

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РУЛЕВОГО ПРИВОДА ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Гареев А.М.
Рыжкова Ю.П.

Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва
(Самарский университет)

Московское шоссе, 34, г. Самара,
443086, Российская Федерация

Gareyev@ssau.ru

Наиболее эффективным способом неразрушающего контроля технического состояния сложной гидромеханической системы, такой как рулевой привод, является диагностика по динамическим характеристикам. Рассматриваемыми в данной статье диагностическими признаками являются: динамические значения давления и расхода рабочей жидкости, а также скорости перемещения золотников и перекладки штока при возмущающих воздействиях. На примере рулевого привода КАУ-30Б показана возможность диагностики износа элементов гидромеханических систем на основе анализа переходных процессов.

Ключевые слова: переходный процесс; гидравлический усилитель; диагностика; динамическая характеристика

1 Введение

Всё расширяющаяся тенденция комплексирования машин в сложные механизмы ведёт к широкому использованию высокодинамичных гидромеханических систем (ГМС).

Ярким примером таких систем являются системы грузовых, строительных машин, подводных и надводных аппаратов, производственных технологических комплексов, ну и, разумеется, системы летательных аппаратов.

Одновременно с этим нужно отметить, что любое оборудование, в том числе и

гидравлические системы, подвержено риску возникновения неисправности или полного отказа из-за внутренних и внешних факторов.

Известно [1, 2], что большинство дефектов возникает вследствие нарушения технологии сборки и монтажа на этапах производства или ремонта ГМС. И выявить их сразу невозможно, проявляются они в процессе эксплуатации оборудования на рабочих режимах под нагрузкой. Всё это приводит к потере управления техническим комплексом. На рисунке 1 приведена статистика авиационных происшествий, вызванных отказами ГМС.

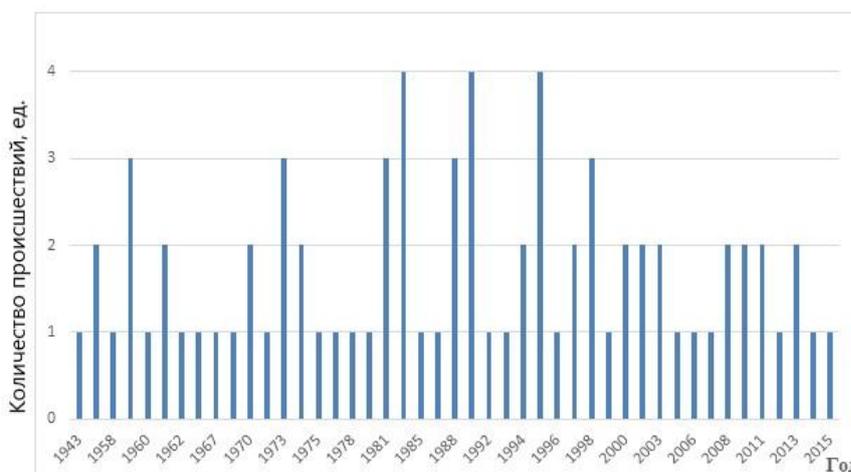


Рисунок 1. Количество авиационных происшествий, вызванных отказом ГМС

В целом, анализ статистических данных показывает, что 80% выходов из строя ГМС происходит в самый ответственный момент эксплуатации изделия из-за скрытых труднодиагностируемых дефектов, например:

- самолёт Airbus-320 съехал с ВПП на грунт в Бургасе 18 июля 2017 г. по причине отказа подсистем управления носовым колесом и реверсом тяги левого двигателя из-за внешней утечки в гидравлической системе, отвечающей за эти подсистемы управления;

- истребитель F-16 врезался в ангар в Риверсайде 16 мая 2019 г. по причине утечки рабочей жидкости в гидравлической системе из-за неправильно установленных клапанов на жиклере.

Поэтому, безусловно, вопросы надёжного функционирования ГМС в современной промышленности выходят на передний край. Остро ставится вопрос предотвращения внезапных отказов оборудования, агрегатов, элементов ГМС в процессе эксплуатации. Следовательно, необходимо иметь соответствующие методы, средства диагностирования и контроля состояния ГМС ТК и технологии их реализации,

позволяющие получать необходимую информацию в «реальном» масштабе времени.

Одними из весьма чувствительных диагностических признаков развития отказов в ГМС являются динамические характеристики, в частности, мгновенные значения расходов, давления и других параметров рабочих жидкостей, которые претерпевают существенные изменения в процессе износа и разрушения элементов системы. В данной статье автор предлагает обратить внимание на такие диагностические выходные параметры, как динамические значения давления, расхода, скорости переключков исполнительных органов при переходных процессах, проявляющихся в ГМС.

2 Постановка эксперимента

Постановка экспериментов проводилась на специально разработанном и изготовленном в Самарском университете стенде для экспериментальных исследований динамических характеристик ГМС. Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 2.

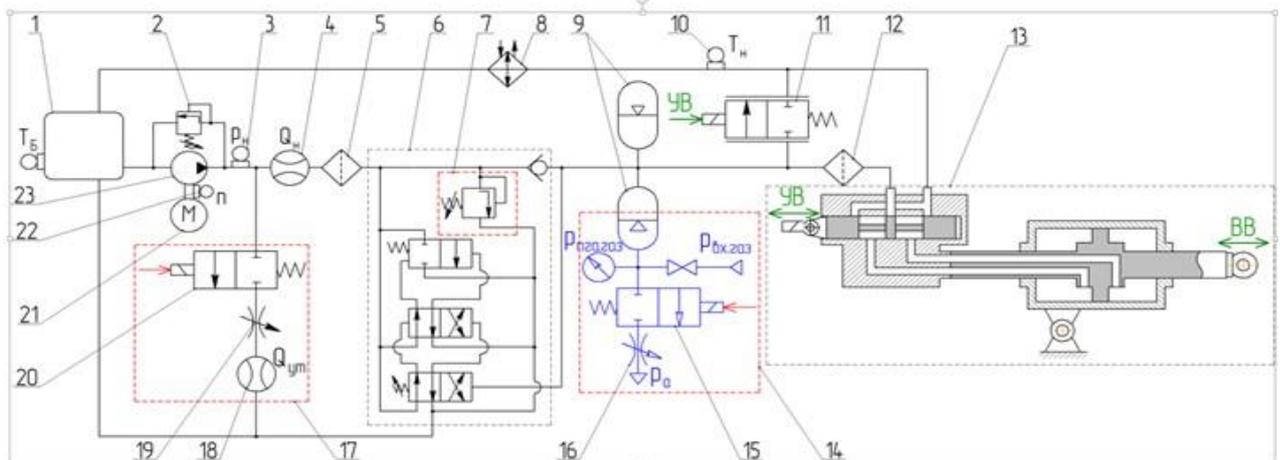


Рисунок 2. Принципиальная схема стенда с имитацией характерных неисправностей

- 1 – бак; 2 – редукционный клапан; 3 – датчик давления; 4, 18 – датчики расхода; 5 – фильтр грубой очистки;
- 6 – автомат разгрузки насоса; 7 – блок имитации ошибки настройки предохранительного клапана;
- 8 – теплообменник; 9 – ПГА; 10 – датчик температуры; 11 – пропорциональный гидрораспределитель 2/2 (имитатор исполнительной подсистемы); 12 – фильтр тонкой очистки; 13 – рулевой привод КАУ-30Б;
- 14 – блок имитации утечки из газовой полости ПГА; 15, 20 – краны электромагнитные;
- 16 – жиклёр воздушный; 17 – блок имитации утечки рабочей жидкости; 19 – дроссель; 21 – электродвигатель;
- 22 – датчик частоты вращения вала привода насоса; 23 – шестерённый насос;
- УВ – управляющее воздействие; ВВ – возмущающее воздействие

Неисправности ГМС на испытательном стенде имитируются с помощью дополнительных отсечных вентилей, клапанов, дросселей и других устройств, встроенных в системы стенда (рисунок 3).

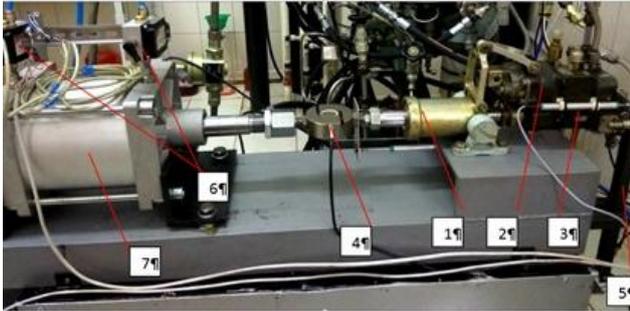


Рисунок 3. Рулевой привод КАУ-30Б с нагрузочным пневмоцилиндром
1 – силовой цилиндр КАУ-30Б; 2 – управляющий блок КАУ-30Б; 3 – датчик перемещения штока актуатора; 4 – датчик силы; 5 – кинематический механизм управления; 6 – пропорциональные; 7 – нагрузочный пневмоцилиндр

Для имитации возмущающего воздействия рулевой привод КАУ-30Б (далее – РП) соединён с нагрузочным пневмоцилиндром, установленным на силовой раме. Для имитации ручного управления вертолётном при отклонении командных рычагов управления на стенде установлен кинематический механизм управления РП (рисунок 4).

Перемещение золотника РП осуществляется через данный механизм при помощи актуатора, управляемого дистанционно. Контроль перемещения золотника РП выполняет датчик линейных перемещений GEFRAN PZ-12-S-100.

Кроме того, на нагрузочном блоке размещены датчик расхода жидкости ТДР-10 и датчик чистоты рабочей жидкости «ПОТОК-965» на входе в панель агрегатов.

Стенд позволяет обеспечивать «входной сигнал» в виде неидеальной ступеньки (рисунок 5), но характерное время нарастания входного сигнала составляет 0,1 секунды, что более чем на порядок меньше времени переходных процессов в системе.

Изменяя регулировочные настройки командных золотников и зазоры в уплотнениях РП была создана база данных о динамических характеристиках РП,

эквивалентных соответствующим эмитируемым дефектам и неисправностям ГМС.

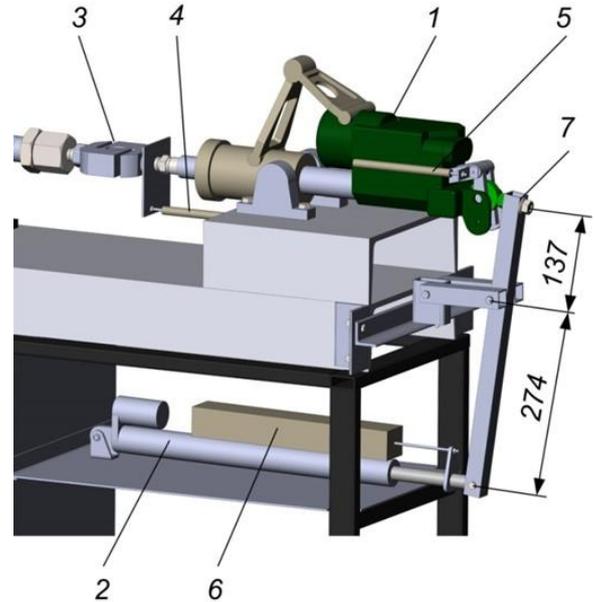


Рисунок 4. Блок имитации отклонения командных рычагов управления РП
1 – РП КАУ-30Б; 2 – линейный привод (актуатор) УХ03-12-А3-455-350-С11; 3 – S-образный тензодатчик К-Р-16А 1,5 т; 4 – датчик линейных перемещений GEFRAN PZ-12-S-250; 5 – датчик линейных перемещений GEFRAN PZ-12-S-100; 7 – кинематический механизм управления РП

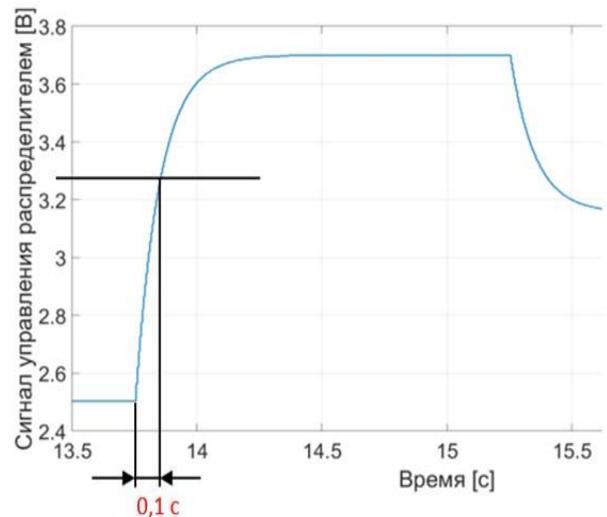


Рисунок 5. Входной сигнал, генерируемый на стенде для имитации переходных процессов

3 Результаты и их обсуждение

На рисунках 6-8 представлены переходные процессы изменения основных параметров системы при наличии

внутренней утечки жидкости в гидравлическом цилиндре (ГЦ) РП. Утечка между полостями ГЦ определяется на основе известного выражения, описывающего ламинарное течение жидкости в кольцевом зазоре с учётом относительного движения стенок [3]:

$$Q_{leak}(t) = \pi d \left(\frac{h^3}{12\mu l} \Delta p + \frac{h(t)}{2} \dot{x} \right) \quad (1)$$

где d – средний диаметр щели; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости; l – ширина уплотнения; \dot{x} – скорость поршня (штока); Δp – перепад давления между полостями ГЦ; $h(t)$ – величина среднего зазора между внешним диаметром уплотнения и внутренней поверхностью цилиндра. Основным параметром, влияющим на величину утечки, является зазор h между внешней поверхностью уплотнения и внутренней поверхностью ГЦ.

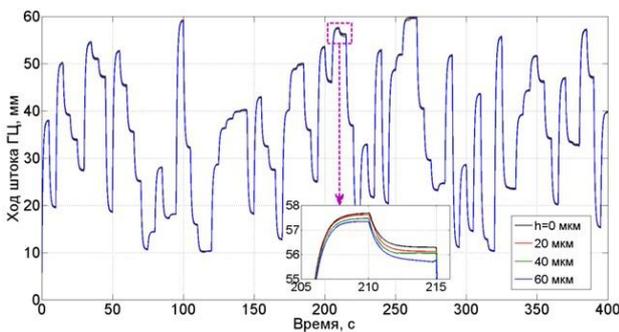


Рисунок 6. Перемещение штока ГЦ при наличии утечки между его полостями

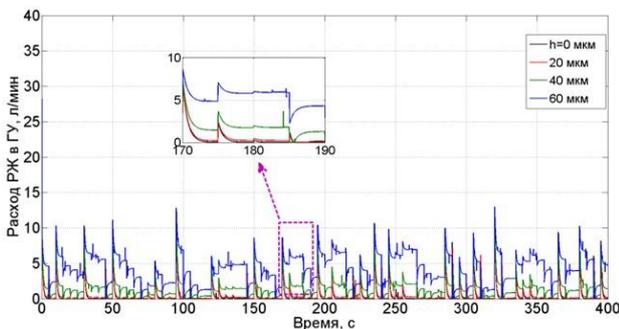


Рисунок 7. Расход жидкости в РП при наличии внутренних утечек в ГЦ

Анализируя влияние зазора в уплотнительном элементе поршня ГЦ, можно отметить, что его увеличение приводит к более частым переключениям

автомата разгрузки. Это наиболее заметно из анализа графика на рисунке 8.

Увеличение утечки в ГЦ приводит к тому, что повышается потребный расход в РП, в связи с чем давление в линии пневмогидроаккумулятора (ПГА) уменьшается быстрее по сравнению с исправной системой.

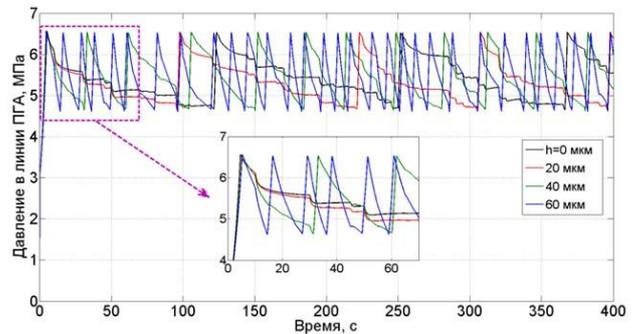


Рисунок 8. Давление жидкости в линии пневмогидроаккумулятора при наличии внутренних утечек в ГЦ

Таким образом, внутренняя утечка жидкости в РП приводит к деформации переходных процессов перемещения штока. Исходя из анализа графика на рисунке 6, можно отметить, что изменение зазора сказывается на положении штока в моменты его остановки. Это можно объяснить следующим образом. С остановкой командного золотника штоки также прекращают движение, но не достигают величины установки из-за уменьшения давления в полости ГЦ: утечка приводит к падению давления, следовательно, усилие, развиваемое ГЦ, становится меньше. Из условия баланса сил – меньшему усилию со стороны ГЦ соответствует меньшая внешняя сила. Так как в качестве внешнего воздействия рассматривается сила пружины, то при её постоянной жёсткости упругая сила может уменьшиться только в случае уменьшения её деформации. В связи с этим можно отметить, что с увеличением величины зазора возрастает статическая ошибка регулирования положения штока ГЦ.

На рисунках 9-13 представлены переходные процессы изменения основных параметров системы при уменьшении механического КПД ГЦ, связанного с увеличением сил трения в уплотнительном

элемента поршня. Увеличение сил трения приводит к остановкам движения штока ГЦ, что проявляется на графике перемещения появлением горизонтальных "площадок" (например, в диапазоне с 96 по 98 с на рисунке 9).

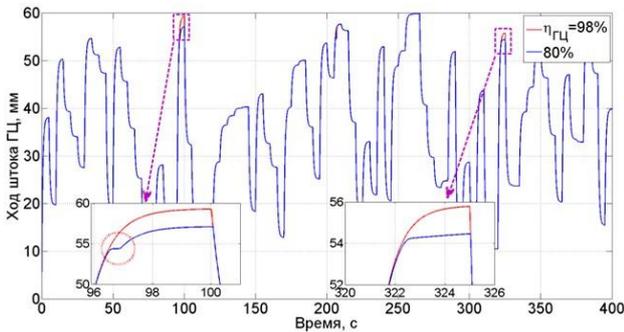


Рисунок 9. Перемещение штока при снижении КПД ГЦ

При перемещении поршня возрастает встречное внешнее усилие, действующее на шток. В некоторый момент времени развиваемого гидроцилиндром усилия становится недостаточно для дальнейшего движения и преодоления нагрузки, в результате чего происходит его остановка. Остановка длится до тех пор, пока сила давления вновь не превысит силу страгивания, и поршень не продолжит движение, выходя при этом на меньшее положение, чем определено установкой (управляющим воздействием). Следует отметить, что существенное увеличение статической ошибки положения поршня наблюдается в моменты изменения положения штока ГЦ, для осуществления которых требуется наибольший потребный расход в РП (рисунок 10).

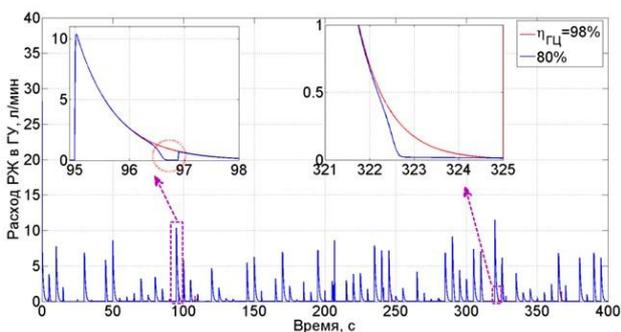


Рисунок 10. Расход жидкости в РП при снижении КПД ГЦ

Также можно отметить, что увеличение трения в ГЦ влияет на режим работы автомата разгрузки, что проявляется в некотором увеличении частоты его срабатываний (рисунок 11).

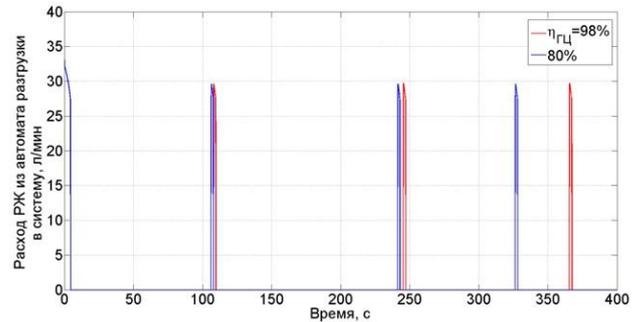


Рисунок 11. Расход жидкости из автомата разгрузки в систему при снижении КПД ГЦ

В свою очередь, частота срабатывания автомата разгрузки насоса также может служить косвенным признаком, характеризующим состояние диагностируемой ГМС.

4 Заключение

В данной работе показана возможность идентификации технического состояния узлов ГМС по их динамическим характеристикам, что может быть эффективно использовано в дальнейшем для создания систем упреждающего обслуживания сложных ТК с возможностью прогнозирования остаточного ресурса конкретных конструктивных элементов и узлов.

Список использованных источников

- [1] Башта, Т.М. Надёжность гидравлических систем воздушных судов / Т.М. Башта, В.Д. Бабанская, Ю.С. Головки и др. – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.
- [2] Woch, M. Statistical Analysis of Aviation Accidents and Incidents Caused by Failure of Hydraulic Systems [Text] / Marta Woch, Mariusz Zieja, Justyna Tomaszewska, Mateusz Janicki // 2019 The 3rd International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC 2019). – 2019. – Volume 291. – pp. 1-5.
- [3] Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика [Текст]: справочное пособие / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 671 с.

**INVESTIGATION OF THE STEERING DRIVE
PERFORMANCE BY DYNAMIC
CHARACTERISTICS**

**A. M. Gareyev
Yu. P. Ryzhkova**

Samara National Research University
(Samara University)

34, Moskovskoye shosse, Samara,
443086, Russian Federation

Gareyev@ssau.ru

The most effective way of non-destructive control of the technical condition of a complex hydro mechanical system such as a steering drive is diagnostics by dynamic characteristics. The diagnostic signs considered in this article are: dynamic values of the pressure and flow rate of the working fluid, as well as the speed of the spool movement and the shift of the rod under disturbing influences. On the example of the steering drive KAU-30B, the possibility of diagnosing the wear of elements of hydro mechanical systems based on the analysis of transients is shown.

Keywords: transient process; steering drive; diagnostics; dynamic characteristic

References

- [1] Bashta, T.M. Reliability of hydraulic systems of aircraft / T.M. Bashta, V.D. Babanskaya, Y.S. Golovko, etc. – M.: Transport, 1986. – 279 p.
- [2] Woch, M. Statistical Analysis of Aviation Accidents and Incidents Caused by Failure of Hydraulic Systems [Text] / Marta Woch, Mariusz Zieja, Justyna Tomaszewska, Mateusz Janicki // 2019 The 3rd International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC 2019). – 2019. – Volume 291. – pp. 1-5.
- [3] Bashta, T.M. Machine–building hydraulics [text]: reference manual / T.M. Bashta. - M.: Mechanical Engineering, 1971. - 671 p.