

УДК 621.226

**В.П. Квасников, д. т. н.  
Д.А. Тюпа**

## **МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

НАУ, г. Киев, [kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)  
ГП ХМЗ «ФЭД», г. Харьков, [tupa07@bk.ru](mailto:tupa07@bk.ru)

*В данной статье приведены используемые в настоящее время методы технического диагностирования гидроагрегатов летательных аппаратов*

**Ключевые слова:** гидроагрегат, техническое диагностирование, метод.

### **Введение**

Исследования в проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области гидравлической автоматики летательных аппаратов по минимализации массы и геометрических размеров при одновременном их форсировании по рабочему давлению и по частоте вращения вала невозможны без использования системного подхода, учета различных мероприятий и решения задач, которые могут привести к улучшению состояния систем, гарантировать приемлемую надежность и продление их срока эксплуатации.

При изготовлении и проведении мониторинга технического состояния гидроагрегатов одной из наиболее актуальных является задача объективного диагностирования и организация контроля за развитием дефектов из-за износа элементов. Для решения этой задачи создаются испытательные стенды обкатки, регулировки, приемосдаточных и периодических (ресурсных) испытаний гидроагрегатов.

### **Анализ исследований и публикаций**

Одним из путей предотвращения нежелательных последствий от эксплуатации изделий с дефектами является систематичное использование методов технического диагностирования (ТД). Обычно под дефектом понимают отклонение параметра от требований проектно-конструкторской документации, выявленное при ТД.

Выбор метода ТД должен быть основан, помимо априорного знания о характере дефекта, на таких факторах, как:

- условия работы изделия;
- форма и размеры изделия;
- физические свойства материала деталей изделия;
- условия контроля и наличие подходов к проверяемому объекту;
- технические условия на изделия, содержащие количественные критерии недопустимости дефектов и зачастую нормирующие применение методов контроля на конкретном изделии;
- чувствительность методов.

Достоверность результатов определяется чувствительностью методов ТД, выявляемостью и повторяемостью результатов и основана на тщательной калибровке.

Задача формирования комплекса различных методов ТД для обнаружения совокупности возможных дефектов в гидроагрегатах может быть сформулирована как оптимизационная многоуровневая, многокритериальная задача дискретного программирования [1].

### **Постановка задачи**

Целесообразность применения различных методов ТД привело к созданию комплексных систем контроля, которые используют различные методы исследования, что, в свою очередь, позволяет исключить недостатки одного метода, взаимно дополнить методы и реализовать тем самым принцип "избыточности" для повышения надежности контроля гидроагрегатов и систем в целом.

### **Изложение основного материала**

Рациональное сочетание различных методов контроля позволяет обеспечить комплексное диагностирование гидроагрегатов различного назначения и их составных частей. На рисунке 1 представлена классификационная схема основных методов контроля гидроагрегатов.

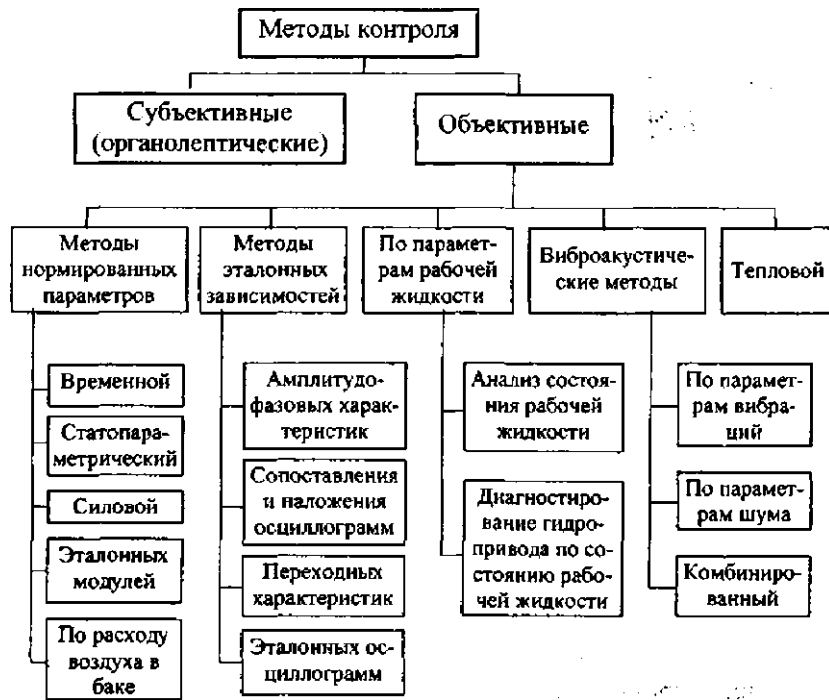


Рис. 1. Классификационная схема методов контроля гидроприводов

Методы контроля гидроагрегатов можно разделить на две большие группы: субъективные и объективные. [2]

Субъективные (органолептические) методы основаны на индивидуальном восприятии процессов, происходящих в агрегате. Они не предполагают измерения параметров функционирования систем, таким образом определяются:

- степень нагрева механизмов;
- степень нагрева трубопроводов;
- характер шумов и стуков;
- места подтекания масла;
- вспенивание жидкости и др.

Затем по этим признакам составляются схемы обнаружения неисправностей. Результаты диагностирования субъективными методами во многом зависят от опыта и квалификации оператора и позволяют определить лишь качественное состояние гидропривода или отдельных агрегатов.

Объективные методы основаны на использовании измерительных приборов и позволяют количественно измерять параметры технического состояния приводов. Зная предельные и допустимые значения параметров, можно прогнозировать потерю работоспособности отдельных узлов или гидроагрегата в целом и принимать соответствующие предупредительные меры.

#### Методы нормированных параметров

Метод эталонных модулей - основан на сравнении экспериментально определенных значений параметров гидравлического привода и его отдельных агрегатов (мощности, КПД, усилия, крутящих моментов, давления, подачи, перемещений и др.) с их паспортными значениями или с нормами технических условий. [3]

Силовой метод основан на определении величины усилия, развиваемого исполнительным органом диагностируемой гидросистемы. Используется для оценки общего технического состояния. Среди недостатков метода следует отметить низкую информативность и трудность применения из-за использования громоздких нагружающих устройств.

Статопараметрический метод основан на измерении расхода и давления установившегося задресселированного потока рабочей жидкости. Этот метод позволяет оценивать объемный

КПД и по его величине прогнозировать состояние привода в целом и его составных частей. Объемный КПД определяется по формуле:

$$\eta_0 = \frac{Q_\phi}{Q_m},$$

где  $Q_\phi$  - фактический расход рабочей жидкости при номинальном давлении и номинальной частоте вращения вала;

$Q_m$  - теоретическая подача насоса при номинальной частоте вращения вала  $n_{ном}$ ,

$$Q_m = q_n n_{ном},$$

где  $q_n$  - рабочий объем гидроагрегата.

Метод широко используется при техническом обслуживании гидравлических приводов.

Среди недостатков метода следует отметить: высокую трудоемкость; необходимость разъединения трубопроводов для установки датчиков на каждом агрегате; необходимость применения целой гаммы датчиков для разных типоразмеров агрегатов.

### **Виброакустические методы**

Акустический метод использует в качестве диагностического признака шум, который сопровождает работу гидроагрегатов. Выбор акустических явлений в качестве источника информации о состоянии агрегатов привода вызван рядом причин. Акустические явления являются отражением наиболее существенных физических процессов, происходящих внутри агрегата при его работе, таких как деформации и напряжения в деталях, колебания среды и рабочих тел. Шум как носитель информации обладает большой емкостью, т.е. широким спектром. Регистрация шума позволяет производить быстрые измерения в процессе эксплуатации агрегата.

Уровень шума и его спектр непосредственно зависят от технического состояния агрегатов. Наибольшее распространение акустические методы диагностики в гидроприводах получили при оценке работоспособности гидромашин, гидроусилителей и других агрегатов, а также при определении внутренних утечек в агрегатах распределительной аппаратуры (электромагнитных кранах, золотниках, клапанах и т.д.).

Виброакустический метод предусматривает оценку зазоров в сопряжениях деталей по их вибрационным характеристикам и акустическим шумам.

Сущность метода заключается в следующем. Работа узлов и агрегатов привода сопровождается вибро- и гидроударными процессами или акустическими шумами, которые называют структурным шумом (в отличие от воздушного шума, возбуждаемого механизмами в окружающей среде). По мере износа механизмов или при возникновении в них дефектов нарушаются кинематические связи между деталями, вследствие чего характер шума и вибраций изменяются.

Наиболее часто виброакустические методы используются для диагностирования технического состояния подшипников и деталей качающего узла насосов и гидромоторов. С помощью этих методов осуществляется контроль внутренней герметичности таких агрегатов гидропривода, как гидрораспределители, гидроцилиндры, предохранительные и перепускные клапаны и др.

### **Методы эталонных зависимостей**

Методы эталонных зависимостей основаны на сравнении экспериментально полученных функциональных зависимостей параметров диагностируемого гидропривода (его отдельных агрегатов) с эталонными зависимостями, найденными расчетным или экспериментальным путем.[4]

Метод переходных характеристик основан на анализе реакции системы на изменение давления при переходных (неустановившихся) режимах работы.

Для оценки технического состояния гидропривода на основании характера протекания переходных процессов их возбуждают путем мгновенного перекрытия потока рабочей жидкости распределителем или краном управления. Диагностирование осуществляют по волновым диаграммам или переходным характеристикам.

В общем случае система уравнений, описывающая динамику гидропривода, включает в себя три типа уравнений, которые соответствуют физическим процессам в этих приводах: уравнения течения рабочей жидкости в элементах гидропривода; уравнения расходов; дифференциальные уравнения движения перемещающихся деталей системы (уравнения сил и моментов).

Последняя группа уравнений отражает равновесие движущегося элемента под действием приложенных сил и моментов. Например, для гидродвигателя с поступательным движением:

$$m \times \frac{d^2 z}{dt^2} = \sum P_a - \sum P_c,$$

где  $m$  - приведенная к подвижному элементу масса;

$z$  - перемещение поступательно движущегося элемента;

$\sum P_a$  и  $\sum P_c$  - сумма активных сил и сил сопротивления.

Уравнение расходов жидкости представляет собой алгебраическую сумму входящих и выходящих из узла расходов. Например, для модели с учетом сжимаемости жидкости уравнение баланса расходов жидкости для  $i$ -го узла представляет собой алгебраическую сумму входного  $Q_i$  и выходного  $Q_{i+1}$  расходов и расхода  $Q_{id}$  затраченного на деформацию сосредоточенного в узле объема жидкости, т.е.

$$Q_i - Q_{i+1} - Q_{id} = 0,$$

причем:

$$Q_{id} = V_i \Psi(p_i) \frac{dp_i}{dt},$$

где  $V_i$  - объем сосредоточенной в узле жидкости;

$\Psi(p_i)$  - коэффициент податливости.

Уравнение течения рабочей жидкости в трубопроводах составляются на основе баланса давлений на участке гидроцепи:

$$P_{вх} = P_{вых} + P_l + P_m + P_j,$$

где  $P_{вх}$  и  $P_{вых}$  - давление на входе и выходе участка гидропривода;  $P_m$  - местные потери давления;  $P_l$  - потери по длине магистрали;  $P_j$  - инерционные потери давления.

Исходными данными для динамического расчета являются параметры проектируемого привода: свойства рабочей жидкости, рабочее давление, конструктивные размеры трубопроводов и гидромоторов, коэффициенты местного сопротивления для участков привода, размеры емкостей, вид и величина преодолеваемой нагрузки.

В результате метода расчета получают представленные на рисунке 2 переходные характеристики, которые могут быть приняты в качестве эталонных зависимостей при диагностировании гидропривода по характеру протекания переходного процесса, времени нарастания давления, характеру перемещения исполнительного органа и т.д.

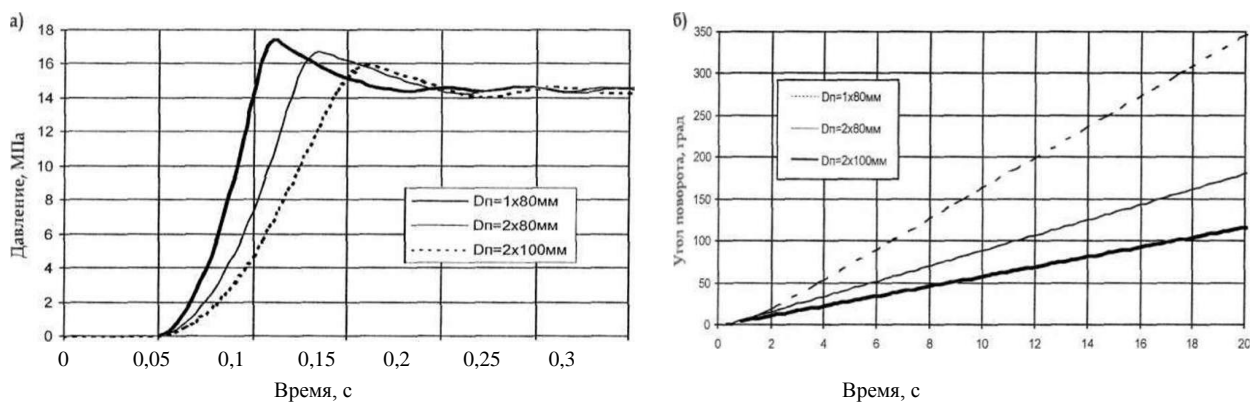


Рис. 2. Результаты динамического расчета (эталонные характеристики: а) - изменение давления на выходе напорного трубопровода в зависимости от конструкции исполнительного гидроцилиндра; б) - изменение угла поворота колонны для различных исполнений гидроцилиндра).

Метод амплитудно-фазовых характеристик базируется на анализе волновых процессов изменения давления в напорной и сливной магистралях гидросистем на рабочих режимах. Режим нагружения системы может задаваться двумя способами: дросселированием жидкости в сливной магистрали; нагружением системы со стороны исполнительного органа. Метод позволяет оценить общее техническое состояние привода или локализовать неисправность. Наиболее эффективен в гидросистемах, работа которых сопровождается значительными колебаниями давления. Используется в основном для определения неисправностей аксиально-поршневых насосов.

Метод эталонных осциллограмм представляет собой частный случай метода эталонных зависимостей, с помощью которого исследуют зависимость диагностического параметра от времени. Он является одним из наиболее простых и эффективных методов диагностирования и широко применяется для выявления дефектов и отказов гидроприводов, для которых характерны низкочастотные динамические процессы.

Недостатки метода: требуется дорогостоящее оборудование; расшифровка волновых диаграмм процесс сложный и трудоемкий; сложности применения метода для оценки технического состояния отдельных узлов и агрегатов (так как установленные в систему агрегаты влияют друг на друга, а при изменении структуры привода меняются волновые характеристики).

### **Использование параметров рабочей жидкости**

В вопросах диагностирования гидроприводов с использованием параметров рабочей жидкости можно выделить два ключевых аспекта: во-первых, оценка параметров, характеризующих техническое состояние самой рабочей жидкости как составной части диагностируемого привода; во-вторых, оценка технического состояния диагностируемого гидропривода по параметрам состояния рабочей жидкости.

### **Выводы**

Анализ методов диагностирования гидроагрегатов показывает, что ряд из них применяется при стационарных режимах работы привода (метод нормированных параметров и его разновидности - статопараметрический и силовой), другие используются для диагностирования в динамических режимах его работы (временной метод, виброакустический метод, метод переходных характеристик). К особенностям различных методов можно отнести возможность использования встраиваемых или накладных датчиков, а также способ создания нагрузки - дросселем (на входе или на выходе) или нагружением силового цилиндра (внешним нагружающим устройством или самонагружением).

### **Список литературных источников**

1. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем.- Мн: Белавтотракторостроение, 2000,- 119с.
2. Волкович В.Л., Волошин А. Ф., Заславский В. А., Ушаков И. А. Модели и алгоритмы оптимизации надежности сложных систем.- Киев: Наукова Думка.-1993.-312с
3. Граф Ш., Гессель М. Схемы поиска неисправностей: Пер. с нем.-М.: Энергоатомиздат, 1989.- 144 с.
4. Диагностирование на граф-моделях: На примерах авиационной и автомобильной техники / Я.Я. Осис, Я.А. Гельфандбейн, З.П. Маркович, Н.В. Новожилова. - М.: Транспорт, 1991.-244 с.