

УДК 621.43.001.4

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НАСОСОВ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА

Д.А. Жданко,

зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Я. Тимошенко,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

П.С. Хмельницкий,

студент агромеханического факультета БГАТУ

В статье приведен сравнительный обзор устройств для диагностирования насосов объемного гидропривода, представлены конструкция диагностического устройства и результаты ее экспериментальной поверки.

Ключевые слова: диагностика, диагностическое устройство, оценка технического состояния, аксиально-поршневой насос, гидростатическая трансмиссия, гидрообъемный привод.

A comparative overview of devices for diagnosing volumetric hydraulic drive pumps is provided in the article, the design of the diagnostic device and the results of its experimental verification are presented.

Keywords: diagnostics, diagnostic device, technical condition assessment, axial piston pump, hydrostatic transmission, hydraulic volume drive.

Введение

Качество диагностирования в основном определяется достоверностью, а также другими необходимыми показателями, которые зависят от уровня диагностики в системе эксплуатации и ремонта машин [1].

В процессе эксплуатации машин с гидроприводом технические параметры гидрооборудования изменяются от номинального значения до предельного в зависимости от влияния, как конструктивно-технологических факторов, так и эксплуатационных.

В гидропривод входят гидростатические, или объемные, и гидродинамические гидропередачи. В сельскохозяйственной технике наиболее часто применяют гидростатические гидропередачи, так как они позволяют распределять энергию по нескольким силовым потокам, обеспечивая при помощи гидродвигателей привод ходовой части и рабочих органов машины. Гидродвигатели могут быть удалены от насоса и установлены на машине в любом положении.

На основе гидростатических гидропередач с насосами и силовыми цилиндрами построены гидросистемы тракторов, предназначенные для управления навесными машинами. Гидростатические гидропередачи, выходным звеном которых являются гидродвигатели непрерывного действия, применяют в трансмиссиях самоходных машин, обеспечивая бесступенчатое регулирование скорости движения в широком диапазоне.

Основное испытание гидропривод проходит во время использования, тогда и проявляются отказы и неисправности системы. Так, например, по данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, во время уборочной кампании

2018 года из-за неисправности гидростатической трансмиссии простояло 21,9 % зерноуборочных комбайнов. Поэтому обеспечение ее надежности является важной производственной задачей. Для предупреждения и устранения неисправностей необходимо проводить своевременную диагностику гидроприводов.

Существует много методов функционального диагностирования, которые применяются в процессе использования оборудования по прямому назначению [2].

Основной метод, который применялся для исследований оценки технического состояния насосов объемного гидропривода, – статопараметрический – это самый точный и, в некоторой степени, трудоемкий метод. Объемный КПД определяется по величине утечек рабочей жидкости, давлению и ее расходу. Метод основан на измерении параметров установившегося дросселированного потока рабочей жидкости. Проверка гидросистемы статопараметрическим методом проводится следующим образом: измеряют подачу насоса при номинальном давлении; увеличивают сопротивление последовательно включенного дросселя, что повышает давление на выходе из насоса. По полученному результату подачи вычисляют коэффициент подачи, по которому судят о величине зазоров в гидрооборудовании и степени износа.

Целью исследований является разработка устройства для оценки технического состояния насосов объемного гидропривода.

Основная часть

Российскими и зарубежными учеными сделан большой вклад в развитие расходомерии [2-4]. Бла-

годаря их исследованиям, созданы и применяются в различных отраслях промышленности расходомеры с большим разнообразием конструкций, основанных на различных методах измерений. Их можно условно разделить на следующие четыре группы:

1. Приборы с механическим движением рабочего объема: тахометрические и силовые.

2. Приборы, основанные на гидродинамических методах: переменного перепада давления, переменного уровня, обтекания, вихревых, парциальных.

3. Приборы, в которых используются физические, не относящиеся к механическим и гидродинамическим, явления: тепловые, электромагнитные, акустические, оптические, ядерномагнитные, ионизационные.

4. Приборы, основанные на особых методах: корреляционных, концентрационных.

Оценивая существующие приборы для измерения расхода, необходимо учитывать условия, в которых будет проводиться техническое обслуживание мобильных машин. На поле и на территории машинного двора практически невозможно обеспечить надежную защиту этих приборов от повреждающего воздействия таких внешних факторов, как низкие температуры, атмосферные осадки, запыленность воздушной среды, вибрации, случайные удары при монтаже.

Небольшой имеющийся опыт применения импортных переносных приборов для контроля технического состояния машинно-тракторного парка свидетельствует о том, что эти приборы несовместимы с условиями эксплуатации машин, так как содержат легко повреждаемые электрические преобразователи, элементы электроники и сложные коммуникации. По этой причине эксплуатационные и ремонтные предприятия часто отказываются от приобретения подобных средств диагностики.

Тахометрическими называют расходомеры, имеющие вращающийся элемент, частота вращения которого пропорциональна объемному расходу. По конструкции вращающегося элемента эти расходомеры разделяют на камерные, турбинные, шариковые и роторно-шаровые [2-4].

Камерные тахометрические расходомеры снабжаются ротором в виде блока цилиндров, шестерен и др. Жидкость заполняет рабочие камеры и, таким образом, разделяется на порции, перемещаемые от входа к выходу за счет вращения ротора. На этом принципе, например, построены счетчики количества топлива в раздаточных бензоколонках. В составе стационарного оборудования для диагностирования гидроприводов часто используют обычные серийные низкомоментные гидромоторы, соединенные с тахогенераторами. Наряду с простотой, достаточной точностью, доступностью и сравнительно небольшой стоимостью таких расходомеров, у них есть существенные недостатки – громоздкость и тяжеловесность, что исключает возможность их применения в качестве переносных средств диагностирования [2, 4].

Основным недостатком турбинных расходомеров, затрудняющим их широкое применение в гидроприводе мобильных машин, является требование

строгости ограничения загрязненности рабочей жидкости, что часто оказывается невыполнимым.

Анализ существующих конструкций шариковых тахометрических расходомеров позволяет сделать вывод о принципиальной возможности их применения в составе переносных средств измерения расхода рабочей жидкости мобильных машин. Следует, однако, учитывать, что общими недостатками всех тахометрических приборов, ограничивающими их применение, являются: значительная зависимость точности измерений от вязкости контролируемой жидкости и необходимость использования электрических преобразователей [2, 4].

Недостатком всех расходомеров обтекания является зависимость показаний прибора от его ориентации в пространстве, что исключает возможность их использования в составе переносных средств диагностики гидропривода [2, 4].

Вихревые расходомеры предложены сравнительно недавно, но широкого распространения они не получили. Эти приборы основаны на зависимости частоты колебаний давления от расхода. Колебания давления возникают в результате вихреобразования струи в потоке [4]. Как показывает опыт, вихревые расходомеры имеют погрешность $\pm 40\%$ при измерении расхода в пульсирующих потоках. Следует также отметить, что на работу вихревых расходомеров существенное влияние оказывают помехи, создаваемые при работе различными элементами гидропривода (вибрации, толчки, удары и т. п.) [2, 4].

Все рассмотренные приборы, кроме расходомеров переменного перепада давления и камерных, отличаются сложной конструкцией и высокой стоимостью. Обычные расходомеры переменного перепада давления имеют простые первичные преобразователи, но конструкции приборов сильно усложняются за счет наличия вторичного преобразователя – дифманометра, из-за чего исключается возможность применения этих расходомеров в составе переносных средств диагностики [2, 4].

Эксплуатационные и ремонтные предприятия в первую очередь нуждаются в переносных средствах диагностики – простых, дешевых, защищенных от повреждений, даже в ущерб точности измерений. Поэтому наибольший интерес представляют дроссели-расходомеры типа ДР-70, ДР-90, КИ-1078 и другие, построенные на принципе переменного перепада давления. Эти приборы широко применяются в практике эксплуатации сельскохозяйственных машин.

К достоинствам этих приборов относятся – простота конструкции и компактность. Недостатком конструкции является сильное влияние вязкости жидкости на точность измерений, поэтому условия испытаний (сорт масла, температура) строго регламентированы. Другой недостаток состоит в том, что угол поворота плунжера ограничен 120° , вследствие чего приборы такого типа отличаются низкой чувствительностью. Кроме того, предел измерения расхода у КИ-1078 – $1,5 \text{ дм}^3/\text{с}$, что недостаточно для диагностирования гидроприводов большинства мобильных машин, в том числе комбайнов [2, 4].

Цифровые гидротестеры Webtec (рис. 1) измеряют поток, давление и температуру и предназначены для удобного контроля работы гидравлических насосов,



Рисунок 1. Гидротестеры Webtec

двигателей, клапанов и гидростатических передач [2, 5].

Гидротестеры имеют упрощенные элементы управления и могут выявлять неисправности гидравлической системы, сокращать время простоя и помогать в профилактическом обслуживании.

Тестеры содержат блок турбинного расходомера до 800 л/мин и большой, легко читаемый жидкокристаллический дисплей, который показывает поток и температуру.

К недостаткам гидротестеров Webtec можно отнести недостатки турбинных расходомеров и создание дополнительного сопротивления жидкости конструктивными особенностями корпуса дросселя (малый диаметр подсоединяемых рукавов высокого давления, изгиб корпуса под углом 90°).

На кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ разработан дроссель-расходомер [6] (рис. 2), позволяющий в условиях хозяйств и предприятий агросервиса проводить объективное безразборное диагностирование насосов гидропривода.

Дроссель-расходомер может быть использован как в составе диагностического устройства [6], так и отдельно при техническом диагностировании гидроприводов и гидротрансмиссий сельскохозяйственной техники, строительных и дорожных машин в условиях производства, ремонта или в условиях эксплуатации.

Дроссель-расходомер (рис. 2) содержит корпус 1 со сквозным каналом, с одной стороны которого нарезана резьба до центра корпуса, заканчивающаяся упорным буртиком, сменный дроссель постоянного сечения 2, уплотнительный элемент 3, а также по обе стороны вставки имеются отверстия 4 с резьбой, соединенные с основным каналом, для ввинчивания датчиков давления и датчиков температуры рабочей жидкости и отверстия 5 с резьбой для присоединения рукавов высокого давления. Для удобства завинчивания нагрузочного дросселя на нем имеются два симметрично расположенных сверления 6 малого диаметра под специальный инструмент.

Диаметр отверстия сменной цилиндрической вставки определяется по параметрам диагностируемого гидронасоса по зависимости [7]:

$$d_{отм} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{o.n} n_n \eta_o}{\pi \mu \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{ном} - p_1)}}}, \quad (1)$$

где $V_{o.n}$ – рабочий объем насоса, м³;
 n_n – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, с⁻¹;

η_o – объемный КПД насоса;

μ – коэффициент расхода;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

$p_{ном}$ – номинальное давление насоса, Па;

p_1 – давление на входе в насос (после дросселя), Па.

Отдельно нагрузочный дроссель постоянного сечения работает следующим образом. По параметрам диагностируемого насоса определяется диаметр отверстия нагрузочного дросселя 2 по приведенной выше зависимости. С помощью специального инструмента сменный дроссель постоянного сечения 2, посредством симметрично расположенных сверлений 6 малого диаметра, вворачивается в корпус 1 до упора в буртик и уплотнительный элемент 3. К корпусу устройства присоединяются рукава высокого давления с помощью прижимных шайб и болтов, ввинчиваемых в резьбовые отверстия 5, расположенные с торцевых сторон корпуса 1. Включается привод диа-

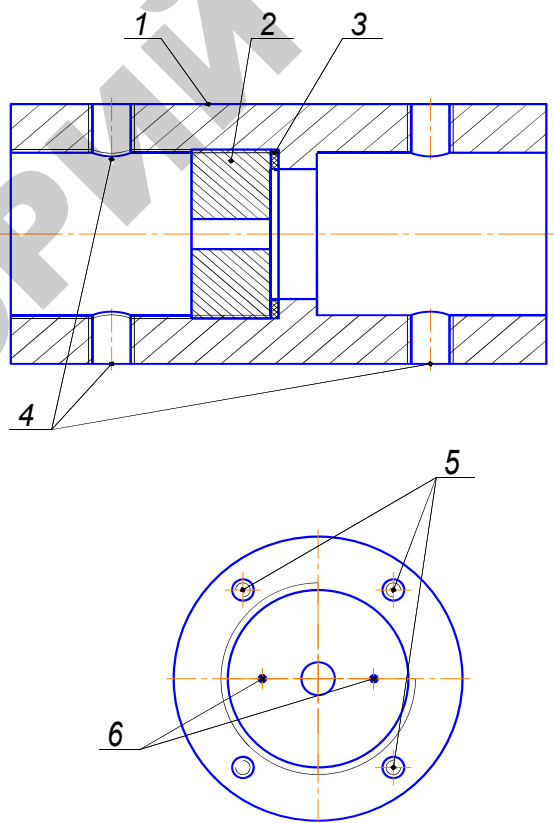


Рисунок 2. Дроссель-расходомер (общий вид):

1 – корпус; 2 – сменный дроссель постоянного сечения; 3 – уплотнительный элемент; 4 – отверстия с резьбой для ввинчивания датчиков давления и датчиков температуры рабочей жидкости; 5 – отверстия с резьбой для присоединения рукавов высокого давления; 6 – сверления под специальный инструмент

гностируемого насоса (например, двигатель внутреннего сгорания) и включается полная подача жидкости (если насос с регулируемой подачей) и по показаниям датчиков давления и датчиков температуры, вставленных в корпус 1 через резьбовые отверстия 4, и датчика частоты вращения вала насоса (двигателя внутреннего сгорания), соединенных с блоком обработки данных, выводится информация диагностирования на внешний дисплей, компьютер или смартфон об объеме коэффициента полезного действия насоса.

В результате экспериментальных исследований по определению объемного КПД аксиально-плунжерного насоса НП-90 с применением разработанного дросселя-расходомера были получены данные, приведенные в таблице 1.

Объемный КПД насоса определяли двумя способами:

– по расходу через нагрузочный дроссель [6]

$$\eta_o = \frac{\pi \cdot \mu \cdot d_{\text{отм}}^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{\text{ном}} - p_1)}}{4 \cdot V_{o.n} \cdot n_n}; \quad (2)$$

Таблица 1. Экспериментальные данные испытания аксиально-плунжерного насоса НП-90

Диаметр нагрузочно-го дросселя, мм	Давление (номинальное) до нагрузочного дросселя, МПа	Давление после нагрузочного дросселя, МПа	Частота вращения вала насоса, с ⁻¹	Утечки рабочей жидкости из корпуса насоса, л/мин
4	25	0	25,67	15,8

– по утечкам рабочей жидкости из корпуса насоса

$$\eta_o = \frac{Q_m - q_{\text{ум}}}{Q_m} = 1 - \frac{q_{\text{ум}}}{V_o n}, \quad (3)$$

где Q_m – теоретическая производительность насоса, м³/с.

По зависимости 2 получим

$$\eta_o = \frac{3,14 \cdot 0,68 \cdot 0,004^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{881} (25 \cdot 10^6 - 0)}}{4 \cdot 89 \cdot 10^{-6} \cdot 25,67} = 0,88;$$

По зависимости 3

$$\eta_o = 1 - \frac{15,8}{89 \cdot 10^{-3} \cdot 1540} = 0,88.$$

Для сравнения экспериментальных исследований по определению объемного КПД аксиально-плунжерного насоса НП-90 с применением разработанного дросселя-расходомера, объемный КПД определяли также с помощью цифрового гидротестера Webtec DHT-401. В результате проведения серий измерений получили объемный КПД, равный 0,87.

Заключение

1. Полученные теоретические зависимости (1, 2) и конструкция дросселя-расходомера могут быть использованы при техническом диагностировании гидродвигов и гидротрансмиссий сельскохозяйственной техники, строительных и дорожных машин в условиях производства, ремонта или в условиях эксплуатации.

2. Разработанный дроссель-расходомер позволяет определять объемный КПД с большей точностью, чем турбинный гидротестер. Это связано, в первую очередь, с недостатками турбинных расходомеров, описанных выше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л.Н. Александровская [и др.]. – М.: Логос, 2001. – 206 с.

2. Методические рекомендации по оценке технического состояния агрегатов гидростатических трансмиссий мобильных энергетических средств / Д.А. Жданко [и др.]; под общ. ред. Д.А. Жданко. – Минск: БГАТУ, 2019. – 124 с.: ил.

3. Столяров, А.В. Повышение долговечности аксиально-поршневого гидронасоса с наклонным блоком восстановлением и

упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф... дис. канд. техн. наук: 05.20.03 / А.В. Столяров; МГУ им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2009. – 18 с.

4. Петрович, А.А. Совершенствование технологии диагностирования гидропривода одноковшовых строительных экскаваторов по объемному коэффициенту полезного действия: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / А.А. Петрович; Санкт-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб., 2001. – 165 с.

5. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В.П. Миклуш [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.

6. Тимошенко, В.Я. Мобильное устройство для диагностирования агрегатов гидростатических трансмиссий / В.Я. Тимошенко, Д.А. Жданко, В.В. Ярош // Изобретатель. – 2019. – № 2-3. – С. 34-38.

7. Жданко, Д.А. Обоснование параметров дросселя постоянного сечения как нагрузочного элемента электрогидравлического обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 43. – С. 139-143.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.04.2020