

М. К. СИДОРЕНКО

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ВИБРОДИАГНОСТИКИ ГТД

В настоящее время вибрационная диагностика ГТД находится на стадии становления, когда первостепенное значение имеют теоретические и методические вопросы. С методологической точки зрения полное раскрытие сущности любого явления возможно лишь при рассмотрении его в адекватном, характерном для него аспекте. Для вибродиагностики адекватным является кибернетический аспект.

ГТД как объект диагностики представляет собой сложную динамическую систему, в которой совершаются различные процессы управления. Качество ГТД является динамической категорией и в процессе эксплуатации необходимо поддерживать его на заданном уровне, т. е. управлять качеством.

Система вибродиагностики выступает как специфическая подсистема управления качеством, поскольку основной задачей ее является своевременное выявление отклонений в техническом состоянии объекта (диагноз) с последующим восстановлением работоспособности. Характерной особенностью этого процесса управления является использование процесса диагноза как его составной части, поэтому она может быть названа диагностической системой управления [1]. Вторая (частная) особенность состоит в использовании вибрационных процессов для диагноза.

Функциональная схема вибродиагностической системы управления качеством объекта включает (рис. 1): объект  $O$ , систему диагностирования  $СД$ , эффектор  $\mathcal{E}$  и источник дополнительной информации  $ИДИ$ . Рецептор  $P$  воспринимает вибрационные сигналы  $X$  и формирует диагностические признаки  $Y$ , по которым классификатор  $K$  ставит диагноз

$$D = \varphi(Y, z_1)$$

с использованием дополнительной информации, содержащейся в сигнале  $z_1$  (например, о режиме работы, состоянии внешней среды).

Результат диагноза  $D$  используется для активных воздействий на объект с целью восстановления заданного уровня работоспособности (качества). На основе результата диагноза и

сигналов, содержащих дополнительную информацию ( $z_0$  — о цели управления,  $z_2$  — о состоянии СВР,  $z_3$  — о прочей используемой информации), блок принятия решений БПР вырабатывает управляющий сигнал

$$\varepsilon = \psi(D, z_0, z_2, z_3),$$

по которому система восстановления работоспособности объекта СВР осуществляет регулирующие воздействия  $\lambda$ .

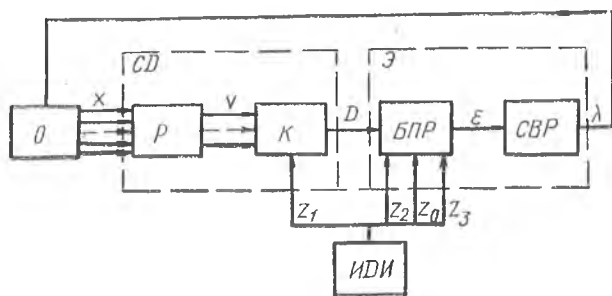


Рис. 1. Функциональная схема вибродиагностической системы управления

Приведенная схема применима ко всем этапам «жизни» ГТД. Отличия связаны в основном с составом объектов диагноза и регулирующих воздействий. В эксплуатации объектами диагноза являются отдельные представители множества ГТД. Регулирующие воздействия включают собственно регулирование, замену или ремонт отказавшего элемента и др.

На этапе производства объектами диагноза являются как конкретные представители, так и упорядоченная во времени совокупность производимого множества ГТД. Отдельные диагнозы используются для оценки качества изготовления соответствующего ГТД.

Статистика диагнозов позволяет оценить уровень, а их динамика — осуществить диагностическое прогнозирование качества производимого множества двигателей, что составляет основу регулирующих воздействий на технологию производства (качество изготовления деталей, монтаж и т. п.).

На этапе доводки объектами диагноза являются как отдельные представители, так и упорядоченная по качеству совокупность опытных образцов ГТД.

Последняя не образует генеральной совокупности. Диагноз отдельных образцов используется для оценки кратковременной

работоспособности их. Динамика диагнозов в сочетании с соответствующими регулируемыми воздействиями (конструктивные и технологические изменения, изменение материалов, комплектующих изделий и др.) используются для прогнозирования качества типового представителя будущей генеральной совокупности ГТД.

Таким образом, вибродиагностическая система управления образует характерный для кибернетики замкнутый контур. Основным источником информации является система вибродиагностики, а надлежащее использование ее осуществляется системой управления (эффектором).

Реализация процесса вибродиагностического управления требует решения задач, аналогичных кибернетическим: изучения физических свойств объектов в исправном и неисправном состояниях, моделирования объектов и сигналов, разработки и исследования алгоритмов диагноза, разработки принципов построения средств диагноза и их апробации. Очевидна плодотворность использования в решении этих задач разработанных в кибернетике методов и принципов, в первую очередь методов моделирования, системного и информационного подходов.

Информационный подход является основополагающим в диагностике. Из многих аспектов информации в диагностике наиболее существенны статистический, семантический и прагматический. Диагностику полезно рассматривать как процесс связи и управления. Процесс восприятия, передачи и хранения (передача во времени) информации является процессом связи. Он сопровождается потерями, что можно проанализировать в рамках статистической теории информации. Информационную емкость вибрационного канала можно приблизительно оценить по формуле

$$C = 2 f_{\text{в}} \log_2 \frac{1}{\gamma}, \text{ бит/с,}$$

где  $f_{\text{в}}$  — высшая частота вибросигнала;

$\gamma$  — относительная погрешность измерения.

Она весьма высока (до сотен тысяч бит/с), что предъявляет повышенные требования к системам восприятия, передачи и переработки информации.

Постановка диагноза и принятие решений — это процесс переработки информации в управляющие сигналы. Здесь важно смысловое содержание (семантика) и практическая полезность (прагматика) информации. В диагностике семантический и прагматический аспекты сливаются, поскольку бессмысленные сведения бесполезны, а бесполезные — не имеют смысла.

В семантико-прагматическом аспекте оперируют понятиями цели, ценности и существенности информации. При оценке состояния какого-либо элемента двигателя (цель) ценностью обладает лишь информация, отражающая его состояние. Частотные составляющие сигнала, не отражающие это состояние, выступают в роли помехи, хотя они могут отражать состояние другого элемента.

Различные параметры сигнала, несущие целевую информацию, могут обладать различной ценностью (информативность) с точки зрения оценки состояния элемента. Отсевание нецелевой и малоценной информации позволяет существенно сжать ее и придать удобную форму для дальнейшей переработки.

Существенность информации определяется ее значимостью (уровень вибрации, скорость изменения его), местом (основной подшипник или второстепенный элемент), моментом диагноза (полет или наземное испытание) и др.

Из информационного подхода вытекает следствие: в диагностике должно быть организовано восприятие и переработка целевой ценной (высокоинформативной) существенной информации и своевременная выдача ее в удобной для использования форме.

Системный подход предполагает комплексный анализ и разработку диагностических систем с совокупным учетом математических, информационных, технических, программных и организационных методов, приемов и средств.

Один из методологических принципов системного подхода — единство критериев эффективности. Эффективность системы вибродиагностики следует рассматривать с точки зрения применения двигателя по назначению. Принцип единства критериев позволяет определить оптимальные области применения вибродиагностики как составной части общей системы технической диагностики.

С помощью этого принципа можно оценить необходимую степень контролепригодности двигателя, например, целесообразность применения встроенных датчиков. Он же позволяет осуществить оптимальное разделение функций в системе диагностики между машиной и человеком, с учетом специфики последнего. Человек выполняет роль передатчика и канала связи и является источником дополнительной информации, реализуя принцип внешнего дополнения.

Хотя для человека как канала связи характерно недостаточное быстроедействие и высокие пороги восприятия (энергетический, временной и пространственный), в системе он имеет пре-

имущество в незапрограммированных ситуациях и при отказах элементов системы.

Критерии эффективности диагностики позволяют (в принципе) совокупно учесть количество целевой содержательной информации, затраты на ее получение и переработку и другие факторы, определяющие эффективность диагностики. Эффективность диагностики не удастся оценить единым критерием. Известные критерии не охватывают ряда аспектов эффективности, а определяющие их параметры трудно получить своевременно. Необходима разработка приближенных способов сопоставления эффективности неапробированных практикой систем.

С системной точки зрения более жестко формулируется ряд других требований к системам диагностирования. Так, по [1] необходимым и достаточным условием обнаружения неисправности является выполнение условий проявления и транспортировки неисправности. При неисправности должно появиться некоторое значение входного, внутреннего или выходного сигнала, отличное от значений сигнала в исправном состоянии. В системе должны быть образованы один или несколько существенных путей транспортировки неисправности — чувствительных каналов передачи сигнала о неисправности к контрольным точкам.

В вибродиагностике ГТД чувствительные вибрационные каналы не образуются искусственно, а находятся среди естественных. Возможны случаи, когда разные неисправности вызывают одинаковые или неразличимые сигналы. Кроме того, сигнал о неисправности может оказаться практически неприемлемым для диагностирования вследствие чрезмерной «зашумленности» другими вибрационными сигналами или невозможности измерения его в рабочих условиях.

Более четкими и полными, видимо, являются условия наблюдаемости и идентифицируемости [2]. Кроме того, системный подход требует выполнения условия управляемости объекта диагностирования.

Развитый кибернетикой метод моделирования воплощает единство экспериментального и дедуктивного методов. Из-за усложнения технических систем и человеческой деятельности он приобрел общенаучное значение.

Моделирование должно предшествовать исследованию и включать проверку на адекватность объекту, понимаемую в смысле какого-либо критерия ошибки или функции потерь. Это недостаточно учитываемое в вибродиагностике положение нередко приводит к существенным классификационным ошибкам. В вибродиагностике необходимы модели входных и выходных сигналов и модели объектов диагностирования. Неадекватность

используемых моделей может привести к неправильной трактовке результатов измерений, ошибочному диагнозу или решению.

Для моделирования необходимо структурное и информационное сходство, уточняемое математическими понятиями изоморфизма и голоморфизма. Различают два противоположных подхода к моделированию: структурный (микроподход, в частности, моделирование структуры) и функциональный (макроподход, реализующий идею «черного ящика»). Функциональный подход введен кибернетикой с целью овладения сложными явлениями без полного знания их внутренней сущности. Эти концептуальные (поведийные) модели приобретают все большее значение из-за возрастающей сложности исследуемых объектов, в том числе ГТД.

Применительно к вибродиагностике ГТД отметим два обстоятельства. Всегда имеется определенная информация о структуре ГТД и взаимосвязях составляющих ее элементов, что позволяет разработать структурно-функциональную модель («серый ящик») с последующей детализацией ее. С другой стороны широко применяемый в других областях метод тестовых воздействий на объект ограничен в ГТД как по возможности реализации его, так и по эквивалентности тестовых воздействий рабочим. Вибрационные характеристики двигателя в рабочих и не рабочих условиях могут значительно различаться, особенно в области высоких частот. Идентификация как метод построения моделей с учетом влияния рабочих условий оказывается во многих диагностических задачах единственно приемлемой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нархоменко Н. П. Основы технической диагностики. Ч. 1. М., «Энергия», 1976.
2. Эйкхофф Н. Основы идентификации систем управления. М., «Мир», 1975.