



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

Д. Л. Стасенко

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольным работам по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»
заочной формы обучения**

Гомель 2010

УДК 681.523(075.8)
ББК 34.447я73
С77

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 28.06.2010 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Технология машиностроения» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн.
наук *М. П. Кульгейко*

Стасенко, Д. Л.

С77 Техническая диагностика гидропневмосистем : метод. указания к контрол. работам по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» заоч. формы обучения / Д. Л. Стасенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 24 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены общие сведения о техническом диагностировании гидравлического и пневматического оборудования, задания для контрольной работы и методика их выполнения.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» заочной формы обучения.

УДК 681.523(075.8)
ББК 34.447я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2010

Общие сведения

Техническая диагностика гидропневмосистем - это установление и изучение признаков, характеризующих состояние гидропневмосистем систем, для предсказания возможных отклонений (в том числе за допустимые пределы, вследствие чего возникают отказы), а также разработка методов и средств определения состояния этих систем с целью своевременного предотвращения нарушений нормального режима работы. Процесс технического диагностирования осуществляется путем измерения и контроля (сравнения) количественных значений параметров, анализа и обработки результатов измерений и контроля, а также путем управления объектом в соответствии с алгоритмом диагностирования. Методы диагностирования определяют исходя из поставленных перед системой диагностирования задач. Они должны включать диагностическую модель гидропривода, правила измерения диагностических параметров, порядок их анализа и обработки.

Основные понятия и определения

Основные термины и определения, которыми приходится оперировать при изучении проблем технической диагностики гидропневмосистем, являются ключевыми и помогают в освоении излагаемого материала.

Техническая диагностика - отрасль знаний (наука), исследующая технические состояния объектов диагностирования и проявления технических состояний, разрабатывающая методы их определения, а также принципы построения и организацию использования систем диагностирования.

Техническое диагностирование - процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью.

Технический контроль - проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Объект технического диагностирования (объект диагностирования) - изделие и его составные части или заготовка, техническое состояние которых подлежит определению.

Результат диагностирования (технический диагноз) – заключение о техническом состоянии объекта с указанием, при необходимости, места, вида и причины дефекта.

Поиск дефекта - диагностирование, целью которого является определение места и, при необходимости, причины и вида дефекта объекта.

Глубина поиска дефекта - характеристика поиска дефекта, задаваемая указанием составной части объекта диагностирования или ее участка, с точностью до которых определяется место дефекта.

Распознавание состояния системы - отнесение состояния системы к одному из возможных классов (диагнозов).

Алгоритм распознавания - совокупность последовательных действий в процессе распознавания.

Техническое состояние - совокупность свойств объекта, подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации, характеризуемая в определенный момент признаками, установленными технической документацией на этот объект.

Контроль технического состояния - процесс определения вида технического состояния объекта (исправности, работоспособности, правильного функционирования).

Вид технического состояния - категория технического состояния, характеризуемая соответствием или несоответствием качества объекта определенным техническим требованиям, установленным технической документацией на этот объект.

Неисправность - состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации.

Исправное состояние - это состояние, при котором изделие соответствует всем требованиям технических условий, определяющих его качество.

Проверка исправности - процесс подтверждения того, что в объекте нет ни одной неисправности.

Работоспособность - состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Проверка работоспособности - процесс подтверждения того, что объект в состоянии выполнять все функции, предусмотренные его рабочим алгоритмом функционирования.

Под *функционированием* понимают выполнение предписанного объекту алгоритма функционирования при применении объекта по назначению.

Проверка правильности функционирования - процесс подтверждения того, что в объекте не появились неисправности, нарушающие его нормальную работу в настоящий момент времени.

Контролеспособность - свойство изделия обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов.

Контролепригодность - свойство изделия, заключающееся в приспособленности его к диагностированию заданными средствами.

Контрольная точка - место расположения первичного источника информации о контролируемом параметре объекта контроля.

Измерительный преобразователь (датчик) - средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдением.

Встроенное средство технического диагностирования – средство диагностирования, выполненное в общей конструкции с объектом диагностирования.

Система технического диагностирования - совокупность средств и объекта диагностирования и, при необходимости, исполнителей, подготовленная к диагностированию или осуществляющая его по правилам, установленным соответствующей документацией.

Диагностическая ценность признака - количество информации, которая вносится признаком в систему состояний.

Функциональный контроль - определение способности правильного выполнения функций, возлагаемых на сложную систему.

Параметрический контроль - контроль посредством измерения значений различных по природе параметров.

Диагностическая модель - устанавливает связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов.

Цель и задачи технического диагностирования гидропневмоприводов

Основной целью технического диагностирования является повышение надежности гидравлических и пневматических приводов и снижение затрат, связанных с их эксплуатацией. Решение этой проблемы может быть осуществлено путем раннего обнаружения неисправностей и предупреждения их развития в процессе эксплуатации.

К задачам, которые решаются в процессе диагностирования и могут привести к достижению поставленной цели, относятся следующие:

- 1) обнаружение дефектов (неисправностей);
- 2) нахождение причин отказов гидро или пневмопривода и их узлов;
- 3) определение фактического технического состояния гидро или пневмопривода в данный момент времени;
- 4) выявление необходимости регулировок или замены узлов;
- 5) установление необходимости текущего или капитального ремонта гидравлических или пневматических агрегатов;
- 6) оценка качества выполнения работ при техническом обслуживании и ремонте;
- 7) предсказание с определенной достоверностью изменения фактического технического состояния для любого момента времени, т.е. прогнозирование остаточного ресурса узла или привода на основе анализа отказов.
- 8) предсказание с определенной достоверностью изменения фактического технического состояния для любого момента времени, т.е. прогнозирование остаточного ресурса узла или привода на основе анализа отказов.

Таким образом, *основная задача технической диагностики* - распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации. Эти ограничения связаны прежде всего с тем, что диагностирование гидро или пневмопривода в целом или его узлов должны производиться без разборки объекта, т.е. техническую диагностику называют безразборной диагностикой (без вскрытия).

Для поддержания гидро или пневмоприводов в исправном состоянии в большинстве отраслей промышленности (для оборудования в цехах, подъемно-транспортных машин и др.) предусмотрена планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта. Система называется плановой потому, что все виды работ производят после строго установленного промежутка времени работы технического объекта по заранее составленному плану-графику. Предупредительный характер системы технического обслуживания предусматривает проведение мероприятий, предупреждающих возникновение неисправностей и отказов гидро или пневмопривода, а также механической и электрической части технологического оборудования в период их эксплуатации.

Однако регламентация операций технического обслуживания по наработке не всегда соответствует действительному техническому состоянию привода и не учитывает особенностей конструкции конкретной технологической машины или станка и условий их

эксплуатации. Поэтому, с одной стороны, часть узлов заменяется преждевременно, не выработав ресурса, что ведет к повышенным затратам на запасные части. С другой стороны, некоторые узлы или приводы находятся в эксплуатации в межремонтном сроке в неисправном состоянии. Это вызывает интенсивный износ и поломки сопряженных узлов и агрегатов, может привести к аварийной ситуации.

Поэтому *второй важной задачей технической диагностики* является переход к техническому обслуживанию гидро или пневмопривода по необходимости (или по состоянию), а не по наработке.

Решение задач технической диагностики всегда связано с прогнозированием надежности на ближайший период эксплуатации (до следующего технического обслуживания). Обеспечению высокого уровня надежности на стадии эксплуатации служит комплекс диагностических мероприятий. Поэтому становятся актуальными проблемы прогнозирования изменения технического состояния гидравлических и пневматических приводов, и на основе этого – совершенствование методов технического обслуживания и ремонта, внедрение прогрессивных методов эксплуатации по техническому состоянию.

Решение задач технического диагностирования как процесса определения состояния гидро или пневмопривода и его узлов позволяет:

- полнее использовать ресурс узлов, агрегатов и привода в целом;
- устранить необоснованную разборку узлов и снизить скорость изнашивания трущихся поверхностей;
- уменьшить простои технических объектов из-за неисправностей гидро или пневмопривода путем прогнозирования и предупреждения отказов;
- снизить трудоемкость ремонта и технического обслуживания за счет сокращения разборочно-сборочных работ;
- повысить экономические показатели работы машин и технологического оборудования.

Функции технического диагностирования

Техническое диагностирование выполняет три основные функции:

- 1)получение информации о техническом состоянии привода;
- 2)обработка и анализ полученной информации;

3) подготовка или принятие решений по объемам и срокам обслуживания и ремонта привода.

Первая функция предусматривает измерение диагностических параметров, оценивающих техническое состояние привода, и установление качественных и количественных признаков состояния.

Вторая - обработку и сравнение полученных значений параметров с допустимыми значениями.

Третья - анализ результатов сравнения и установление характера, объема и срока работ по ремонту гидропривода и его отдельных элементов (агрегатов).

С математической точки зрения процедура диагностирования гидропривода может быть разбита на три этапа:

- описание объекта;
- выделение признаков;
- принятие решения (диагноз).

Первичное описание объекта заключается в выборе информации, необходимой для принятия решения о принадлежности привода к одному из возможных состояний. Эта задача наиболее сложная, и ее трудно формализовать.

Любое состояние привода характеризуется совокупностью параметров (признаков). Эти параметры должны быть достаточно информативны, чтобы при выбранной глубине поиска дефекта процесс распознавания состояний мог быть осуществлен.

Принятие решения заключается в разработке правила, позволяющего получить достоверный диагноз.

Виды технического диагностирования

В зависимости от способа получения информации о состоянии привода различают два вида диагностирования: тестовое и функциональное.

Тестовое диагностирование - диагностирование, при котором на объект подаются тестовые воздействия, т.е. анализируется реакция объекта на специальное возмущающее воздействие.

Функциональное диагностирование - диагностирование во время функционирования объекта, на который поступают только рабочие воздействия.

Функциональное диагностирование привода осуществляется в процессе применения его по прямому назначению, в рабочем режиме. Никакие другие воздействия на объект со стороны средств диагностирования не подаются. Техническое состояние привода в

этом случае определяется только на основе алгоритма функционирования привода на различных режимах работы. Воздействия, поступающие на входы объекта диагностирования при функциональном диагностировании называют рабочими. При функциональном диагностировании воздействия, поступающие на основные входы объекта, заданы его алгоритмом функционирования, и поэтому не могут выбираться исходя из условий эффективной организации диагностирования. Техническое состояние гидроприводов мобильных машин и их отдельных агрегатов в процессе эксплуатации в большинстве случаев оценивают с помощью методов функционального диагностирования.

При тестовом диагностировании на вход объекта подаются специальные тестовые воздействия, и по реакции объекта на эти воздействия оценивается его техническое состояние. Воздействия могут подаваться как на основные входы объекта диагностирования, т.е. на входы необходимые для применения объекта по назначению, так и на дополнительные входы, организованные специально для целей диагностирования. Наибольшее применение тестовое диагностирование находит в радиотехнике и электронике, в частности, для оценки состояния электронных блоков, встраиваемых в гидродневмоприводы (станки с ЧПУ, манипуляторы, электронные блоки управления). Методы тестового диагностирования, как правило, используются для оценки состояния отдельных агрегатов привода, установленных на специальных испытательных стендах.

Диагностические параметры

Для определения действительного (фактического) состояния привода необходимо установить, какие параметры и каким способом следует проверять, а также какие технические средства при этом задействовать.

Параметры состояния гидропривода - это физические величины, характеризующие его работоспособность или исправность и изменяющиеся в процессе его работы.

Диагностический признак (параметр) - признак объекта диагностирования, используемый в установленном порядке для определения технического состояния объекта.

Каждая конкретная неисправность гидропривода характеризуется одним или несколькими внешними признаками ее проявления. В одном случае признаки указывают непосредственно на конкретную неисправность, в другом - характеризуют ее только

косвенно. В процессе диагностирования гидропневмоприводов для оценки их технического состояния используют как *структурные*, так и *косвенные параметры*.

Структурные параметры гидроприводов непосредственно характеризуют работоспособность агрегатов и привода в целом (зазоры, износы, натяги в сопряжениях, геометрическая форма и др.). Измерение структурных параметров связано, как правило, с необходимостью разборки узлов и агрегатов. Контроль по структурным параметрам широко используют при ремонте (дефектации).

Изменение структурных параметров сопровождается изменением параметров рабочих процессов гидропневмопривода (давление и расход рабочей среды, температура рабочей среды, время подъема штока силового цилиндра и т.п.). Если параметры рабочих процессов имеют некоторую функциональную связь со структурными параметрами привода и характеризуют его техническое состояние, то они могут быть отнесены к диагностическим параметрам, *косвенно* характеризующим работоспособность или исправность привода. *Косвенными диагностическими параметрами* могут служить акустические сигналы, изменение температуры корпусных деталей и рабочей жидкости, изменение давления в системе, наличие в рабочей жидкости продуктов износа, параметры, характеризующие динамическое состояние системы и т.п. Преимущество косвенных диагностических параметров перед структурными состоит в том, что их контроль не требует, как правило, разборки агрегатов и может осуществляться в процессе работы гидропривода.

Можно также выделить в отдельную группу *выходные* параметры. *Выходные* параметры (признаки) привода или гидропневмоагрегатов определяют их работоспособность согласно установленным техническим условиям. Обычно эти параметры могут быть измерены тем или иным способом. Контроль выходных параметров дает ответ на вопрос о работоспособности привода, но не определяет места и вида повреждения, приводящего к отказу.

Контроль структурных параметров позволяет фиксировать повреждения, которые приводят или могут привести к отказу привода. Величины износа, деформации, степень коррозии и т.п. также являются теми диагностическими признаками, по которым можно сделать вывод о техническом состоянии привода. Они являются первопричиной отказа и связаны с выходными параметрами функциональной зависимостью. Так как этих признаков в сложном

приводе достаточно много, то их одновременная регистрация представляется нецелесообразной. Поэтому контроль повреждений является обычно вторым этапом диагностирования привода, после контроля его выходных параметров, когда необходимо установить причины потери приводом работоспособности и осуществить поиск дефекта.

Контроль работоспособности привода по косвенным признакам наиболее распространен и производится в том случае, когда непосредственное измерение выходных параметров затруднено. Эти признаки должны быть функционально связаны с работоспособностью изделия и отражать изменения технического состояния, происходящие в гидроприводе.

По объему и характеру передаваемой информации диагностические параметры подразделяются на *частные* и *общие* (или обобщенные), а также на *взаимозависимые* и *независимые*.

Частный диагностический параметр указывает на вполне определенную неисправность привода или агрегата. Так, например, смещение порога срабатывания предохранительного клапана непосредственно указывает на нарушение его регулировки.

При техническом диагностировании гидроприводов машин и технологического оборудования часто приходится оценивать состояние отдельных агрегатов по обобщенным параметрам.

Обобщенный параметр - это диагностический параметр, характеризующий техническое состояние нескольких составных частей машины, гидропневмопривода (или гидропневмоагрегата) в целом.

Так, изменение скорости выходного звена гидродвигателя характеризует его общее техническое состояние, но не указывает, что именно послужило причиной этого состояния (износ уплотнений поршня, гильзы цилиндра или изменение расхода рабочей среды). Использование обобщенных параметров состояния позволяет в значительной мере снизить трудоемкость диагностирования, особенно при внеплановом техническом обслуживании.

Независимые параметры самостоятельно указывают на конкретную неисправность. *Взаимозависимые* диагностические параметры самостоятельно (по одному) не определяют неисправность. Это можно осуществить только совместной регистрацией нескольких параметров. Так, например, износ уплотнений поршня гидроцилиндра можно определить путем совместного измерения количества поступающей в

цилиндр рабочей среды, скорости перемещения штока, температуры рабочей среды, давления в напорной и сливной магистралях.

Количественной мерой параметра состояния является его значение, которое может быть номинальным, нормальным и предельным.

Значение параметра технического состояния изделия или его элемента в начале эксплуатации называют *номинальным*: зазор в сопряжении, давление регулировки клапана, расход рабочей среды и т.д.

Допустимое значение параметра - значение, при котором обеспечивается безотказная работа составной части до очередного обслуживания при высоких технико-экономических показателях. Многие из параметров, характеризующих техническое состояние гидроприводов и их узлов, имеют два допустимых значения. Одно из них рассчитывают исходя из необходимости обеспечения надежной работы гидроагрегата до соответствующего очередного технического обслуживания, а второе - до очередного ремонта. Значения параметра, не выходящие за пределы допустимых величин, называют *нормальными*. Они находятся в диапазоне между номинальными и допустимыми величинами.

Предельное значение параметра - наибольшее или наименьшее, которое может иметь работоспособный гидроагрегат. При выходе значений параметров за предельные дальнейшая эксплуатация агрегата или привода в целом без проведения ремонта недопустима ввиду резкого увеличения интенсивности износа сопряжений, чрезмерного снижения производительности машины или нарушения требований техники безопасности. Достижение предельного значения хотя бы одного из параметров означает, что данная составная часть находится в предельном состоянии. Эти значения устанавливают на основании соответствующих критериев: технических, технико-экономических, технологических.

Технические критерии предусматривают случаи, когда достигшие предельного состояния детали не могут больше выполнять свои функции по техническим причинам, либо когда дальнейшая эксплуатация их доводит до аварийного отказа. Технико-экономические критерии определяют предельное состояние изделия в том случае, когда в результате изменения технического состояния меняются определенные свойства изделия, снижающие эффективность его использования. Технологические критерии характеризуют резкое ухудшение качества выполнения работ по

причине *предельного состояния* рабочих органов машины. *Предельное состояние* - это состояние изделия, при котором его восстановление либо дальнейшее использование по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Для диагностирования гидроприводов и их элементов имеются достаточно большое количество параметров (признаков), по которым можно судить о техническом состоянии привода. Однако нецелесообразно излишне расширять номенклатуру этих параметров. Следует иметь в виду, что с одной стороны увеличение числа признаков приводит к росту объема информации о состоянии привода, а с другой стороны - к усложнению *системы контроля* и увеличению *ошибки измерения*.

При выборе и обосновании основных диагностических параметров гидроприводов необходимо учитывать их достаточность для достоверного определения технического состояния привода, основные причины и частоту отказов этих агрегатов, признаки их проявления. Следует обязательно учитывать также характеристики взаимных статистических связей признаков, отражающих взаимосвязи между различными процессами в приводе. Знание взаимных статистических связей позволит при необходимости устанавливать значения одних параметров по значениям других.

При выборе диагностических параметров следует обращать внимание на предъявляемые к ним требования: *однозначность*; *стабильность*; *широта поля изменения*; *доступность*; *удобство измерения*; *удобство обработки результатов измерений*; *точность*; *информативность*; *технологичность* и т.д.

Требование *однозначности* предусматривает соблюдение условия, при котором каждому значению структурного или функционального параметра диагностируемого гидропневмопривода соответствует единственное значение диагностического параметра. Требование *стабильности* устанавливает возможную величину отклонения диагностического параметра от своего среднего значения при неизменных значениях структурных параметров и условиях их измерения. Требование *широты поля изменения* устанавливает диапазон изменения диагностического параметра, соответствующий заданной величине изменения структурного параметра. Чем больше диапазон изменения диагностического параметра, тем больше его *информативность*. В первую очередь следует уделять внимание параметрам, характеризующим наиболее часто повторяющиеся отказы. Выбранный диагностический параметр должен нести

наибольшую информацию о техническом состоянии диагностируемого агрегата.

Основными параметрами, по которым осуществляется диагностирование гидropневмоприводов в целом, гидropневмомашии, распределителей, цилиндров, клапанов и других гидropневмоагрегатов, являются:

- продолжительность рабочего цикла;
- объемный КПД (утечки рабочей среды);
- амплитуда пульсаций давления;
- параметры виброударной характеристики;
- уровень шума;
- максимальное развиваемое давление;
- установившаяся температура рабочей среды;
- установившаяся температура корпусных деталей;
- интенсивность нагрева;
- эффективная (гидравлическая) мощность;
- концентрация продуктов износа и абразива в рабочей среде;
- интенсивность нарастания или снижения давления;
- степень разрежения во всасывающей гидролинии;
- частота вращения ротора;
- характер изменения частоты вращения ротора;
- усилие сопротивления перемещению исполнительного органа;
- перепад давления;
- время перемещения штока на задаваемую длину;
- усадка штока за задаваемый интервал времени;
- давление срабатывания;
- тормозной путь исполнительного органа;
- степень засоренности фильтров;
- параметры состояния рабочей среды (вязкость, наличие воды и других загрязнителей, кислотное число и др.).

Причем многие из них являются производными (расчетными) от некоторого ряда поддающихся измерению параметров функционирования гидropневмоприводов. К числу наиболее характерных из регистрируемых параметров диагностирования можно отнести: давление рабочей среды; перепад (разность) давлений; разрежение; пульсации давления; расход рабочей среды; уровень жидкости в баке; температура рабочей среды; температура корпусных деталей; время; перемещение линейное; перемещение угловое; положение подвижных элементов; частота вращения ротора; усилие;

крутящий момент; уровень шума; виброударные характеристики; параметры рабочей среды.

Задание 1. Определить информативность признаков состояний гидравлической системы

Выбор и оптимизация количества диагностических признаков зависит от применяемого метода диагностирования и является достаточно сложной задачей. Одним из направлений решения задачи оптимизации является применение положений теории информации. Главный принцип, используемый для обоснования необходимости того или иного признака, заключается в следующем: диагностическая ценность признака определяется информацией, которая вносится признаком в систему состояний.

Количество информации о техническом состоянии системы получают как разность неопределенностей системы до и после получения информации. Степень неопределенности состояния системы характеризуется *энтропией*. Если начальная энтропия системы равна $H(D)$, а после получения информации - $H'(D)$, то внесенное количество информации: $J = H(D) - H'(D)$.

Энтропия отдельного состояния системы определяется по выражению: $H(D_i) = \log_2 \left(\frac{1}{P(D_i)} \right)$, (1)

где $P(D_i)$ - априорная вероятность состояния D_i .

Энтропия всей системы (всех состояний) представляет собой среднее значение энтропии отдельных ее состояний:

$$H(D) = \sum_{i=1}^n P(D_i) \cdot H(D_i) = \sum_{i=1}^n P(D_i) \cdot \log_2 \left(\frac{1}{P(D_i)} \right) = - \sum_{i=1}^n P(D_i) \log_2 P(D_i) \quad (2)$$

Если все априорные вероятности состояний системы равны, энтропия системы имеет максимальное значение и соответствует наибольшей неопределенности. Если же вероятность какого-то состояния $P(D_i) = 1$, а вероятность всех остальных состояний равна нулю, то система не имеет неопределенности и $H(D) = 0$. Следует отметить, что энтропия не полностью характеризует неопределенность системы, так как она учитывает только вероятности состояний и их число, но не учитывает относительную ценность (важность) этих состояний.

В процессе диагностирования представляет интерес степень определенности знаний о состоянии привода, полученных по

результатам измерений параметров. При диагностировании гидравлических и пневматических приводов машин информацию об их техническом состоянии (система диагнозов D) получают с помощью наблюдения за другой, связанной с ней системой признаков (сигналов) k . Среднюю величину этой информации, или информативность системы k относительно системы D определяют из равенства:

$$J_D(k) = H(D) - H(D/k),$$

где $H(D/k)$ - энтропия системы D после измерения параметров k .

После ряда преобразований можно получить выражение для расчета количества информации, которое вносит система признаков k в систему технических состояний (диагнозов) D :

$$\begin{aligned} J_D(k) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i \cdot k_j) \cdot \log_2 \left(\frac{P(D_i \cdot k_j)}{P(D_i) \cdot P(k_j)} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i) \cdot P\left(\frac{k_j}{D_i}\right) \cdot \log_2 \left(\frac{P(k_j \cdot D_i)}{P(k_j)} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где $P(k_j)$ - априорная вероятность появления признака k_j ; $P(k_j/D_i)$ - условная вероятность появления признака k_j при диагнозе D_i .

Информацию, полученную в результате контроля системы признаков k относительно отдельного состояния D_i можно определить

по выражению:
$$J_{D_i}(k) = \sum_{j=1}^m P\left(\frac{k_j}{D_i}\right) \cdot \log_2 \left(\frac{P(k_j \cdot D_i)}{P(k_j)} \right) \quad (4)$$

Информация, которую несет некоторый признак k_j относительно

отдельного состояния D_j :
$$J_{D_i}(k_j) = \log_2 \left(\frac{P(k_j \cdot D_i)}{P(k_j)} \right) \quad (5)$$

Следует отметить, что использование неинформативных признаков не только оказывается бесполезным, но и снижает эффективность самого процесса диагностирования, создавая помехи при распознавании.

Сложный признак (разряда m) - результат обследования, который может быть выражен одним из m символов.

Простым признаком называется результат обследования, который может быть выражен одним из двух символов (или двоичным числом). Простой признак можно рассматривать как систему, имеющую одно из двух возможных состояний.

Сложным признаком разряда t называют результат обследования, который может быть выражен одним из t символов. Разряды признаков называются *диагностическими интервалами*.

Обозначим реализацию признака k_j через k_{js} , где s - номер диагностического интервала. Оценим значимость (полезность) реализации диагностических признаков для распознавания того или иного технического состояний (диагноза), используя положения теории информации.

Диагностический вес реализации некоторого признака для диагноза D_i представляет собой информацию, которой обладает эта реализация. Диагностический вес называют также ценностью информации и определяют по выражению, аналогичному тому, которое используется для расчета количества информации:

$$z_{D_i}(k_{js}) = \log_2 \left(\frac{P(D_i/k_{js})}{P(D_i)} \right), \quad (6)$$

где $P(D_i/k_{js})$ - вероятность диагноза D_i при условии, что признак k_j получил реализацию k_{js} .

Это выражение можно записать в более удобном для вычислений виде:

$$z_{D_i}(k_{js}) = \log_2 \left(\frac{P(k_{js}/D_i)}{P(k_{js})} \right) \quad (7)$$

где $P(k_{js}/D_i)$ - вероятность появления интервала s признака k_j для всех объектов с диагнозом D_i ; $P(k_{js})$ - вероятность появления этого интервала у всех объектов с различными диагнозами.

Диагностический вес той или иной реализации признака еще не дает полного представления о диагностической ценности обследования по данному признаку. Например, наличие признака может не иметь диагностического веса, а его отсутствие очень важно для установления диагноза.

Диагностической ценностью обследования по признаку k_j для диагноза D_i называют величину информации, вносимую всеми реализациями признака k_j в установление диагноза D_i . Для m -разрядного признака:

$$z_{D_i}(k_j) = \sum_{s=1}^m P\left(\frac{k_{js}}{D_i}\right) \cdot z_{D_i}(k_{js}) = \sum_{s=1}^m P\left(\frac{k_{js}}{D_i}\right) \cdot \log_2 \left(\frac{P(k_{js}/D_i)}{P(k_{js})} \right) \quad (8)$$

Для двухразрядного признака:

$$z_{D_i}(k_j) = z_{D_i}(k_j') + z_{D_i}(\bar{k}_j) = \sum_{s=1}^2 P\left(\frac{k_{js}}{D_i}\right) \cdot z_{D_i}(k_{js}) =$$

$$= P\left(\frac{k_j'}{D_i}\right) \cdot \log_2\left(\frac{P(k_j'/D_i)}{P(k_j')}\right) + P\left(\frac{\bar{k}_j}{D_i}\right) \cdot \log_2\left(\frac{P(\bar{k}_j/D_i)}{P(\bar{k}_j)}\right),$$

где \bar{k}_j - обозначает отсутствие проявления признака k_j ; k_j' - наличие признака.

Общая диагностическая ценность обследования по признаку k_j для всей системы диагнозов D - это количество информации, вносимое обследованием по признаку k_j в систему всех диагнозов D :

$$z_D(k_j) = \sum_{i=1}^n P(D_i) \cdot z_{D_i}(k_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^m P(D_i) \cdot P(k_{js}/D_i) \cdot \log_2\left(\frac{P(k_{js}/D_i)}{P(k_{js})}\right) \quad (9)$$

Таким образом, при оптимизации числа диагностических признаков (параметров), необходимых для оценки технического состояния гидроприводов и их агрегатов, следует отдавать предпочтение тем признакам, которые имеют наибольшую диагностическую ценность, позволяют обнаружить неисправность на самых ранних стадиях их развития и которые удобно определять, измерять и обрабатывать в процессе анализа.

Выполнить диагностику состояний золотникового распределителя (исходные данные табл. П.1.1).

Признаками состояний является наличие абразивного загрязнителя в рабочей жидкости. Исследованию подвергались N распределителей, среди которых N_1 имели исправное состояние D_1 и N_2 неисправное состояние D_2 . Рассмотрим 3 признака состояний k_1 - содержание абразива менее 10 г/т, k_2 - содержание абразива от 10 до 20 г/т, k_3 - содержание абразива более 20 г/т. По результатам исследования партии распределителей установлено, что принадлежностью к состоянию D_1 характеризуются n_{11} - аппаратов с признаком k_1 , n_{12} - с признаком k_2 , n_{13} - с признаком k_3 ; принадлежностью к состоянию D_2 характеризуются n_{21} - аппаратов с признаком k_1 , n_{22} - с признаком k_2 , n_{23} - с признаком k_3 .

1. Необходимо определить вероятности $P(D_i k_j)$. Среди N распределителей n_{11} характеризовались принадлежностью к состоянию D_1 с признаком k_1 , и n_{21} - характеризовались принадлежностью к состоянию D_1 с признаком k_1 , т.е.

$$P(k_1) = P(D_1k_1) + P(D_2k_1) = \frac{n_{11}}{N} + \frac{n_{21}}{N},$$

$$P(D_1) = P(D_1k_1) + P(D_1k_2) + P(D_1k_3) = \frac{n_{11}}{N} + \frac{n_{12}}{N} + \frac{n_{13}}{N}.$$

Аналогичным образом рассчитываем вероятности $P(D_2)$, $P(k_2)$, $P(k_3)$.

2. Определяем среднюю информацию о состоянии распределителя по содержанию масла по выражению (3):

$$J_D(k) = \frac{1}{\log_2} \left(P(D_1k_1) \cdot \log \frac{P(D_1k_1)}{P(D_1) \cdot P(k_1)} + P(D_1k_2) \cdot \log \frac{P(D_1k_2)}{P(D_1) \cdot P(k_2)} + \dots + P(D_2k_3) \cdot \log \frac{P(D_2k_3)}{P(D_2) \cdot P(k_3)} \right).$$

Полученное значение определяет информативность признака наличия абразива в масле на состояние распределителя, т.е. при информативности менее 0,9 нельзя полностью характеризовать состояние распределителя.

3. Определить информативность признаков относительно неисправного состояния по выражению (4):

$$J_{D_2}(k) = \frac{1}{\log_2} \left(\frac{P(D_2k_1)}{P(D_2)} \cdot \log \frac{P(D_2k_1)}{P(D_2) \cdot P(k_1)} + \frac{P(D_2k_2)}{P(D_2)} \cdot \log \frac{P(D_2k_2)}{P(D_2) \cdot P(k_2)} + \frac{P(D_2k_3)}{P(D_2)} \cdot \log \frac{P(D_2k_3)}{P(D_2) \cdot P(k_3)} \right).$$

4. Оценить количество информации, полученной при измерении k_j признака относительно неисправного состояния D_2 по выражению (5).

По результатам расчета сделать вывод, какой из признаков имеет наибольшую информацию о состоянии распределителя, т.е. по какому признаку необходимо определять неисправное состояние.

Задание 2. Выполнить оценку состояний следящего привода.

Необходимо классифицировать вид неисправности: гидродвигателя или золотникового распределителя следящего привода (исходные данные в таблице П.1.2).

Для оценки состояний следящего привода приняты два признака: $x_1=k_1$ — температура рабочей жидкости и $x_2=k_2$ — давление

в гидроцилиндре. Моделирование показало, что увеличение температуры рабочей жидкости на 50 °С и давления на 200 МПа связано либо с неисправностью золотникового распределителя (состояние D_1), либо с неисправностью гидродвигателя (состояние D_2). При исправном состоянии привода (состояние D_3) признак k_1 наблюдается в $y_1\%$ случаев ($P(k_1/D_3)$), а признак k_2 проявляется в $y_2\%$ случаев ($P(k_2/D_3)$). По опыту эксплуатации известно, что $y_3\%$ приводов вырабатывают ресурсы в исправном состоянии ($P(D_3)$), $y_4\%$ — имеют состояние D_1 ($P(D_1)$) и $y_5\%$ — состояние D_2 ($P(D_2)$). Также известно, что признак k_1 встречается при состоянии D_1 в $y_6\%$ случаев ($P(k_1/D_1)$), при состоянии D_2 в $y_7\%$ случаев ($P(k_1/D_2)$). Признак k_2 при состоянии D_1 проявляется в $y_8\%$ случаев ($P(k_2/D_1)$), а при состоянии D_2 в $y_9\%$ случаев ($P(k_2/D_2)$).

Определить состояние привода.

1. Найти вероятность состояний привода в случае проявления обоих признаков

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{D_1}{k_1 k_2}\right) &= \frac{P(D_1)P(k_1/D_1)P(k_2/D_1)}{\sum_1^3 P(D_i)P(k_1/D_i)P(k_2/D_i)}; \\
 P\left(\frac{D_2}{k_1 k_2}\right) &= \frac{P(D_2)P(k_1/D_2)P(k_2/D_2)}{\sum_1^3 P(D_i)P(k_1/D_i)P(k_2/D_i)}; \\
 P\left(\frac{D_3}{k_1 k_2}\right) &= \frac{P(D_3)P(k_1/D_3)P(k_2/D_3)}{\sum_1^3 P(D_i)P(k_1/D_i)P(k_2/D_i)}.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

2. Найти вероятность состояний, когда реализовался только признак k_1 . Отсутствие признака k_2 равносильно наличию признака k_2 , тогда вероятность $P\left(\frac{k_2}{D_i}\right) = 1 - P\left(\frac{k_1}{D_i}\right)$ и расчет ведется по формулам (10).

3. Найти вероятность состояний, когда реализован только признак k_2 . Отсутствие признака k_1 равносильно наличию признака k_1 , тогда вероятность $P\left(\frac{k_1}{D_i}\right) = 1 - P\left(\frac{k_2}{D_i}\right)$ и расчет ведется по формулам (10).

4. Результаты расчета свести в таблицу.

Таблица 1 Результаты расчета вероятностей классификации состояний следящего привода

Реализация признаков	Вероятности		
	$P(D_1/k_1k_2)$	$P(D_2/k_1k_2)$	$P(D_3/k_1k_2)$
k_1 и k_2			
k_1			
k_2			

5. По уровню (достоверности) диагноза $P_{тр}$ необходимо сделать вывод о возможности классификации неисправности по одному из признаков или по наличию двух признаков, или о недостаточности использованных признаков.

Задание 3. Ответить на поставленные вопросы.

1. Что такое техническая диагностика?
2. Перечислите методы и модели технической диагностики.
3. Поясните основное содержание аналитических диагностических моделей привода.
4. Объясните принцип построения таблиц функций неисправностей.
5. Поясните содержание виброакустической модели диагностики.
6. Что понимается под информативностью признаков технического состояния?
7. Перечислите методы выбора признаков технического состояния и их различия.
8. Перечислите методы принятия решений классификации технического состояния.
10. Какие требования следует предъявлять к средствам технической диагностики?
11. Какая разница между стационарными, встроенными и переносными средствами технической диагностики ?

Литература

1. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем. Мн.: Белавтотракторостроение, 2000.- 120 с: ил.
2. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем: Учеб. пособие/ Н.В. Богдан, П.Н. Кишкевич, В.С. Шевченко; Под ред. Н.В. Богдана. - Мн.: Ураджай, 2001. – 396 с.: илл.
3. Техническая диагностика гидравлических приводов /Т.В.Алексеева, В.Д.Бабанская, Т.М.Башта и др.; Под общ.ред. Т.М.Башты.- М.: Машиностроение. 1989.- 264 с: ил.
4. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности "Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика".-М.Машиностроение, 1990.-248 с: ил.

Приложение 1

Таблица П.1.1

№ варианта	N	N_1	N_2	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{21}	n_{22}	n_{23}
1	200	128	72	80	40	8	0	12	60
2	120	75	45	47	21	7	3	11	31
3	100	64	36	42	16	6	1	13	22
4	130	45	85	9	8	28	42	15	28
5	140	65	75	35	15	15	5	10	60
6	150	100	50	80	15	5	3	12	35
7	110	35	75	20	10	5	4	11	60
8	160	93	67	70	13	10	8	19	40
9	170	107	63	95	5	7	7	24	32
10	180	138	42	105	25	8	6	17	19
11	190	149	41	96	49	4	5	12	24
12	105	29	76	10	15	4	34	17	25
13	115	85	30	65	15	5	0	3	27
14	125	94	31	70	50	5	2	8	21
15	135	103	32	90	9	4	1	13	18
16	145	120	25	95	15	10	3	18	4
17	155	75	80	15	5	55	46	22	12
18	165	75	90	6	4	65	47	9	34
19	175	90	85	56	5	29	48	14	23
20	185	110	75	60	20	30	0	17	58
21	195	130	65	96	10	24	29	21	15
22	95	35	60	16	19	0	28	20	12
23	205	135	70	90	22	23	27	10	33
24	90	10	80	2	7	1	2	5	73
25	210	120	90	98	2	20	25	16	49
26	85	15	70	4	11	0	24	17	29
27	215	140	75	91	18	31	23	18	24
28	80	13	67	0	1	12	22	19	36
29	220	160	60	117	18	25	2	20	38
30	225	155	70	138	11	6	0	21	49

Таблица П.1.2

Априорная информация по данным эксплуатации.

№ варианта	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
1	0	15	70	10	20	25	45	20	60
2	1	14	80	10	10	26	44	5	50
3	2	13	90	3	7	27	43	10	55
4	3	12	85	7	8	28	42	15	65
5	4	11	75	20	5	29	41	25	70
6	5	10	65	20	15	30	40	6	61
7	0	9	60	20	20	24	39	11	62
8	1	16	70	20	10	22	38	16	63
9	2	17	80	5	15	23	37	24	64
10	3	18	90	5	5	21	36	7	66
11	4	19	85	6	9	20	35	12	67
12	0	20	75	10	15	19	34	17	68
13	1	15	65	10	25	31	33	23	69
14	2	14	60	10	30	18	32	8	51
15	3	13	70	20	10	25	31	13	52
16	4	12	70	5	25	26	30	18	53
17	5	11	80	15	5	27	46	22	54
18	0	10	90	6	4	28	47	9	56
19	1	9	85	10	5	29	48	14	57
20	2	16	75	5	20	30	49	19	58
21	3	17	65	25	10	24	29	21	59
22	4	18	60	16	24	22	28	20	71
23	5	19	70	8	22	23	27	10	72
24	0	20	80	13	7	21	26	15	73
25	0	15	90	8	2	20	25	16	74
26	1	15	85	4	11	19	24	17	75
27	2	14	75	7	18	31	23	18	76
28	3	13	65	14	21	18	22	19	77
29	4	12	60	32	18	25	21	20	78
30	5	11	70	19	11	26	20	21	79

Стасенко Дмитрий Леонидович

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

**Методические указания
к контрольным работам по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»
заочной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 08.12.10.

Рег. № 50Е.

E-mail: ic@gstu.by
<http://www.gstu.by>