

были получены рекордные намолоты в 4000 т зерна. Во многих сельскохозяйственных организациях средние намолоты достигли показателя в 1000–1500 т зерна. Сроки проведения зерноуборочных работ во многих сельскохозяйственных организациях превысили нормативные и являются одной из существенных причин потери урожайности зерна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клочков, А. В. Уборка-2019: предварительные результаты / А. В. Клочков. – Часть 1. Зерновые и травы // Наше сельское хозяйство. – № 15. – август 2019. – С. 24–32.
2. Клочков, А. В. Основные результаты использования зерноуборочных комбайнов в 2019 году / А. В. Клочков, В. В. Гусаров, Р. В. Богатырев // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции, 3–4 октября 2019 г. – Гомель, 2019. – С. 106–108.

УДК: 629.3.064:681.518.5

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

С. А. ГРАБЦЕВИЧ, аспирант

В. В. ДОБРЯНЕЦ, аспирант

В. И. КОЦУБА, канд. техн. наук, доцент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** В настоящее время в организациях агропромышленного комплекса республики эксплуатируются около 42 тыс. тракторов различной мощности, из них 5,7 тыс. тракторов мощностью 250 лошадиных сил и более. Энергонасыщенные тракторы оснащаются гидросистемами с регулируемыми аксиально-поршневыми гидронасосами «Donaldson» A10CN045 и гидрораспределителями с электронной системой управления секциями распределителей EHS внешних потребителей фирмы «Bosch-Rexroth» [1].

Техническое обслуживание и ремонт гидросистемы подразумевают определение работоспособности ее элементов. Однако на предприятиях, как правило, отсутствует оборудование для контроля работоспособности элементов гидросистем тракторов с электронным управлением, а также отсутствуют критерии их оценки в процессе технического обслуживания и ремонта.

Следовательно, требуются разработки методов определения работоспособности гидросистем тракторов с электронным управлением. Одной из основных тенденций развития современных промышленных гидроприводов является обеспечение диагностики неисправностей. Актуальным является оценка технического состояния гидроагрегатов с учетом их индивидуальных возможностей. Реализовать это можно только с применением современных методов диагностирования [2].

**Основная часть.** Опыт показывает, что поиск неисправностей предпочтительно начинать с основных проблем и прорабатывать тестовые процедуры, учитывая такие признаки, как повышение температуры, шума, утечки и т. п. При этом порядок операций может меняться, так как определенные симптомы могут непосредственно указать на проблемную область.

Существует большое количество методов диагностики, но их можно разделить на два вида: тестовые и функциональные [2]. Они отличаются воздействиями, подающимися на входы объекта. Рассмотрим методы функционального диагностирования, которые проводятся в процессе применения оборудования по прямому назначению.

Сравнительная таблица методов диагностики гидроприводов

Метод	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Статопараметрический	Высокая точность, применим для всех гидроагрегатов	Трудоёмкость
Спектральный анализ	Высокая точность	Невозможно определить источник загрязнения
Кинематический	Наименее трудоёмкий	Низкая точность
Амплитудно-фазовых характеристик	Высокая точность	Трудоёмкость, необходимо использовать дополнительные устройства
Акустический	Малое время проведения	Тарировка и наличие помех
Измерение скорости нарастания усилия на рабочем органе	Простота проведения, быстрое получение результата	Невозможно определить источник проблемы. Проводится отдельно от основного процесса работы оборудования
Диагностика с помощью искусственной нейронной сети	Возможность предсказания отказов. Высокая точность	Сложность проектирования ИНС. Необходимость обучения ИНС
Методы статистических решений	Предсказывание возможных неисправностей	Диагностика не в реальном времени. Метод слишком трудоёмкий без использования ЭВМ

Первый метод – статопараметрический – основан на измерении параметров установившегося дросселированного потока рабочей жидкости. Диагностирующими параметрами его являются величина утечки рабочей жидкости, давление, коэффициент подачи и ее расход.

Проверка гидросистемы статопараметрическим методом проводится следующим образом. Сначала измеряется подача насоса при минимальном давлении. Далее увеличивают сопротивление последовательно включенного дросселя, что повышает давление на выходе из насоса. Проводится повторная проверка размера подачи на выходе из насоса уже при номинальном давлении.

Испытания должны проводиться при одинаковой частоте вращения вала насоса. По полученному результату разницы подач вычисляется коэффициент подачи, по которому судят о величине зазоров в гидрооборудовании и степени износа. Статопараметрический метод может использоваться для испытания всех механизмов гидропривода и на данный момент является наиболее распространенным методом диагностики [3].

Преимуществом данного метода является то, что он позволяет провести не только диагностику гидроаппарата, но и его обкатку. А высокая точность данного метода является его явным преимуществом. Но способ проведения статопараметрической диагностики является его недостатком. Проверка всех механизмов, подключение дополнительных датчиков, отсоединение гидролиний делают процесс испытаний очень трудоемким, хотя за последние два десятка лет при производстве техники с гидроприводом ее производители заранее устанавливают измерительную аппаратуру. Это позволило несколько снизить сложность проведения испытаний.

Наименее трудоемким методом диагностики является кинематический метод. Он определяет общее техническое состояние гидропривода по скорости перемещения исполнительных элементов. Согласно этому методу, общую оценку состояния гидропривода можно провести визуально, например, при значительном снижении скорости перемещения штока поршня.

Для получения точных данных о перемещении исполнительных элементов можно использовать акселерометры. Подключив их к компьютеру и используя специальное программное обеспечение, можно получить диаграмму ускорения перемещения рабочих органов механизма при определенной подаче насоса. Но диагностика этим методом не позволит локализовать место появления неисправности.

Метод амплитудно-фазовых характеристик (метод пульсации давления) основан на том факте, что между диагностическим параметром (импульсом нарастания давления) и подачей насоса (объемным КПД) при постоянном режиме диагностирования существует определенная зависимость. В общем случае интенсивность изменения давления определяется измерением величины и времени нарастания давления [3].

Амплитуда импульса и продолжительность нарастания давления измеряются следующим образом. Гидропривод выводится на определенный режим работы – необходимо задать частоту вращения вала насоса, вязкость рабочей жидкости и давление нагружения. Затем с помощью нагрузителя резко повышается рабочее давление в напорной гидрролинии до определенного значения и измеряется время нарастания давления от исходного значения давления до установившегося.

Для снижения погрешности время, затрачиваемое на изменение проходного сечения дросселя, должно быть строго постоянным. В простейшем случае для упрощения процесса диагностирования фиксируют величину интенсивности изменения давления путем дифференцирования сигнала, измеряемого в гидрролинии давления. Полученный сигнал сравнивается с заданным сигналом, соответствующим номинальной величине интенсивности нарастания давления, и по разности сигналов определяют техническое состояние диагностируемого объекта. Измерение амплитуды пульсаций проводится с помощью осциллографов. Реализация описанного способа может быть осуществлена с помощью устройств, измеряющих время снижения давления в заданном интервале и уровень снижения давления за заданный интервал времени.

Акустический метод применяется для диагностирования внутренней негерметичности гидроагрегатов. Измерения проводятся с помощью высокочувствительных микрофонов, которые в ультразвуковом диапазоне регистрируют шумы рабочей жидкости, протекающей через поврежденные уплотнения. Предварительная тарировка позволяет определить утечки в гидроуплотнителях, клапанах и других элементах гидросхемы. Необходимость тарировки и наличие помех от соседних агрегатов компенсируются высокой скоростью этого метода диагностики.

Виброакустический метод диагностики основывается на измерении вибраций объектов диагностирования. В отличие от акустического метода приборы регистрируют шумы не в ультразвуковом, а в более высоком диапазоне – от 500 до 1000 Гц. Виброакустический метод применяют в основном для механизмов с выраженным повторяющимся (циклическим) режимом работы, например, для гидронасосов. Его

основное достоинство – это возможность получения информации о работе любого элемента гидропривода без необходимости его отключения от работы и разборки. Приближенную оценку состояния системы можно проводить по замеренным в ее отдельных точках общим уровням вибраций в долях ускорения силы тяжести или в децибелах. Для измерения общего уровня вибрации применяют пьезоэлектрический измеритель ускорений ПИУ-1М с пьезоэлектрическим датчиком ускорений ПДУ-1 или ИС-313 [4]. Однако при использовании этого метода сложно выделять полезную информацию.

Силовой метод основан на определении усилия, создаваемого исполнительным механизмом. Проводя диагностику этим методом, невозможно получить данные об отдельных механизмах гидропривода или объеме утечек. Проводится оценка только лишь общего состояния привода. Поэтому этот метод схож с кинетическим. Невысокая точность – главный недостаток силового метода. Преимуществом метода является возможность проведения испытаний без специального оборудования. В некоторых случаях можно ограничиться визуальным осмотром заготовки после воздействия на нее рабочего механизма, чтобы понять, что давления в гидросистеме недостаточно для работы оборудования.

Измерение скорости нарастания усилия на исполнительном элементе является усовершенствованием силового метода. Для его проведения используются переносные накладные датчики. Скорость получения данных также является преимуществом этого метода диагностики, как и у трех предыдущих. Однако диагностика гидропривода этим методом не позволяет провести испытания систем с гидромотором.

Современные тенденции в области диагностики неисправностей гидравлических систем склоняются к использованию искусственных нейронных сетей (ИНС) для диагностики недостатков некоторых компонентов системы, таких, как клапаны, приводы, насосы или датчики. ИНС имеют возможность распознавания образов и диагностику, которую трудно описать в терминах аналитических алгоритмов диагностики, так как они могут получать входные образы сами по себе.

Принцип работы ИНС заключается в следующем. Сигналы от датчиков поступают на искусственные нейроны, которые представляют собой часть обрабатывающей программы, математическую функцию активации или функцию срабатывания. Вычисленный результат своей работы нейрон передает на выход функции. В большинстве случаев результат функций находится в промежутке, где значения соответствуют неисправному и исправному состоянию оборудования. Затем

данные от нейрона передаются на систему принятия решения, компьютер или на второй слой нейронов, если система двухнейронная.

Основной задачей ИНС является определение неисправности оборудования или предсказывание технических проблем по множеству поступающих значений. Для принятия решения должно учитываться большое количество факторов, таких, как вибрация оборудования или вязкость рабочей жидкости. Эти параметры постоянно изменяются, поэтому возможность обучения является первичной необходимостью для ИНС. Отлаженная и обученная ИНС представляет собой надежный инструмент проведения технической диагностики гидросистем.

Методы статистических решений отличаются от всех вышеперечисленных, которые проводятся с действующим оборудованием и позволяют выявить текущие неисправности какого-либо узла и всей системы в целом. Таким образом, они являются методами диагностики в реальном времени, что приводит к одному их общему недостатку – невозможности или малой вероятности предсказания качества работы системы. Диагностика, проводимая методами статистических решений, учитывает не только текущее состояние гидросистем, но и частоту появления всех типов отказов, а также параметры состояния агрегатов, при которых отказы возникали.

Одним из таких методов является метод Байеса, разработанный английским математиком XVIII века Томасом Байесом. Суть метода в предсказывании вероятности какого-либо события с учетом того, что другие связанные с ним события уже произошли. Диагностика проводится следующим образом. Рассматриваемый гидропривод находится в одном из состояний, и существует набор факторов, которые могут влиять на общее состояние системы, делая ее неисправной.

Задача данной методики в том, чтобы разработать общее правило, по которому можно предсказывать возможные неисправности, имея данные о текущем отрицательном факторе из множества или их совокупности [1]. Для обследования гидропривода и расчета его технического состояния используют формулу, затем для каждой реализации считаются вероятности появления комплекса.

**Заключение.** Методы диагностирования определяются исходя из поставленной перед системой диагностирования задачи. Они должны включать диагностическую модель гидропривода, правила измерения диагностических параметров, порядок их анализа и обработки. Высокая точность является основополагающим фактором при выборе метода диагностики, но ряд причин, таких, как узкие временные рамки или экономический фактор, когда владелец оборудования не имеет возможности на приобретение дополнительных тестовых аппаратов, вы-

нуждает специалистов, занимающихся ремонтом гидроприводов, прибегать к другим способам диагностики, не столь точным, но отвечающим текущим требованиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство и применения гидропривода на энергонасыщенных тракторах марки БЕЛАРУС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://data.trendeconomy.ru/dataviewer/wb/wbd/wdi?ref\\_area=BLR&series=AG\\_AGR\\_TRAC\\_NO](http://data.trendeconomy.ru/dataviewer/wb/wbd/wdi?ref_area=BLR&series=AG_AGR_TRAC_NO). – Дата доступа: 26.12.2018.
2. Богдан, Н.В. Техническая диагностика гидросистем / Н. В. Богдан, М. И. Жилевич, Л. Г. Красневский. – Минск: Белавоттракторостроение, 2000. – 120 с.
3. Алексеева, Т.В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
4. Харазов, А.М. Технологическая диагностика гидроприводов машин / А. М. Харазов. – М.: Машиностроение, 1979. – 112 с.
5. Кондаков, Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л. А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.

УДК: 629.7.063.6:681.518.5

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

В. В. ДОБРИЯНЕЦ, аспирант

С. А. ГРАБЦЕВИЧ, аспирант

В. И. КОЦУБА, канд. техн.наук, доцент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Анализ неисправностей двигателя показывает, что наиболее частые отказы имеют системы подачи топлива (насосы высокого давления, форсунки), механизмы газораспределения и детали цилиндропоршневой группы. Неисправности указанных систем ДВС могут развиваться постепенно (износ) или мгновенно. Их появление приводит к ухудшению показателей работы двигателя – повышению расхода топлива, снижению мощности, повышению токсичности отработавших газов. Таким образом, возникновение указанных неисправностей отражается на ухудшении рабочего процесса двигателя. По этой причине контроль протекания рабочего процесса эффективен для прогнозирования технического состояния систем двигателя [1].

**Основная часть.** Диагностические системы характеризуются большим разнообразием технических средств измерения и обработкой