

**ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ  
ПО ПАРАМЕТРАМ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ**

Оборудование машин, гидравлическими системами, позволило значительно увеличить их производительность, повысить точность управления и облегчило возможность синтеза различных схем многопоточных трансмиссий. Возникающие неисправности гидропривода могут быть идентифицированы при помощи бортовых диагностических систем. В статье представлено описание подобной системы, которая разработана в Радомском политехническом институте и может быть использована для диагностики и мониторинга гидравлических приводов стационарных и самоходных машин. В процессе диагностирования используются некоторые параметры состояния гидравлического масла, которые являются источником информации о техническом состоянии контролируемых объектов.

**Ключевые слова:** гидропривод, диагностика, жидкость, загрязнения.

Широкое распространение гидравлических систем обуславливает необходимость определения их технического состояния в процессе диагностики машин, в которых эти системы применяются. В зависимости от требований процесс диагностирования проводится периодически или в случае возникновения неисправности. Все чаще, в экономически обоснованных случаях, такое диагностирование выполняется в процессе непрерывного диагностического надзора.

Мониторинг облегчает своевременную замену элементов гидравлических устройств, которые находятся в критическом состоянии, вызывают потерю энергии в гидросистеме, но не могут быть выявлены в процессе тщательного осмотра.

В результате проводимых исследований [1] для типичного гидрообъемного привода предлагается использовать систему диагностики и мониторинга (рис. 1), состоящую из контроллера с модулями аналоговых и цифровых входов/выходов, коммуникационных модулей и конвертеров измерения основных параметров, т.е. давления, расхода рабочей жидкости, температуры, момента, силы, скорости и уровня рабочей жидкости в баке.

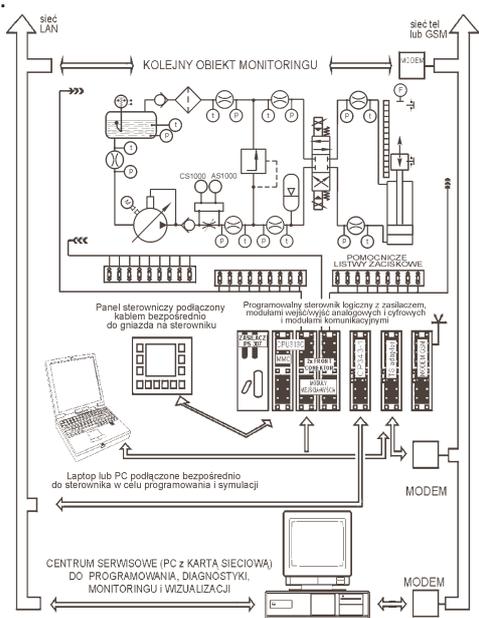
Учитывая необходимость наблюдения за состоянием рабочей жидкости в процессе диагностики гидравлических систем на последнем этапе система дополнительно снабжена конвертерами для измерения степени загрязнения масла и содержания в нем воды.

Диагностический процесс реализуется микроконтроллером системы, использующим диагностические процедуры, разработанные на основании алгоритмов оценки технического состояния для отдельных элементов, узлов или целого устройства [2] введённых в его память. Микроконтроллер считывает данные с датчиков, конвертеров и выключателей, связывает их временным штампелем и записывает в буфере с временным окном. Параметры могут быть отфильтрованы в зависимости от требований пользователя. Избранные значения диагностических параметров и реакции системы на изменения параметров, вызванные исполнительными подсистемами, регистрируются, анализируются и сравниваются с параметрами или эталонами, т.е. с состояниями, сохранёнными в памяти микроконтроллера, при которых машина выполняет ожидаемые действия.

При возникновении существенных расхождений функция самодиагностирования интерпретирует эту ситуацию как возникновение неисправности и регистрирует в памяти значение параметра или соответствующий код недостатка.

В случае тревоги происходит генерация соответствующего сигнала для оператора и отправка ему информации вместе с параметрами, которые инициировали тревогу, в сервисный центр.

Существенным фактором, оказывающим влияние на надёжную работу системы, является обеспечение коммуникации внутри системы, а также обеспечение коммуникации с системой сервисных служб. Благодаря такой взаимосвязи центр сервиса получит возможность рекомендовать различные мероприятия до того, как на необходимость их проведения обратит внимание пользователь, например, потребность в замене механических элементов, фильтров или масла. Задачи мониторинга и визуализации реализованы на базе программы WinCC, обеспечивающей возможность управления, параметризации и изображения работы систе-



**Рис. 1. Система диагностики и мониторинга гидравлических приводов.**

\* - автор, с которым следует вести переписку.

мы, машины или процесса на компьютере класса PC и оценки технического состояния устройства.

Коммуникация в системе реализуется на трёх уровнях:

- первый внутри системы;
- второй между компонентами диагностической системы, модулями I/O и объектовой аппаратурой;

- третий уровень коммуникации в глобальном радиусе действия с использованием коммуникационных сетей типа Интернет для коммуникации сервисного центра с объектами обеспечивая доступ к информации о состоянии контролируемой системы из произвольного места и дистанционную диагностику и программирование.

В системе применён коммуникационный модуль CP343-1 IT, использующий самые новые достижения технологии Web и e-mail и позволяющий держать под дистанционным контролем технологический и диагностический процессы. Он предназначен для обмена информацией между микроконтроллерами PLC или другими совместимыми партнёрами (PC, процессоры и другие) при помощи сети Интернет. Модуль исполняет функцию сервера сторон www с 16 МБ памяти для файлов встроенной диагностической системы. Процессор также может посылать e-mail сообщения, инициируемые функциональным блоком FC в программе микроконтроллера PLC.

Прогресс в технике и технологии гидравлических систем показывает, что применяемые в них в настоящее время компоненты более точны и производительны, но в тоже время и более дорогостоящи, чем применяемые 10 лет назад. Это означает рост требований к применяемым гидравлическими жидкостями.

Исследования показывают, что 70-80% всех аварий гидравлических систем является последствием загрязнения рабочей жидкости. Расширение сферы диагностики параметров состояния гидравлического масла позволяет получить существенную информацию о состоянии самого масла и гидросистемы в целом, а также удостовериться в данных диагностического процесса.

Рабочая жидкость в гидросистеме машины может быть источником информации о её техническом состоянии, при условии, что в ней будет контролироваться количество, размеры и состав частиц износа, динамика изменений определённых физико-химических параметров рабочей жидкости, а также содержание воды.

Правильно спланированная и реализованная программа анализа и диагностики рабочей жидкости позволяет максимально повысить безотказность, долговечность и функциональность гидравлических устройств, при одновременном снижении затрат на их эксплуатацию. Мониторинг состояния загрязнений в рабочей жидкости и продуктов износа узлов позволяет раскрыть механизм износа до того, как произойдет серьёзная авария с дорогостоящий простой машины.

Сущность анализа рабочей жидкости состоит в наблюдении за изменением её параметров во времени с учётом граничных значений.

Для полной оценки состояния рабочей жидкости необходима оценка количества и состава твёрдых и жидких загрязнений, а также физико-химических параметров. Если оценку состояния рабочей жидкости выполнять в течение некоторого времени, то можно определить тенденцию изменений и прогнозировать мероприятия по техническому обслуживанию.

Для измерения уровня механических примесей кроме лабораторных средств используемых для контроля загрязнений, которые непригодны для использования в качестве встроенных средств, всё чаще применяются автоматические счётчики частиц, действующие по следующему принципу. Источник света (чаще всего монохромного) посылает световой поток на фотоэлектрический датчик, который преобразует его в электрический сигнал. Проходящая между источником света и фотоэлектрическим датчиком частица загрязнения, создаёт на нём тень, вызывающую изменение интенсивности света падающего на фотодиод, изменяя, тем самым, посылаемый далее электрический сигнал. Это даёт возможность определить степень загрязнения. Электронная система устройства анализирует полученные данные и на этой основе проводит подсчёт на соответствие с классами чистоты масла по ГОСТам ISO 4406:1987, ISO 4406:1999, NAS 1638 или SAE AS 4059. Автоматические счётчики частиц, работающие по этому принципу, дают возможность быстро определить класс чистоты масла, а в случае превышения допустимых значений принять эффективные меры по восстановлению эксплуатационных параметров масла. Кроме того, появляется возможность использовать счётчики для непрерывного мониторинга класса чистоты масла.

В настоящее время существует целый ряд датчиков для измерения уровня загрязнений, позволяющих без больших финансовых расходов построить надёжную и безопасную систему. Одним из них является ContaminatioSensor CS1000 фирмы Hudas. Это устройство (рис. 2) производится в двух версиях и может быть применено в мобильных и стационарных системах гидравлики:

- с дисплеем и клавиатурой для программирования;

- без дисплея и клавиатуры, применяемые особенно в мобильных системах.



Рис. 2. Датчик контаминации CS1000.

Главные преимущества устройства:

- малые размеры;
- степень охраны IP69K (IP67 для версии с дисплеем);
- максимальное рабочее давление до 450 бар;
- напряжение питания от 9 до 36 VDC;
- аналоговый выход от 4 до 20 mA;
- калибрация по ISO 4406: 1999.

Принцип действия датчиков заключается в эмиссии направленного светового потока на фотоэлектрический датчик, который преобразует его в электрический сигнал и посылает далее на фотоэлемент затем на усилитель, детектор и окончательно — в электронную считывающую систему.

Проходящая между источником света и фотоэлектрическим датчиком частица загрязнения, создаёт тень, который вызывает изменение интенсивности светового потока падающего на фотодиод и, тем самым, изменение электрического сигнала, в дальнейшем даёт возможность определить степень загрязнения. Электронная система устройства анализирует полученные данные и преобразует в класс чистоты масла по ГОСТам ISO4406:1999, NAS 1638 или SAE AS 4059. Достоинствами этого устройства являются:

- большой измерительный диапазон;
- высокая точность измерения;
- способность самостоятельного подсчета результата;
- возможность перехода к признанным стандартам калибрации загрязнений;
- низкая чувствительность на помутнение гидравлической жидкости под влиянием загрязнений, компенсируемая путем регулирования интенсивности света при помощи внутренних сенсоров.

В качестве недостатков следует отметить вероятность ошибки при измерении частиц закрытых частицами с большим объёмом или друг другом. В первом случае детектор света не считывает маленькие частицы, во втором — выхватывает

картину частицы с увеличенными габаритами, что в последствии может привести к неточности в оценке степени загрязнения.

Для измерения содержания воды в маслах в лабораторных условиях используется метод *Karla Fischera* отвечающий норме DIN EN ISO 12937. Он состоит в добавлении в закрытую камеру определённого количества масла и двух реагентов. В результате химической реакции между реагентами с находящейся в масле водой образуется водород, количество которого, а также давление, пропорциональны количеству находящейся в масле воды.

При создании встроенных средств контроля могут быть использованы методы, на основе которых работают средства для удаления загрязнений из рабочих жидкостей. Например, метод фильтрации и метод силовых полей применяются для удаления механических примесей и определения их количества. Таким же образом общие принципы теплофизических методов обезвоживания гидравлических масел могут быть использованы для создания средств определения содержания воды.

Гидравлическая схема устройства для контроля качества очистки гидравлических масел от воды от воды путем вакуумирования при нагреве представлена на рис. 3.

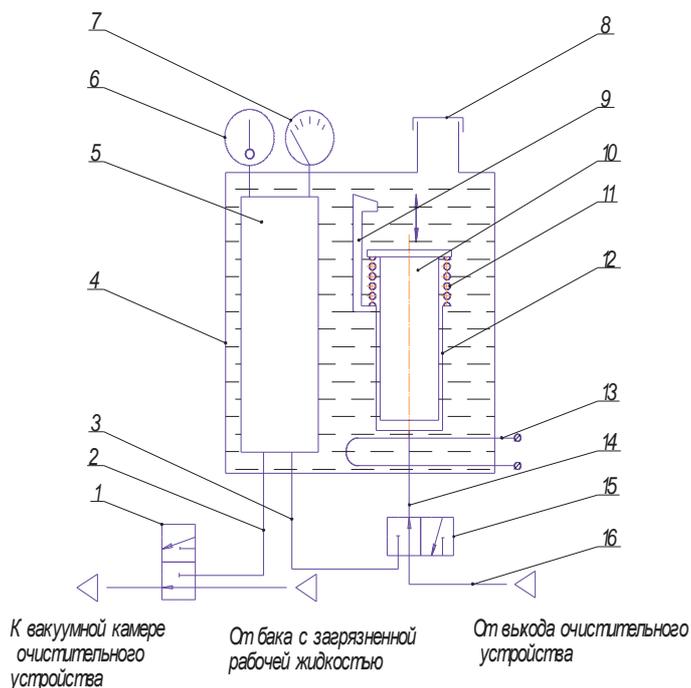


Рис.3. Гидравлическая схема устройства для контроля качества рабочей жидкости, прошедшей вакуумирование:

- 1, 15 – гидрораспределители; 2, 3, 14, 16 - трубопроводы; 4 – термостат; 5 – измерительная камера; 6 – термометр; 7 – вакуумметр, проградуированный в объемных процентах влажности; 8 – воздушный клапан; 9 - ограничитель; 10 – плунжер; 11 – возвратная пружина; 12 – цилиндр; 13 – нагревательный элемент.

Для периодической оценки качества обезво-

живания масла гидрораспределитель 1 переключается в положение, при котором вакуумная камера очистительного устройства соединяется через трубопровод 2 с измерительной камерой 5, а гидрораспределитель 15 переключается в положение, при котором измерительная камера 5 соединяется через трубопроводы 3 и 14 с цилиндром 12. В результате давление в измерительной камере 5 снижается до определенной постоянной величины, фиксируемой вакуумметром 7. Одновременно с этим плунжер 10 под действием атмосферного давления входит в цилиндр 12, сжимая пружину 11. Затем гидрораспределители 1 и 15 переключаются в исходное положение, выходной канал очистительного устройства соединяется через трубопроводы 16, 14 и через гидрораспределитель 15 — с цилиндром 12. Пружина 11 разжимается, выталкивая плунжер 10 в положение, определяемое ограничителем 9, и полость плунжерной пары заполняется маслом, прошедшим процесс обезвоживания.

После переключения гидрораспределителя 15 в положение, при котором цилиндр 12 соединяется через трубопроводы 14 и 3 с измерительной камерой 5, давление в которой ниже атмосферного, плунжер 10 под действием атмосферного давления выталкивает порцию рабочей жидкости в измерительную камеру 5. Через 30 секунд (время необходимое для испарения воды, содержащейся в пробе рабочей жидкости) по величине давления в измерительной камере 5, фиксируемого вакуумметром 7, определяется процентное содержание воды в пробе рабочей жидкости. При выявлении воды в рабочей жидкости, прошедшей через очистительное устройство, производится регулировка режима его работы. Термостат 4 обеспечивает равномерный и постоянный нагрев всей внутренней поверхности измерительной камеры 5 и цилиндра 12, что необходимо для обеспечения точности результата при определении парциального давления паров воды. При проектировании устройства для определения процентного содержания воды в рабочих жидкостях выполняется расчет пределов измерения содержания воды, которые оцениваются косвенно по показаниям вакуумметра, проградуированного в объемных процентах влажности. Устройство позволяет определять содержание воды в гидравлических маслах, которая находится в свободном и растворенном состоянии, а также в виде эмульсии с точностью до 0,1% по объему.

Указанные средства, к сожалению, не позволяют обеспечивать непрерывный контроль содержания воды в масле. Для измерения содержания воды в масле по предлагаемой схеме используется ёмкостный конвертер AS 1000 фирмы Нудас (рис. 4) разрешающий on-line измерять температуру и содержание воды, растворенной в масле. Изменение степени насыщения масла водой меняет электрическую емкость датчика. Выходящие из датчика сигналы значений от 4 до 20

mA соответствуют степени насыщения в границах от 0 до 100% и температуре от -25 °С до 100 °С. Датчик может быть использован в самоходных и промышленных машинах с гидроприводом (бумажная промышленность, металлургия, энергетика), в системах смазки, в авиации (специальное исполнение для масла Skydrol).

Технические характеристики устройства:

- измерительный диапазон: от 0 до 100% содержания растворенной воды при температуре от -25 °С до 100 °С;
- аналоговый выход от 4 до 20 mA;
- напряжение питания от 12 до 32 VDC;
- максимальное рабочее давление до 630 бар;
- диапазон вязкости от 1 cSt до 5000 cSt.



Рис. 4. Конвертер Aqua-Sensor AS 1000.

Информацию, получаемую при работе датчиков, можно различными способами визуализировать и использовать или в диагностическом процессе, или, например, для управления фильтрующими агрегатами или агрегатами, отделяющими воду от масла. Это дает пользователю широкие возможности для контроля за условиями эксплуатации, сервисных работ и что существенно в современном хозяйстве, для ограничения до минимума издержек, связанных с возможными авариями и простоями.

Рассматривается возможность применения дополнительного конвертера, позволяющего измерять вязкость и электрическую проницаемость и, тем самым, наблюдать за процессом старения масла.

### Литература

1. Trela, Z. Wizualizacja w procesie diagnostyki pokładowej układów hydraulicznych / Z. Trela // Konferencja Naukowa, "Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne, 2007". - Wrocław, 2007.
2. Chalamoński, M. Diagnostowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych. / M. Chalamoński. - Wyd. ATR, Bydgoszcz, 2000.
3. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2367830 Рос. Федерация: МПК F15B 21/4 / Плеханов Г.Н., Калашников Л.А.; заявитель и патентообладатель Брат. гос. ун-т. - №2008107351; заявл. 26.02.07; опубл. 20.09.2009, Бюл. № 26. - 5 с.