

**МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА**

УДК 62-82

*М. И. ЖИЛЕВИЧ, А. В. КОРОЛЬКЕВИЧ, В. С. ШЕВЧЕНКО*

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ГИДРОПРИВОДОВ МАШИН ПО СОСТОЯНИЮ**

*Белорусский национальный технический университет,  
Военная академия Республики Беларусь*

*(Поступила в редакцию 10.06.2009)*

**Введение.** Рациональное использование средств диагностирования при эксплуатации машин обеспечивает своевременное выявление развивающихся предотказовых состояний, предотвращение возможных отказов путем проведения технических обслуживаний и профилактических замен деталей и узлов. В первую очередь бортовыми диагностическими устройствами оснащаются мощные рабочие машины (тракторы, карьерные самосвалы и т. п.), оборудованные сложными и дорогостоящими электронными, гидравлическими и пневматическими управляющими системами.

В основном функции диагностических систем современных машин сводятся к решению следующих задач: постоянный контроль критических параметров наиболее ответственных и дорогостоящих узлов с возможностью автоматического отключения агрегата и аварийной остановки машины; контроль параметров, существенно влияющих на снижение ресурса основных агрегатов и узлов; учет наработки машины с индикацией значений остаточного ресурса.

**Алгоритм оценки технического состояния гидропривода.** При разработке методов диагностирования гидроприводов машин в качестве оценочных критериев принимались значения расхода рабочей жидкости и объемного КПД. Объемный КПД является одним из наиболее распространенных и регламентированных стандартами диагностических параметров для оценки общего технического состояния гидроприводов. Если оценку КПД проводить с помощью бортовых электронных средств, то появляется новая возможность оперативно решать задачи прогнозирования ресурса и перейти к обслуживанию по состоянию.

Функциональное диагностирование встроенными средствами имеет ряд особенностей, затрудняющих оценку КПД: нестационарный режим работы, изменяющаяся угловая скорость ротора насоса, отсутствие приемлемых по характеристикам и стоимости датчиков для измерения больших расходов.

Цель настоящей работы – совершенствование расчетных алгоритмов на основе информации, полученной доступными встроенными средствами измерений.

Теоретическую подачу насоса при мгновенном измерении угловой скорости ротора  $\omega_i$  можно оценить по выражению

$$Q_{Ti} = i_p \frac{V_0}{2\pi} \omega_i = K_1 \omega_i,$$

где  $i_p$  – передаточное число редуктора двигатель – насос;  $V_0$  – рабочий объем насоса;  $K_1$  – коэффициент, определяемый параметрами насоса и его привода.

Фактический расход в исполнительном гидроцилиндре

$$Q_R = Fz / T = K_2 / T,$$

где  $z$  – ход поршня;  $F$  – площадь поршня;  $T$  – время выполнения операции;  $K_2$  – постоянный коэффициент.

Так как за время выполнения операции  $T$  угловая скорость  $\omega$ , многократно изменяется, необходимо оценить некоторое усредненное значение подачи насоса за этот период. Если опрос датчиков производится через некоторый промежуток времени  $\Delta t_i$  (время квантования  $t$ ), то усредненная подача

$$Q_T = (1/T) \sum_i (\Delta t_i K_1 \omega_i) = K_1 \frac{t}{T} \sum_i \omega_i = \frac{K_1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i,$$

где  $n$  – количество измерений значений угловой скорости ротора насоса за время  $T$ .

Таким образом, объемный КПД может быть рассчитан бортовым процессором по выражению

$$\eta = \frac{Q_R}{Q_T} = \frac{K_2}{K_1 t \sum_i \omega_i} = \frac{K_2 n}{TK_1 \sum_{i=1}^n \omega_i}.$$

Для реализации полученных математических зависимостей в алгоритмах микропроцессорной системы следует учитывать многообразие режимов работы привода и обеспечить их автоматическое распознавание.

В соответствии с алгоритмом (рис. 1) расчет расхода и КПД производится при непрерывном выполнении технологической операции без перетекания жидкости через предохранительный клапан. Если сигнал с датчика начального положения поршня ( $X_1 = 1$ ) поступает в процессор, то состояние системы соответствует исходному и система готова к выполнению расчета. Отсчет времени  $T$  и накопление суммы  $W$  мгновенных угловых скоростей  $\omega$  начинается после того, как поступит сигнал управления на выполнение операции ( $X_3 = 1$ ) и сдвинется поршень ( $X_1 = 0$ ), и продолжается до срабатывания датчика конечного положения последнего ( $X_2 = 1$ ), затем выполняется расчет КПД. Для контроля процесса расчета в алгоритм вводится переменная  $CQ$ . Если регламентированные режимы расчета нарушаются,  $CQ$  принимает значение 0. Это происходит в случаях, когда давление  $p$  превышает максимальное давление  $p_{\max}$ , близкое к настройке предохранительного клапана, или снимается сигнал управления с распределителя  $X_3$  (прерывание операции). Несмотря на то, что сигнал с датчика исходного положения отсутствует ( $X_1 \neq 1$ ), расчет прекращается, так как не выполняется условие  $CQ = 1$ . Повторный запуск алгоритма оценки КПД может быть выполнен только после возврата поршня в исходное положение, когда появится сигнал  $X_1 = 1$  и  $CQ$  примет значение 1.

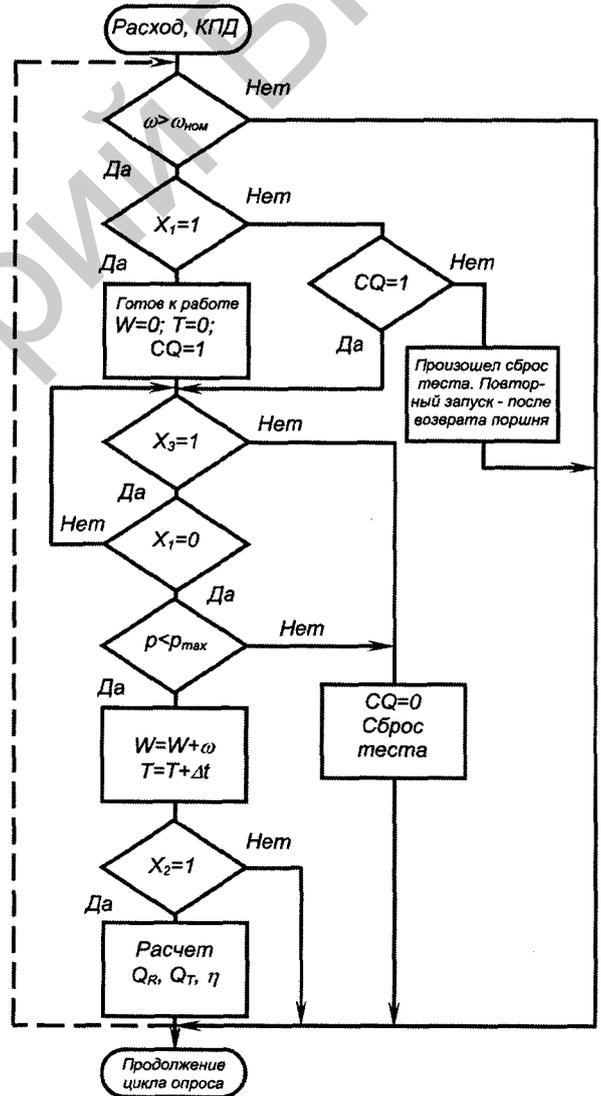


Рис. 1. Схема алгоритма

Таким образом, математическая модель и алгоритм позволяют в автоматическом режиме контролировать объемный КПД привода с последующей генерацией предупредительных сигналов при приближении к его предельному состоянию. Если в памяти бортовой микроЭВМ обеспечить хранение результатов расчета, то можно решать задачи прогнозирования ресурса.

Известными исследованиями доказана целесообразность применения бортовых диагностических систем для обеспечения безопасной эксплуатации мобильных машин. Имея в виду то обстоятельство, что современные энергонасыщенные гидроприводы, применяемые в ответственных механизмах технологических и транспортных машин, в случае отказов могут приводить к тяжелым авариям и представляют определенную опасность для людей и окружающей среды, основную концепцию предотвращения таких ситуаций можно определить как безопасную эксплуатацию, основанную на самых прогрессивных (высоких) технологиях и конструкторских решениях. Требуемая безопасность гидропривода определяется прочностью, износостойкостью, пожаробезопасностью и другими параметрами его элементов и узлов.

Для оценки остаточного ресурса основных систем, агрегатов и узлов машин необходима информация в виде некоторой обобщенной характеристики расходования ресурса в зависимости от условий их эксплуатации, а также экономически обоснованные предельные (допустимые) значения диагностических параметров. Относительно достоверные прогнозы остаточного ресурса можно получить на основе данных о динамике изменения по времени наработки диагностического параметра для определенного типа устройства. Подходящая аппроксимирующая функция, описывающая тенденцию изменения оценочного параметра по наработке машины, может быть получена с помощью специального планирования многофакторных наблюдений для партии однотипных машин [1]. При этом также используются специальные алгоритмы для преобразования

текущих значений измеряемых параметров в требуемые величины остаточного ресурса.

Такие алгоритмы могут быть построены на основе вышеупомянутых экспериментально-статистических моделей. Особенностью таких моделей является то, что они включают в себя кроме эксплуатационных и режимных параметров еще конструктивные и технологические [1]. Это позволяет не только обеспечивать достоверное прогнозирование остаточного ресурса, но и предложить рекомендации по его увеличению с помощью прогрессивных системных, конструкторских и технологических решений.

**Аксиально-поршневой насос.** В результате анализа многофакторных наблюдений была предложена оригинальная конструктивная схема аксиально-поршневого насоса (рис. 2), обеспечивающая компенсацию усилий, способствующих отрыву цилиндрического блока от торцевого распределителя. Это обеспечило повышение объемного КПД и увеличение ресурса насоса. Конструктивное решение [2] заключается в создании специального устройства, включающего поршневую камеру 5 для обеспечения прижима блока цилиндров 1 к диску распределителя 4, пропорциональный клапан 6 с управлением от бортовой электронной системы 7 и датчик угловой скорости 8.

По сигналу датчика 8 угловой скорости вала 2 бортовая система электронного управления по-

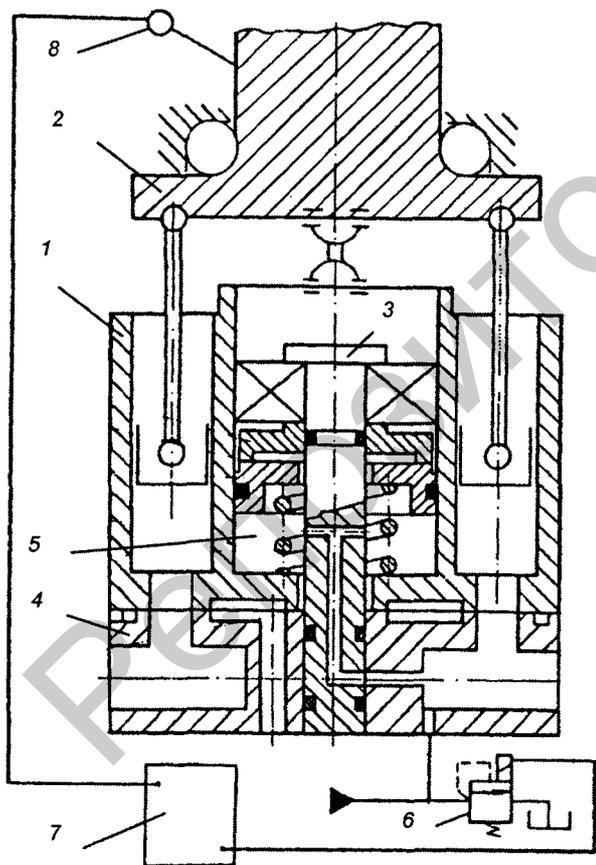


Рис. 2. Конструктивная схема аксиально-поршневого насоса: 1 – блок цилиндров; 2 – приводной вал; 3 – опорная ось; 4 – торцевой распределитель; 5 – камера; 6 – пропорциональный клапан; 7 – бортовая электронная система; 8 – датчик угловой скорости вала насоса

средством пропорционального клапана 6 регулирует давление в камере 5 пропорционально квадрату угловой скорости ротора насоса. Таким образом, обеспечивается нарастание усилия прижима по такому же закону, что и нарастание отжимающего усилия, зависящего от скорости вращения ротора. Это способствует поддержанию высокого КПД насоса в процессе его функционирования.

### **Выводы**

1. Подход, основанный на принципе безопасной эксплуатации машин по техническому состоянию с применением средств оперативного диагностирования и системы оценочных критериев, позволил достоверно и оперативно прогнозировать остаточный ресурс, сделать заключение о возможности дальнейшей эксплуатации и осуществлять мероприятия по повышению эффективности техники.

2. Разработанные математическая модель и алгоритм расчета расхода и КПД насоса на нестационарных режимах позволяют в автоматическом режиме контролировать объемный КПД гидропривода и вырабатывать предупредительные сигналы при достижении его предельного состояния.

3. Накопление результатов расчета в памяти бортовой электронной системы позволяет решить задачу оценки остаточного ресурса и прогнозирования режимов дальнейшей эксплуатации при интерактивном взаимодействии оператора с бортовой электронной системой.

### **Литература**

1. Шевченко В. С. и др. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем: Учеб. пособие. Мн., 2001.
2. Королькевич В. А., Шевченко В. С., Шарангович А. И. Аксиально-поршневой гидронасос: пат. 10775, МПК А 04В 1/20 // Официальный бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности, 2008.

*M. I. ZHYLEVICH, A. V. KOROLKEVICH, V. S. SHEVCHENKO*

### **DIAGNOSTICS AND SAFE OPERATION OF HYDRODRIVES OF MACHINES ON A TECHNICAL CONDITION**

#### **Summary**

The principle of safe operation of machines on a technical condition with application of means of operative diagnosing is stated. The settlement algorithm and an example of use of results is brought by development of the pump.