ступени ракеты в цехе завода-изготовителя. Т. е. ХТИ, как метод диагностирования ПГС, является завершающей операцией выходного контроля ракеты на производстве, а при необходимости — и перед вызовом ракеты на старт.

Для обеспечения этого требования ХТИ ракеты

проводятся по принципу продувок всех трактов ПГС дешевым, технологичным «модельным» газом. Средства диагностики стыкуются только к штатным, т. н. «внешним узлам» ПГС, а измерения ведутся специальными эталонными средствами. ХТИ являются экологически чистым методом, который не вносит в ПГС ракеты дефектов и не требует значительных временных и стоимостных затрат в сравнении с огневыми технологическими испытаниями.

Процесс контроля при ХТИ подразумевает установление критериев качества системы: исправное, когда система соответствует требованиям конструкторской документации; неисправное, но работоспособное; состояние отказа. Определение этих критериев для каждой системы, тракта, элемента ПГС производится на основе анализа их работы в составе ракеты из условия обеспечения проектных параметров систем.

Контроль систем ракеты при ХТИ обеспечивается комплексом средств диагностирования — стендом ХТИ, определение характеристик которого производится на проектном этапе реализации ХТИ. При этом значения тестовых воздействий на системы и величины контролируемых сигналов определяются на основе функционально-параметрических характеристик системы. Одновременно определяются необходимые диапазоны контроля параметров, обеспечивающие заданную точность диагностирования. Многообразие тестовых воздействий можно свести к единой системе и произвести их формализацию, что позволяет унифицировать стенд, применяемый для ХТИ различных изделий, и открывает возможность автоматизации процесса контроля.

Внедрение ХТИ в практику ракетостроения позволило значительно повысить надежность изделий при одновременном снижении затрат на испытания.

Вышеперечисленные методы диагностирования ПГСП предназначены для исследования герметичности трубопроводов и магистралей, соответствия проектных параметров расхода и давления компонентов, а также для оценки правильности сборки сложных магистралей. Однако наряду с этим необходимо также производить диагностику агрегатов автоматики одноразового и многоразового действия, клапанов, мембран, дозирующих элементов и т. д., так как работоспособность этих органов играет важнейшую роль при эксплуатации изделия.

Мы предлагаем применять для данных целей метод виброакустической диагностики.

Ориентация на методы виброакустической диагностики, базирующейся на принципах безразборности, оперативности и универсальности, позволяет

успешно решать поставленные задачи благодаря огромной информационной емкости виброакустических процессов, сопровождающих функционирование машин и механизмов, использованию новых методов обработки измерительной информации, применению микроэлектронной вычислительной техники.

Термин «виброакустическая диагностика», а вернее «акустическая диагностика машин и механизмов» имеет глубокие исторические и физические корни. Со времени появления достаточно сложных механизмов появилась и необходимость следить за их техническим состоянием, выявлять и устранять неисправности. Опытный механик научился ставить диагноз на слух. Следовательно, прообразом системы акустического диагностирования стал человек, вооруженный опытом работы с механизмом и проявлением его неисправностей в звуковом поле, обладающий также измерительной и анализирующей системами, каковыми являются его ухо и мозг.

Подход, основанный на механистическом представлении колебаний узлов механизма как системы масс и пружин, определенным образом соединенных между собой, предполагает, что ускорение, возникающее под действием прикладываемой к телу силы, получает сразу все тело в целом. На самом деле механизм движется не как единое целое, его деформированное состояние определяется законом распространения упругих волн, возникающих под действием приложенной силы. При этом передача возмущения происходит с конечной скоростью, зависящей от свойств среды, вида и частоты возмущения, а также от вида упругой волны.

Акустический подход, основанный на рассмотрении колебательных явлений в механических конструкциях как волнового процесса, является более универсальным и более плодотворным, так как он базируется на закономерностях, общих для упругих волн в любой среде: твердой, жидкой или газообразной.

Сущность проблемы виброакустической диагностики машин и механизмов состоит в разработке и практической реализации алгоритмов оценки параметров технических состояний объекта диагностирования без его разборки в рабочих условиях по характеристикам виброакустических процессов, сопровождающих его функционирование.

Назначением виброакустической диагностики, таким образом, является оценка степени отклонения технического состояния механизма от нормы по косвенным признакам, а именно, по изменению свойств виброакустических процессов в механизме,

зависящих от характера взаимодействия комплексуемых его узлов и деталей. По существу своему проблема диагностики тогда актуальна, когда велика вероятность возникновения каких-либо нарушений в механизме, развитие которых может привести к нарушению условий функционирования или к преждевременной потере работоспособности механизма.

Объектом виброакустического диагностирования могут быть любые технические объекты, функционирование которых сопровождается возбуждением колебаний. Основной отличительной особенностью виброакустической диагностики является использование в качестве диагностических признаков не статических параметров типа температуры или давления, а динамических, являющихся результатом взаимодействия деталей механизма в процессе его функционирования, распространяющихся по конструкциям механизма и в окружающую среду и регистрируемых в виде параметров смещения, скорости, ускорения или пульсации давления. Широкие частотный и динамический диапазоны колебательных процессов, малая инерционность, большая скорость распространения акустических волн по машинным конструкциям обуславливают быструю реакцию виброакустического сигнала на изменение технического состояния. Эти качества являются определяющими в аварийных ситуациях, когда скорость постановки диагноза и принятия решения являются гарантией предотвращения катастрофических последствий.

Спецификой виброакустической диагностики машин и механизмов в рабочих условиях является недоступность точек приложения сил для непосредственного измерения рабочих воздействий, что практически исключает возможность использования тестовых методов. Вследствие этого основные приемы виброакустической диагностики машин и механизмов базируются на функциональном подходе.

Одна из особенностей виброакустической диагностики состоит в том, что отклонение параметров технического состояния от нормы нужно поставить в соответствие с отклонением параметров виброакустического сигнала. Это означает, что виброакустический сигнал в режиме нормального функционирования механизма определяет уровень помех при диагностировании, поэтому чем сложнее механизм, тем выше уровень его виброактивности и тем труднее выявить информативную, изменяющуюся часть сигнала. Именно в связи с этим для формирования диагностических признаков, чувствительных к дефектам, используют специальные методы обработки виброакустических сигналов.

Для различения состояний механизма удобно использовать математический аппарат распознавания образов, особенно в его геометрической интерпретации. Это, в свою очередь, требует разработки и реализации в системе диагностирования алгоритмов классификации состояний.

Как было сказано выше, область применения виброакустической диагностики достаточно широка, и в настоящее время есть ряд предприятий, которые занимаются разработкой и внедрением диагностического оборудования, однако известны работы, связанные с диагностированием оборудования роторного типа, т. е. имеющего периодические акустические колебания.

В нашем же случае необходимо проводить диагностирование клапанов, которые в своем принципе действия содержат возвратно-поступательное движение. Вследствие этого клапан издает импульсный сигнал кратковременного воздействия, и могут возникать трудности при измерении данного сигнала и последующей обработке.

Однако в современных условиях такие эксперименты необходимы и возможны благодаря наличию высококачественных приборов измерения и программного обеспечения для последующей обработки банка экспериментальных данных.

Нами было проведено исследование ПГСР РН, в частности агрегатов автоматики. Рассмотрены конструкции применяемых в современной ракетной технике клапанов, определены объекты диагностирования — электропневмо-, электрогидроклапаны (ЭПК, ЭГК).

Электропневмоклапаны (ЭПК) — исполнительный механизм управляется электромагнитом, входящим в состав клапана, а срабатывание происходит под действием давления газа в магистрали, на которой он установлен. ЭПК являются разделительными устройствами пневмосистемы и системы наддува и обеспечивают поступление газа в рабочие объемы пневмоклапанов или образование воздушных подушек в баках при наддуве, также устанавливаются в системах ориентации и стабилизации КЛА.

На основании статистических данных для указанных конструкций определены возможные неисправности: заедание, заклинивание, появление наддувов, расклепывание или растрескивание уплотнительных элементов, недооткрытие, недооткрытие, неточность срабатывания (по времени).

Измерение вибраций. В процессе работы элементы машины получают вибрационные перемещения. Причиной возникновения вибрационных перемещений могут быть циклические процессы при работе машины (вращение роторов, периодические на-

грузки и т. п.), собственные колебания элементов конструкции и др.

Датчик преобразует неэлектрические величины (механические перемещения, давления, и т. п.) в электрический сигнал. Преобразователь осуществляет первичные преобразования сигнала (фильтрацию и т. п.). Усилитель и регистратор усиливают и регистрируют сигнал на каком-либо носителе информации, на данном этапе — это ЭВМ. В качестве датчиков вибраций используются индукционные и пьезометрические (пьезоэлектрические). Последние являются более эффективными, так как имеют небольшие габаритные размеры и массу, обладают высокой вибропрочностью и термостойкостью (до 500 °С). Вибродатчики закрепляют на детали с помощью фланца или ввертывают в резьбовое отверстие, также есть датчики, закрепляемые с помощью клея.

Измерение акустических величин. Вибрация элементов машин, происходящая в результате рабочего процесса, собственных колебаний, соударений и т. п., вызывает колебания окружающей среды, т. е. служит источником акустических колебаний.

Акустические колебания характеризуются широким непрерывным спектром с отдельными дискретными составляющими. Акустические колебания представляют стохастический процесс, амплитуды и частоты которого носят случайный характер. Состав спектра, его амплитудно-частотная характеристика (в вероятностном или детерминистском аспекте) имеет большое диагностическое значение для состояния машин.

Естественно, что измерение акустических колебаний, их спектральный анализ повышает ценность акустической диагностики. Для измерения используются микрофоны, основанные на электрических или пьезоэлектрических эффектах с диапазоном частот измерения от 5 до 100 кГц. Основной трудностью при использовании виброакустических методов является выделение полезного сигнала на фоне помех. Для обнаружения сигналов, несущих диагностическую информацию, используются фильтры.

Большой объем вычислений, связанный с обработкой текущей информации, формированием эталонных диагностических признаков и пороговых значений, классифицирующих функций и решающих правил распознавания технических состояний, оценкой тенденции их изменения, предполагает построение многоцелевой системы диагностирования на базе современной ЭВМ в модульном исполнении. Основными составными элементами ее, как и любой другой системы распознавания, являются объект диагностирования с набором технических состояний (классов технических состояний), подлежащих распознаванию; блок измерения; блок формирования диагностических признаков; блок формирования эталонов; блок принятия решения на основе определенных решающих правил.

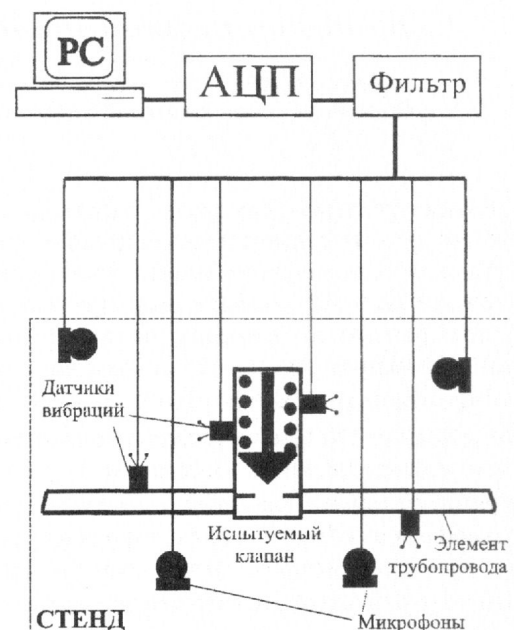
На основании сравнения текущих и эталонных диагностических признаков, хранящихся в блоке долговременной памяти, производится операция принятия решения о принадлежности к тому или иному классу состояний, т. е. ставится диагноз, на основании которого осуществляется операция управления объектом диагностирования.

Процедура диагностирования состоит из двух взаимообусловленных фаз: этапа обучения системы диагностирования и этапа распознавания.

На этапе обучения анализируют свойства виброакустических процессов при нормальном состоянии механизма и при наличии дефектов, на основе чего составляют словарь информативных признаков неисправностей, подлежащих диагностированию, выбирают вид классифицирующих функций и устанавливают решающие правила распознавания состояний, для чего в признаковом пространстве формируют области, соответствующие нескольким градациям параметра технического состояния (норма, предельно допустимое значение, предаварийная ситуация, поломка). Таким образом разрабатывают алгоритмы диагностирования.

Стендовое оборудование включает в себя (рисунком):

- пьезоэлектрические акселерометры (датчики вибраций);
- измерительные микрофоны;



Принципиальная схема испытательного стенда

- фильтрующие устройства;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- персональная ЭВМ.

Сигнал, издаваемый объектом диагностирования, фиксируется датчиками (вибрационной и акустической составляющими). Затем определяются наиболее информативные компоненты сигнала, которые выделяются фильтрующими устройствами. После этого аналоговый сигнал (электрический) преобразуется в цифровой код посредством АЦП и передается в общий банк данных ЭВМ, где производится обработка результатов.

Программа экспериментальных работ включает:

- Исследование рабочих клапанов одного типа;
- Исследование «дефектных» клапанов (дефекты вносятся в конструкцию клапана искусственно на основании статистических данных);
- Составление словаря диагностических признаков;
- Сбор диагностической информации в единый банк данных;
- Исследования полученных данных, их упорядочивание, построение диаграмм отказов, исследо-

вание вероятности отказов для конкретного типа клапанов.

Следует отметить, что разработанная методика может найти место и в других отраслях народного хозяйства — энергетика, нефтегазовая промышленность, общее машиностроение и др.

1. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. — М., 1987.
2. Биргер И. А. Техническая диагностика. — М., 1978.

DEVELOPMENT OF DIAGNOSING CONCEPTION OF SOURCE TECHNICAL AVAILABILITY OF AUTOMATED ELEMENTS OF PNEUMOHYDRAULIC LAUNCH VEHICLE SYSTEMS

A. N. Ponomaryov, A. V. Sichevoy

The actual problems of the operational reliability improvement of the space launch vehicles are analyzed. The modern test methods, the vibroacoustical diagnosing methods of the engines and mechanisms diagnostics are considered. A composition of bench equipment for the test of the automation elements of pneumohydraulic launch vehicle systems is introduced.

УДК 536.423.1

ВЫЯСНЕНИЕ ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ЖРД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

© Л. В. Пронь, С. А. Самохвалов

Дніпропетровський національний університет

Зроблено спробу статистичного визначення типу несправності, що виникла внаслідок аварійної ситуації, на основі локалізації несправності за допомогою вектора спеціально підібраних параметрів.

Назначение системы контроля работоспособности двигателя состоит в принятии решения о состоянии всей ДУ в течение определенного промежутка времени на основе совокупности ряда признаков. Промежуток времени от момента возникновения первичной неисправности τ_0 до состояния аварии τ_a будем называть временем экспозиции $\tau_s = \tau_a - \tau_0$.

Для создания систем контроля необходимо определение количественных состояний (τ_s, α) . (α — коэффициент охвата аварийных состояний, численно равный вероятности прогнозируемых отказов). Пусть P_j — вероятность того, что j -е аварийное состояние контролируется системой, тогда

$$P_j = P(\tau_{sj} - \tau_{cj}) > 0.$$

Вероятность того, что все аварийные состояния контролируются в предположении их статистической независимости, равна

$$P_k = \prod_{j=1}^m P_j,$$

где m — количество аварийных состояний.

Так как контролируемые и неконтролируемые аварийные состояния при заданном E_s являются событиями независимыми, то

$$P_k + P_{нк} = 1,$$

где

$$P_{нк} = \prod_{j=1}^m P(\tau_{sj} - \tau_{cj}) \leq 0$$