

## Литература

1. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс / Ф. Котлер, К.Л. Келлер. – Санкт-Петербург: Питер, 2016. – 480 с.
2. Юликов, Л.И. О специфике российского маркетинга / Л.И. Юликов // Вестник Финансовой академии. – 1999. – № 3. – С. 48–56.
3. Крылова, Е.Г. Развитие маркетинга в Республике Беларусь / Е.Г. Крылова // Менеджмент и маркетинг: опыт и проблемы: сборник научных трудов / Каталонский политехнический ун-т, Ун-т Монпелье 1, Консорц. белорус. ун-тов, Балтийский рус. ин-т; под общ. ред. И.Л. Акулича. – Минск: Мэджик Бук, 2003. – С. 143–146.

УДК 621-22

### МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ СТАНОЧНОЙ ГИДРОАППАРАТУРЫ DIAGNOSTIC METHODS AND CALCULATIONS THE RELIABILITY OF MACHINE HYDRAULICS

*Лаптанович Д.М.*, магистрант;

*Веренич И.А.*, кандидат технических наук, доцент  
(Белорусский национальный технический университет)

*Laptanovitch D.M.*, Undergraduate;

*Verenich I.A.* Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
(Belarusian National Technical University)

**Аннотация.** *Гидравлические системы станков состоят из элементов различной сложности, взаимодействие и последовательность срабатывания которых определяется заданным циклом работы оборудования. Применение, гидроприводов и гидроавтоматики в станках непрерывно увеличивается, а многочисленные конструкции и схемы гидравлических устройств быстро совершенствуются.*

*Основной целью технической диагностики является повышение надежности гидроаппаратов гидросистем и снижение затрат, связанных с их эксплуатацией. Решение этой проблемы может быть осуществлено путем раннего обнаружения неисправностей и предупреждения их развития в процессе эксплуатации. Работа направленная на повышение надежности металлорежущего оборудования доказывается следующими цифрами: ежегодно на ремонт станков затрачиваются средства, составляющие 20–25 % от их первоначальной стоимости, а за весь срок эксплуатации станка затраты превышают в 6–8 раз от его первоначальной стоимости [1].*

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 приводов, и на основе этого – совершенствование методов технического обслуживания и ремонта, внедрение прогрессивных методов эксплуатации по техническому состоянию.

В результате данной работы были описаны характерные признаки неисправностей гидроаппаратов, а так же была предложена легкая и экономичная методика диагностикимногоконтурной гидросистемы металлообрабатывающего оборудования.

**Abstract.** Hydraulic system the machines are composed of elements of different complexity, the interaction and sequence of operation which is determined by the commanded duty cycle of the equipment. Application of hydraulic drives and hydraulics in the machines increases continuously, and numerous designs and diagrams hydraulic devices are evolving rapidly.

The main goal of technical diagnostics is to increase the reliability of gidroapparat hydraulic systems and reducing the costs associated with their use. The solution to this problem may be accomplished by early detection of faults and the prevention of their development in the process of operation. Work aimed at improving the reliability of metal-cutting equipment is proved by the following figures: every year on the repair work spent means composes 20–25 % of their original value, and for the entire lifetime of the machine costs exceed 6–8 times of its original cost.

The decision of tasks of technical diagnostics is always associated with the reliability prediction for the next period of operation (until next maintenance). To ensure a high level of reliability at the operational stage is a set of diagnostic procedures. Therefore, become important issues of forecasting changes in technical state of hydraulic actuators, and the improvement of methods of technical maintenance and repair, implementation of advanced methods of operation on a technical condition.

The result of this work was to described the characteristics of faults hydrophones, and also offered an easy and economical technique for diagnosing multiple hydraulic cutting equipment.

## 1. Характерные неисправности гидроаппаратов

В процессе эксплуатации оборудования его составные части подвергаются постоянному износу, динамическим нагрузкам, трениям, что приводит к преждевременным отказами оборудования описанным в литературе [1].

В золотниковых распределителях наблюдается абразивное и гидроабразивное изнашивание, схватывание, заклинивание и облитерация сопря-

жения золотника с корпусом, коррозия, фреттинг-коррозия. В результате износа поверхности золотника и корпуса принимают конусообразную и эллиптическую формы. Из-за увеличения радиального зазора повышаются внутренние перетечки рабочей жидкости из напорной полости в сливную, в результате чего снижается объемный к.п.д. гидрораспределителя.

Имеет место выкрашивание кромок в корпусах, выход из строя электромагнита, утечки по толкателям и разъемам, усадка и поломка пружин, выработка лунки толкателем соленоида, что приводит к неполному включению управляющего золотника.

В некоторых гидрораспределителях ведущим процессом изнашивания сопряжения корпус – золотник является фреттинг-коррозия. Исследование отказавших деталей [9] гидрораспределителей показало, что на поверхностях трения корпусов выделяются зоны повышенного износа, расположение которых соответствует нахождению золотников в фиксированных положениях. То, что наибольший износ происходит в периоды номинальной неподвижности сопряженных поверхностей, является показателем присутствия фреттинг-коррозии. Причиной последней может быть относительное перемещение корпусов и золотников, обусловленное вибрацией. При малых открытиях распределительных устройств расход жидкости после некоторого времени начинает уменьшаться вследствие закупорки щели механическими примесями и смолами, содержащимися в рабочей жидкости.

Неисправность демпфирующих дросселей вызывает резкие переключения, сопровождаемые гидроударами. Отсутствие перемещения золотника может быть вызвано перегревом рабочей жидкости, деформацией корпуса из-за чрезмерной затяжки соединительных болтов, низким давлением в системе управления, засорением дросселя, заклиниванием золотника пилота или отказом электромагнита. При отказе электромагнита следует проверить напряжение на зажимах, заедание якоря при перемещении и состоянии обмотки. Неполное переключение может быть вызвано разбивкой поверхностей контакта толкателя. Неполное возвращение золотника в нейтральное положение чаще всего обусловлено просадкой или поломкой пружин, замещением золотника или толкателя.

В золотниковых регулирующих [9] устройствах даже временное повышение трения нарушает принцип слежения за изменением расхода или давления рабочей жидкости и приводит к неисправной работе всей системы. К сожалению, отказы золотниковых пар, вызванные повышением трения, носят внезапный характер, что затрудняет их прогнозирование и принятие необходимых мер по их предупреждению. Одной из причин защемления золотника может служить недостаточная жесткость деталей золотниковой пары. Так как корпус золотниковой пары обычно в сечении имеет произвольную форму, то толщина стенок при круглом отверстии

под золотник или втулку, в которой размещается плунжер, получается различной. Очевидно, что в этом случае упругая деформация корпуса, под действием высокого давления рабочей жидкости, не будет происходить равномерно и форма отверстия под плунжер может исказиться таким образом, что на одних участках зазор увеличится, а на других уменьшится.

Малая или большая скорости переключения распределителя обусловлены его регулировкой износом или засорением дросселей, повышением силы трения золотниковой пары.

Нарушение герметичности по разьему может быть обусловлено повреждением уплотнения или слабой затяжкой соединительных болтов.

В клапанных распределителях в основном имеет место гидроабразивное и кавитационное изнашивание, смятие, коррозия. Износ и попадание механических примесей между клапаном и седлом вызывают утечку и способствуют возникновению кавитации[9]. Наблюдается смятие рабочих поверхностей клапана и седла вследствие большой скорости посадки клапана при его срабатывании. По этой же причине появляются раковины, риски, забоины. Имеет место заклинивание клапана, ослабление или поломка пружины.

Отсутствие перемещения рабочего органа распределителя при включении электромагнита может быть обусловлено неисправностью электромагнита или заклиниванием золотника (клапана). Повышенный нагрев и шум электромагнита чаще всего вызван попаданием грязи или инородного тела на поверхности контакта или поломкой демпферного короткозамкнутого витка. Если соленоид после включения не может передвигаться с полной амплитудой (ввиду ограничения перемещения рабочего органа распределителя), то он может перегореть.

Отказы обратных клапанов могут быть обусловлены повреждением рабочих поверхностей седла и клапана (шарика), попаданием на них механических примесей, внешними утечками по разъемным соединениям, присадкой или поломкой пружины, заклиниванием клапана.

Нередко отказы предохранительного, перепускного и переливного клапанов вызваны повреждением уплотнительных поверхностей конических клапанов и седел вследствие расклепывания при посадке, попадания между ними абразивных частиц, гидроабразивного и кавитационного изнашивания. Имеет место зависание клапанов вследствие их заклинивания, ослабления или поломки пружин. Иногда происходит засорение демпферных отверстий. Последствиями их являются утечка рабочей жидкости в бак, падение к.п.д. гидропривода, повышение температуры жидкости и клапана, наличие повышенной вибрации и шума. Внешняя негерметичность предохранительного клапана вызвана повреждением уплотнений.

Если давление настройки близко к рабочему давлению, то происходит частое срабатывание предохранительного клапана, повышаются вибрация и

шум, ускоряется процесс повреждения рабочих поверхностей клапана, усиливается кавитационное разрушение. Шум и вибрация могут быть обусловлены пульсацией давления, присутствием воздуха в рабочей жидкости.

Неисправная работа редукционного клапана вызывает значительное повышение давления в системе. С увеличением давления выше допустимого повышается вероятность возрастания трения в других золотниковых устройствах и создается опасность выхода из строя других элементов гидропривода. Присутствие механических примесей в рабочей жидкости вызывает заклинивание и ускоренный износ деталей, засорение отверстий, нарушение герметичности между седлом и клапаном, что изменяет величину редуцируемого давления и может привести к пульсации давления жидкости. Отказ этого клапана может быть обусловлен ослаблением или поломкой пружин.

В случае несрабатывания реле давления необходимо проверить зазор между рычагом и микропереключателем, обрыв провода, регулировку и состояние пружин, работоспособность микропереключателя. Нарушение герметичности может быть обусловлено ослаблением крепежа или повреждением мембраны.

Основными причинами неудовлетворительного функционирования теплообменников являются: образование накипи в водяной полости или засмоливание масляной полости, недостаточный расход воды или масла через теплообменник; нарушение герметичности. Нередко встречается нарушение герметичности теплообменника, установленного в линии слива, что обусловлено пульсацией давления и расхода рабочей жидкости; загрязнение воздушного маслоохладителя, недостаточный поток воздуха или его высокая температура; несоответствие его маслоохлаждающей способности в условиях эксплуатации гидропривода; неисправности в гидроприводе, приводящие к чрезмерному нагреву рабочей жидкости.

Для обеспечения возможности производить техническое обслуживание теплообменника при работающей гидросистеме целесообразно иметь перепускную линию, которую следует использовать и при запуске гидропривода в условиях низкой температуры для обеспечения более быстрого прогрева рабочей жидкости. Если теплоотводящая способность стандартного теплообменника недостаточна, то следует установить два стандартных теплообменника. Для уменьшения процесса загрязнения водяной полости теплообменника и повышения его эффективности целесообразно поставить фильтр для очистки воды.

Основными неисправностями сетчатых и бумажных фильтров являются: повреждение фильтрующего элемента вследствие пульсаций или высоких давлений жидкости, чрезмерного засорения фильтроэлемента; нарушение герметичности при ослаблении крепежа разъемных соединений и повреждении уплотнений; нарушение работоспособности перепускного

клапана из-за просадки или поломки пружины, износа или повреждения поверхностей шарика и седла; неправильное показание индикатором загрязненности степени загрязнения фильтроэлемента из-за поломки или просадки пружины, заклинивания магнитазолотника.

Основными неисправностями пластинчатых фильтров являются: затрудненное вращение рукоятки при повороте фильтрующего пакета вследствие изогнутости пластин или скребков, наличия заусенцев, засоренности щелей между основными и промежуточными пластинами; просачивание жидкости по стержню или по разьему между крышкой и стаканом вследствие повреждения уплотнения или ослабления крепежа крышки.

## **2. Методы контроля технического состояния гидросистем**

Достоверность оценки технического состояния гидросистем зависит от совершенства методов их диагностирования. Существуют достаточно большое разнообразие методов контроля изменяющихся при эксплуатации параметров гидросистем. Эти методы обладают определенными преимуществами и недостатками. Выбор методов диагностирования существенно зависит от типа, назначения и условий эксплуатации приводов, а также от оснащенности эксплуатационных подразделений средствами диагностирования. На рисунке 1 представлена классификационная схема основных методов контроля гидросистем [2].

Методы контроля гидросистем можно разделить на две большие группы: субъективные и объективные.

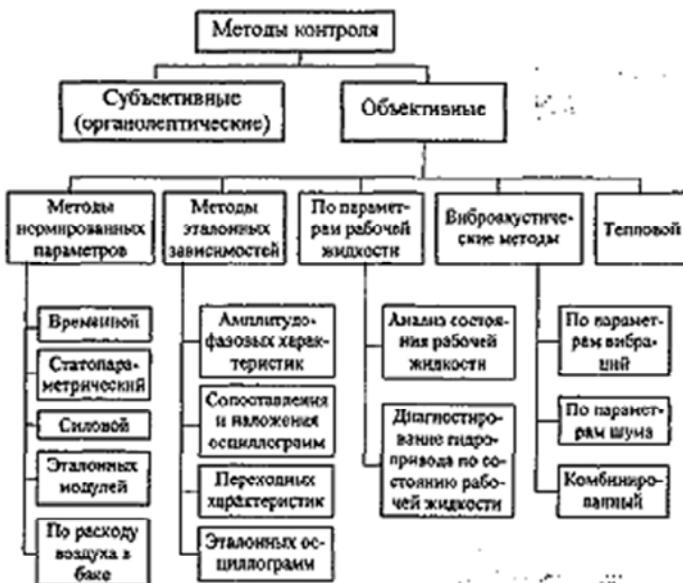
Субъективные (органолептические) методы основаны на индивидуальном восприятии процессов, происходящих в гидросистеме. Они не предполагают измерения параметров функционирования систем.

Результаты диагностирования субъективными методами во многом зависят от опыта и квалификации механика и позволяют определить лишь качественное состояние гидросистемы или отдельных агрегатов.

Достоинствами метода являются: низкая трудоемкость; отсутствие необходимости средств измерения. К недостаткам можно отнести: высокую погрешность, невозможность предсказать неисправность и предотвратить ее.

Объективные методы основаны на использовании измерительных приборов и позволяют количественно измерять параметры технического состояния гидросистем. Зная предельные и допустимые значения параметров, можно прогнозировать потерю работоспособности отдельных узлов или гидросистемы в целом и принимать соответствующие предупредительные меры.

Метод эталонных модулей основан на сравнении экспериментально определенных значений параметров гидравлического привода и его отдельных агрегатов (мощности, КПД, усилия, крутящих моментов, давления, подачи, перемещений и др.) с их паспортными значениями или с нормами технических условий [6].



*Рисунок 1* – Классификационная схема основных методов контроля гидросистем

Силовой метод основан на определении величины усилия, развиваемого исполнительным органом диагностируемой гидросистемы [6].

Статопараметрический метод основан на измерении расхода и давления установившегося задресселированного потока рабочей жидкости.

Временной метод основан на измерении параметров движения исполнительных органов приводов, нагруженных внешним нормированным силовым воздействием [6].

Акустический метод использует в качестве диагностического признака шум, который сопровождает работу гидроагрегатов. Уровень шума и его спектр непосредственно зависят от технического состояния агрегатов. Наибольшее распространение акустические методы диагностики в гидроприводах получили при оценке работоспособности гидромашин, гидроусилителей и других агрегатов, а также при определении внутренних утечек в агрегатах распределительной аппаратуры (электромагнитных кранах, золотниках, клапанах и т.д.).

Виброакустический метод предусматривает оценку зазоров в сопряжениях деталей по их вибрационным характеристикам и акустическим шумам. Работа узлов и агрегатов привода сопровождается вибро- и гидроударными процессами или акустическими шумами, которые называют структурным шумом (в отличие от воздушного шума, возбуждаемого механизмами в

окружающей среде). По мере износа механизмов или при возникновении в них дефектов нарушаются кинематические связи между деталями, вследствие чего характер шума и вибраций изменяются. Наиболее часто виброакустические методы используются для диагностирования технического состояния подшипников и деталей качающего узла насосов и гидромоторов.

Метод переходных характеристик [6] основан на анализе реакции системы на изменение давления при переходных (неустановившихся) режимах работы. Для оценки технического состояния гидропривода на основании характера протекания переходных процессов их возбуждают путем мгновенного перекрытия потока рабочей жидкости распределителем или краном управления. Диагностирование осуществляют по волновым диаграммам или переходным характеристикам.

Тепловой метод основан на оценке распределения температуры на поверхностях узлов и агрегатов, а также перепадов температур циркулирующей рабочей жидкости, так как температура является мерой количества тепла, в которое превращается теряемая энергия.

### **3. Разработанный метод**

Для диагностики правильного функционирования всей гидросистемы специального горизонтального фрезерно-расточного станка с ЧПУ (рисунок 2) произведем разделение ее на составные части:

1. Привод гидроуравновешивания шпиндельной бабки (Ф1-Н1-Ф2+РД1+КП1-КО4-АК1-Р6-КД1-Ц4-Ц5-КД1-Т1-Ф3-Б) если данный контур работает без проблем то производят закрытие распределителя Р6.

2. привод вращения магазина инструментов Ф1-Н1-Ф2+РД1+КП1-КР1-РД2-Р4-М-Р4-К05-Т1-Ф3-Б).

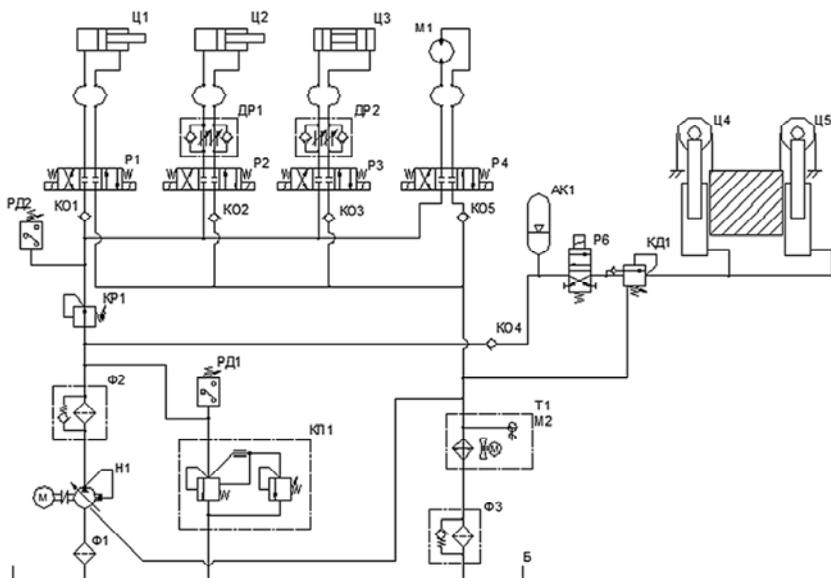
3. привод выталкивания инструмента из гнезда магазина инструментов Ф1-Н1-Ф2+РД1+КП1-КР1-РД2-КО1-Р1-Ц1-Р1-Т1-Ф3-Б.

4. привод механизма захвата инструмента на перемещающемся манипуляторе Ф1-Н1-Ф2+РД1+КП1-КР1-РД2-Р2-Ц2-Р2-К02-Т1-Ф3-Б.

5. привод механизма перемещающего манипулятор Ф1-Н1-Ф2+РД1+КП1-КР1-РД2-Р3-Ц3-Р3-К03-Т1-Ф3-Б.

Как видно из анализа в каждом контуре элементная база перекрывается и если работают 4 контура, а пятый нет, то довольно легко найти неисправную гидроаппаратуру и произвести ее ремонт или замену. Я считаю, данный метод применимым для диагностики гидросистем фрезерно-расточных станков, так как видно из анализа гидросистем они имеют разветвленную структуру с часто перекрывающимися друг друга элементами. Однако следует заметить, что данный метод является бесполезным если в гидросистеме один исполнительный механизм (один контур), так как в таком случае поиск невозможен, а так же весомый недостаток то, что мы определяем только неисправный узел, а какая причина неисправности вы-

ясняем после разборки неисправного гидроаппарата. Но к достоинствам можем отнести быстроту диагностирования данным методом и отсутствием различных датчиков и диагностических устройств.



**Рисунок 2** – Схема гидравлическая принципиальная специального горизонтального фрезерно-расточного станка с ЧПУ

## Литература

1. Пучкин, А.Е. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт гидроприводов металлургического оборудования / А.Е. Пучкин. – М.: Металлургия, 1991. – 240 с.
2. Богдан, Н.В. Техническая диагностика гидросистем / Н.В. Богдан, М.И. Жилевич, Л.Г. Красневский. – Минск: Белавтотракторостроение, 2000. – 120 с.
3. Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: «Машиностроение», 1978. – 240 с.
4. Комаров, А.А. Надежность гидравлических систем / А.А. Комаров. – М.: «Машиностроение», 1969. – 236 с.
5. Алексеева, Т.В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т.В. Алексеева, Т.М. Башта. – М.: «Машиностроение», 1989. – 264 с.

6. Максименко, Л.Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин: учеб. пособие / Л.Н. Максименко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 302 с.

7. Шор, Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – «Советское радио», 1968. – 288 с.

8. Сырицын, Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / Т.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.

9. Лозовский, В.Н. Надежность гидравлических агрегатов / В.Н. Лозовский. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

10. Харазов, А.М. Техническая диагностика гидроприводов машин / А.М. Харазов. – М.: Машиностроение, 1979. – 112 с.

11. ГОСТ 20245-74 Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний.

12. Методический документ в строительстве МДС 12-20.2004 Механизация строительства.

13. Руководство по эксплуатации станка МСП6401МФ4-04В.

14. Руководство по эксплуатации станка МС6590МФ4.

15. Руководство по эксплуатации станка МС640ГМФ4-16К.

16. Руководство по эксплуатации станка МС620Ф4.

17. Руководство по эксплуатации станка МС21Г25МФ4-6В.

**УДК 656.13.08**

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ ГОРОДА  
EFFICIENCY EVALUATION OF THE ACCESS RESTRICTION  
OF VEHICLES TO THE CITY CENTRE**

*Матвеева Н.*, старший преподаватель; *Данилкович В.*, студентка  
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

*Matveeva Natallia*, Senior Lecturer; *Danilkovich Violetta*, Student  
(Belorussian National Technical University, Minsk)

**Аннотация.** *Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме роста автомобилизации, что способствует увеличению загрузки основных улиц центральной части города. В качестве исследовательской задачи авторами была определена попытка проанализировать и оценить эффективность мер применяемых для ограничения доступа транспортных средств. В данной статье рассматривается зарубежный опыт ре-*