

## **ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С УЧЁТОМ ХАРАКТЕРНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ**

© 2019

**А. М. Гареев** кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники;  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва;  
[gareyev@ssau.ru](mailto:gareyev@ssau.ru)

**И. А. Попельнюк** аспирант;  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва;  
[iap@ssau.ru](mailto:iap@ssau.ru)

**Д. М. Стадник** кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматических систем энергетических установок;  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва;  
[sdm-63@bk.ru](mailto:sdm-63@bk.ru)

Из существующих методов диагностирования гидравлических систем одним из наиболее перспективных является метод, основанный на сравнении осциллограмм режимных параметров с эталонными зависимостями. Однако его реализация не позволяет точно локализовать неисправный агрегат в системе и количественно оценить величину неисправности. Для устранения данных недостатков целесообразно иметь имитационные модели агрегатов, учитывающие характерные неисправности гидравлической системы. Их использование позволяет на этапе математического моделирования оценить влияние той или иной неисправности на изменение динамических параметров. В результате анализа статистической информации и литературных источников определены характерные неисправности гидравлических систем. Рассмотрены причины их появления и влияние на работу гидравлических агрегатов. Описаны имитационные модели агрегатов с учётом характерных неисправностей в программном пакете Matlab/Simscapе, которые реализованы на примере типовой гидравлической системы. Проведено сравнение динамических характеристик гидравлической системы в исправном состоянии и при появлении одной из характерных неисправностей.

*Воздушное судно; гидравлическая система; неисправности; диагностирование; имитационные модели; динамические характеристики; динамические портреты.*

---

**Цитирование:** Гареев А.М., Попельнюк И.А., Стадник Д.М. Имитационные модели гидравлических агрегатов воздушных судов с учётом характерных неисправностей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 30-41. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-30-41

### **Введение**

В процессе эксплуатации гидравлических систем (ГС) выявляется ряд дефектов и повреждений, связанных с несовершенством конструкции, технологий производства, нарушениями условий эксплуатации, неблагоприятными внешними факторами и т.д. Для диагностирования технического состояния ГС применяются разные методы, среди которых выделяются методы эталонных зависимостей. Примером реализации последних является диагностирование ГС по изменению её динамических параметров. Такой подход основан на исследовании зависимостей отдельных режимных параметров ГС при различных условиях работы и сравнении их с эталоном. Несмотря на необходимость применения сложного дорогостоящего оборудования и трудоёмкость процесса расшифровки результатов измерений, данный метод на сегодняшний день является одним из наиболее информативных и точных. Однако вопросы, связанные с локализацией

неисправностей, а также количественной оценкой их величины на сегодняшний день остаются открытыми.

### Постановка задачи

Обобщённое представление ГС как динамической системы позволяет при её диагностировании использовать измеряемые параметры не только путём точечной оценки их значений в определённые промежутки времени, но и отслеживать процесс их изменения. Примером такого представления является динамический портрет (ДП), представляющий собой совокупность выходных параметров ГС, построенных во временной области  $t \in [t_1, t_2]$ . Можно предположить, что неисправность какого-либо элемента системы отражается на значениях её выходных параметров, которые можно оценивать по их разности с выходными параметрами исправной ГС при одних и тех же управляющих и возмущающих воздействиях. Каждой неисправности ГС должно соответствовать определённое отклонение параметров ДП от эталона. В этом случае отклонение ДП может являться диагностическим признаком при оценке технического состояния ГС. В результате построения динамических характеристик во времени можно заранее установить соответствие тех или иных неисправностей характеру отклонения ДП от эталона.

Для реализации предложенного подхода необходимо из всего множества отказов и неисправностей ГС определить характерные и наиболее часто встречающиеся, разработать их имитационные модели и исследовать изменение динамических характеристик ГС при их появлении.

### Метод решения

В большинстве своём ГС, как правило, состоят из типовых элементов (баки, насосы, фильтры, распределительная и регулирующая аппаратура, силовые цилиндры, трубопроводы, соединительная арматура и т.д. [1;2]), а характер и причины появления отказов и неисправностей в различных ГС в общем аналогичны. В данной работе рассматривалась ГС вертолётов семейства «Ми». В результате анализа статистических данных, собранных на кафедре эксплуатации авиационной техники Самарского университета, а также работ [3-5] было установлено, что наиболее характерными отказами и неисправностями в ГС являются:

- внешние утечки;
- внутренние утечки;
- деградация свойств рабочих жидкостей;
- заедания (заклинивания) золотниковых пар и клапанов.

Именно они могут приводить к катастрофам и аварийным ситуациям и, зачастую, не могут быть оперативно обнаружены существующими диагностическими средствами.

Кратко рассмотрим причины появления характерных отказов и неисправностей и их влияние на работу ГС.

**Внешние и внутренние утечки.** Известно, что надёжность и безотказность гидравлических агрегатов во многом зависит от состояния их уплотнительных устройств. Уплотнения агрегатов ГС представляют собой в основном резиновые кольца круглого или прямоугольного сечения [6-8]. Для вращающихся деталей (например, валы насосов) широко применяются манжетные уплотнения.

Резиновые кольца устанавливаются в зазоре с некоторым натягом, что создаёт их деформацию. В процессе перемещения уплотняемых поверхностей начальная величина деформации уплотнительного кольца изменяется (т.е. изменяется его форма). При этом восстановление первоначальной формы происходит не сразу после снятия нагрузки, а в течение некоторого времени. При этом возникают незначительные утечки рабочей

жидкости (РЖ) через уплотнения. Кроме того, зачастую скорость движения уплотнительных элементов меньше скорости движения уплотняемых поверхностей, что также способствует образованию внешних утечек.

Таким образом, даже при исправном состоянии уплотнений возможны утечки жидкости в небольших объёмах. Допустимые утечки жидкости в ГС обычно не регламентируются, однако их величина оговаривается заводом-изготовителем для каждого агрегата отдельно. При этом изменение температурных условий эксплуатации, вязкости жидкости, износ уплотнений с течением времени, возникновение повышенных вибраций и т.д. приводят к многократному возрастанию величины утечек.

Одной из главных причин износа уплотнений является затвердевание резины. Данный процесс зависит от содержания в РЖ серы, хлора и фосфора. Кроме того, содержание присадок в РЖ также может являться катализатором или нейтрализатором этого процесса. Значительное влияние на старение резины оказывает и температурный режим, а именно его повышение. Это связано с окислительными процессами, протекающими в резине в напряжённом состоянии при высоких температурах.

Таким образом, внешние и внутренние утечки возникают в агрегатах из-за износа и разрушения уплотнительных элементов или поверхностей с течением времени, а также при появлении неблагоприятных эксплуатационных факторов. При этом внешние утечки проявляются на поверхности агрегата, а внутренние, возникающие вследствие неплотности соединений внутри элементов или их повреждения, не всегда сопровождаются признаками внешней негерметичности и обнаруживаются по косвенным признакам (появление шума насоса, уменьшение усилий на штоке гидроусилителя и т.д.). Внутренние и внешние утечки приводят к падению производительности насосов, снижению давления в ГС, ухудшению заявленных характеристик исполнительных механизмов и, как следствие, к общему нарушению правильности функционирования ГС.

**Деградация параметров рабочей жидкости.** Анализ работ [9-13] показывает, что из всего многообразия физических и химических параметров РЖ в наибольшей степени оказывает влияние на её качество вязкость и загрязнённость механическими примесями.

Вязкость является одной из важнейших характеристик гидравлических жидкостей, т.к. гидравлические элементы способны эффективно работать только в определённом диапазоне значений вязкости РЖ. Слишком вязкая жидкость не будет затекать в маленькие зазоры и станет причиной снижения гидравлического КПД. Жидкость с малой вязкостью не будет удерживаться на подвижных деталях, что в итоге отрицательно сказывается на значении объёмного КПД. Кроме того, одна из основных функций РЖ – обеспечение смазки трущихся поверхностей агрегатов. Вследствие этого к ней предъявляются повышенные требования по обеспечению на поверхности трущихся деталей прочных и устойчивых плёнок, исключающих возможность возникновения сухого трения и связанного с ним повышенного износа деталей. При эксплуатации РЖ подвергается температурным воздействиям, действию мощных звуковых полей и продавливается через зазоры в агрегатах. Всё это приводит к её деструкции и снижению вязкости. При этом скорость изменения вязкости РЖ для различных ГС отличается и зависит от типа применяемых насосов, температурного режима её работы, интенсивности звуковых полей и ряда других факторов.

В процессе эксплуатации ГС происходит непрерывный процесс накопления органических и неорганических примесей в гидравлических маслах. Состав загрязнений зависит от условий и режимов эксплуатации, а также от герметичности элементов системы. Как показывает отечественный и зарубежный опыт [13-17], именно повышенная загрязнённость РЖ в 70-90% случаев является причиной отказов элементов ГС.

Загрязнение РЖ ГС частицами может вызвать три вида отказа агрегатов:

- повышенный износ, обусловленный истиранием поверхностей пар трения из-за присутствия в зазорах частиц загрязнения и эрозией из-за бомбардировки частицами;
- заклинивание элементов золотниковых распределителей (частицы перекрывают отверстия управления);
- блокировка зазоров в прецизионных парах (илистая блокировка или блокировка частицами – облитерация).

Загрязнения попадают в РЖ непрерывно, начиная с момента её производства и заканчивая процессом эксплуатации. Наличие механических примесей способствует окислению РЖ, которое вызывает изменение её физико-химических свойств, ухудшает термостабильность, кислотность и другие эксплуатационные свойства [13-17]. Кроме того, под действием частиц загрязнений снижается несущая способность смазывающей плёнки на поверхностях трения, что в итоге увеличивает интенсивность изнашивания агрегатов ГС [14;16].

Высокая степень загрязнённости жидкости приводит к снижению надёжности и долговечности агрегатов ГС. Наиболее подвержены негативному влиянию загрязнений те из них, в состав которых входят прецизионные пары. Конструктивной особенностью этого элемента является необходимость обеспечения сверхмалого зазора между золотником и его гильзой (5-15 мкм). Величина зазора соизмерима с размерами частиц загрязнений, концентрация которых максимальна в РЖ. В результате в процессе работы загрязнения непрерывно попадают в зазор вместе с РЖ, вызывая заедание, заклинивание деталей и их абразивный износ, что в итоге приводит к выходу всего агрегата из строя.

**Заедания и заклинивания золотниковых пар.** Золотниковые механизмы являются неотъемлемой частью многих гидравлических агрегатов, в первую очередь – распределителей. Конструкция данных механизмов предполагает наличие микронных зазоров между золотником и его гильзой, т.е. наличие капиллярной щели. Из-за этого в процессе эксплуатации нередко возникает неисправность, связанная с заеданием золотниковой пары, которая со временем приводит к её полному заклиниванию.

Отчасти причиной этого явления является облитерация (заращивание) капиллярных щелей. Заращивание капиллярных щелей происходит в результате отложений на поверхностях связующего слоя, состоящего из полярных молекул. Интенсивность процесса не зависит от вязкости жидкости и твёрдых включений, однако она увеличивается с ростом давления в системе.

В результате облитерации резко ухудшается динамика ГС, т.к. величина требуемых усилий для страгивания золотника многократно возрастает из-за необходимости разрушения связующего молекулярного слоя гильзы и золотника. Вследствие этого возникает запаздывание в следящей ГС и эффект заедания золотника в гильзе.

С другой стороны, при появлении неблагоприятных факторов (наличие эксцентриситета и нарушение цилиндричности поверхностей золотника и гильзы) в паре появляется неуравновешенная радиальная сила, стремящаяся сместить золотник к гильзе, тем самым вызывая недопустимое увеличение сил трения в паре и в итоге заедание золотника в гильзе. Механизм развития данного процесса рассмотрен в [18].

Рассмотрим имитационные модели характерных неисправностей ГС, состоящей из типовых элементов. Гидравлическая схема ГС приведена на рис. 1. Реализация рассматриваемой ГС в программе Matlab/Simscapе представлена на рис. 2. Разработанная модель позволяет рассчитывать переходные процессы основных параметров системы при наличии и отсутствии характерных неисправностей в агрегатах.

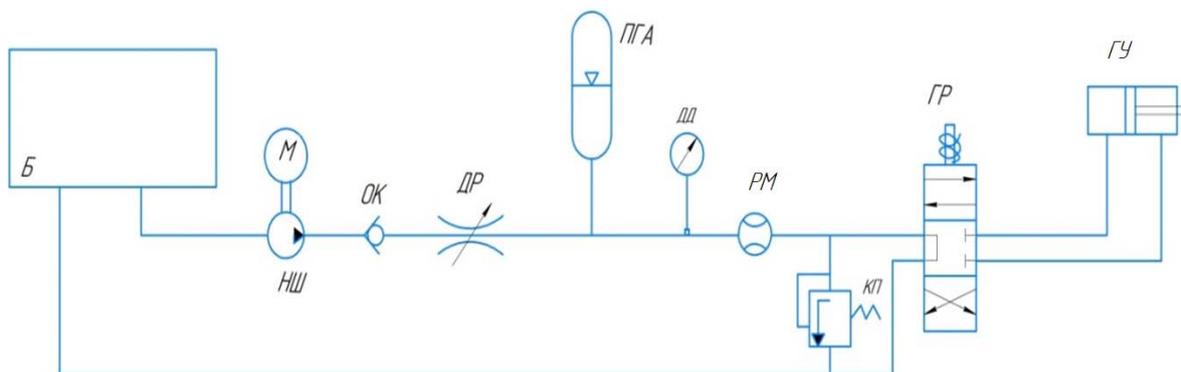


Рис. 1. Гидравлическая схема типовой ГС:

Б – гидравлический бак; НШ – шестерённый насос; М – электродвигатель; ОК – обратный клапан; ДР – дроссель; ПГА – пневмогидроаккумулятор; ДД – датчик давления; РМ – расходомер; КП – предохранительный клапан; ГР – гидравлический распределитель с электромагнитным управлением; ГУ – гидравлический усилитель

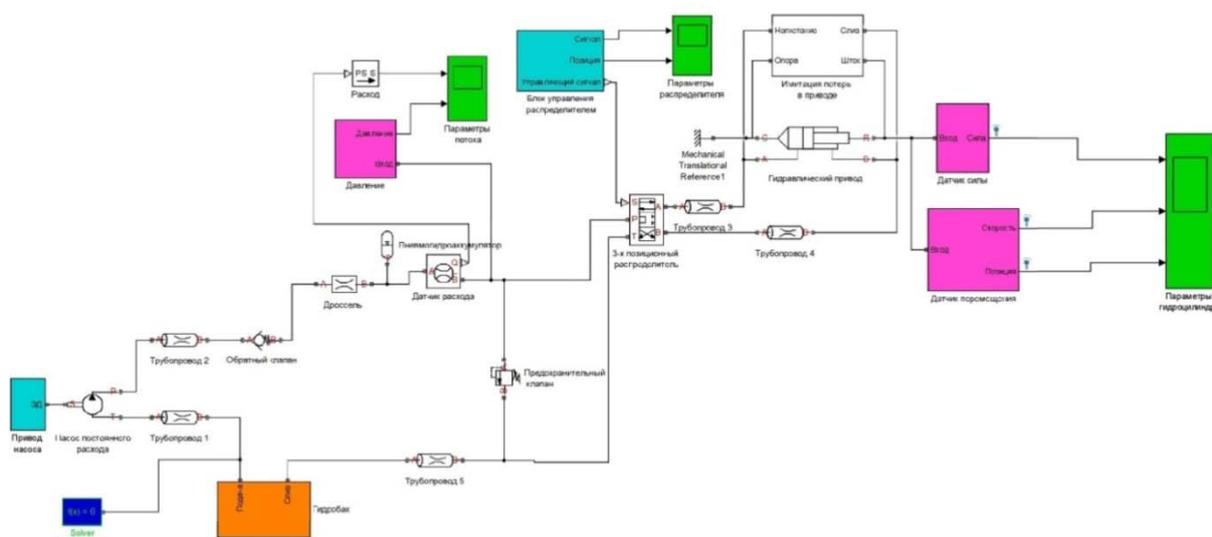


Рис. 2. Математическая модель типовой ГС в программном пакете Matlab/Simulink

**Имитационная модель внутренних утечек.** Внутренние утечки характерны в первую очередь для насосных агрегатов. Для моделирования работы насоса с данной неисправностью в программном пакете Matlab/Simulink байпасно насосу подключается регулируемый вентиль с подачей РЖ на слив. В процессе моделирования динамических процессов, происходящих в насосе, в программном пакете MatLab/Simulink используется равенство баланса расходов:

$$Q_n = Q_n^y + Q_y,$$

где  $Q_y = \mu_v F_v \sqrt{\frac{2}{\rho}} (p_n^y - p_{cl})$  – расход утечек жидкости;  $\mu_v, F_v$  – коэффициент расхода и площадь проходного сечения вентиля соответственно;  $p_n^y$  – давление на выходе из

насоса;  $Q_n$  – расход жидкости на выходе из исправного насоса;  $Q_n^y$  – расход жидкости на выходе из насоса с учётом величины утечек.

Внешние утечки возникают главным образом в местах стыков трубопроводов и корпусных деталей агрегатов (рис. 3) в условиях вибраций и изменения температуры РЖ в большом диапазоне. Внешние утечки могут привести, во-первых, к сокращению объёма жидкости в баках, а при значительных величинах – к изменению динамических характеристик всей ГС.

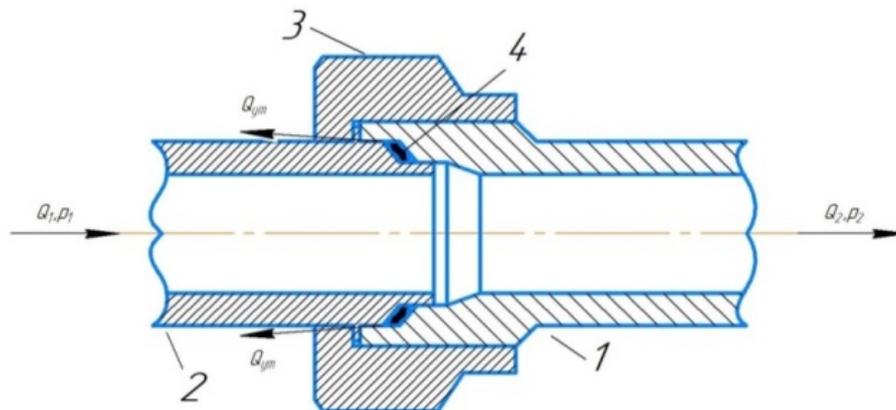


Рис. 3. Схема утечек РЖ на стыке трубопроводов:  
1 – штуцер; 2 – нить; 3 – накидная гайка; 4 – уплотнительное кольцо

При моделировании динамических процессов утечек жидкости в стыках трубопроводов в программном пакете Matlab/Simscare имитация проводится на основе уравнения баланса расхода в местах соединения трубопроводов:

$$Q_1 + Q_{ym} - Q_2 = 0, \quad p_1 = p_2, \quad Q_{ym} = K_{ym} (p_1 - p_{атм}),$$

где  $Q_1, Q_2, Q_{ym}$  – расход РЖ на входе в стык, выходе из стыка и величина утечек соответственно;  $p_1, p_2$  – давление на входе и на выходе из стыка соответственно;  $K_{ym}$  – коэффициент ламинарных гидравлических потерь РЖ в стыке.

Для исправного агрегата справедливы равенства:  $Q_1 = Q_2$ ;  $p_1 = p_2$ ;  $K_{ym} = 0$ .

**Имитация неисправности пневмогидроаккумулятора.** Часто встречающейся неисправностью пневмогидроаккумулятора (ПГА) является негерметичность зарядного штуцера, при которой объём газовой полости в процессе эксплуатации может изменяться от заданного  $V_2^p$  до нуля, где  $V_2^p$  – объём газовой полости при рабочем давлении. Определить неисправность ПГА в процессе работы ГС можно только по динамическим параметрам.

При моделировании в программном пакете Matlab/Simscare расход жидкости в ПГА определяется по зависимости:

$$Q_{ПГА} = C_{ПГА} \frac{dP_{ПГА}}{dt}, \quad Q_1 = Q_{ПГА} + Q_2,$$

где  $C_{ПГА} = \frac{V_{\text{экв}}^p}{\rho c}$  – акустическая ёмкость ПГА;  $V_{\text{экв}}^p$  – эквивалентный объём ПГА;  $\rho, c$  – плотность и скорость звука в жидкости соответственно;  $\frac{dP_{ПГА}}{dt}$  – изменение давления в ПГА;  $Q_1$  и  $Q_2$  – расходы жидкости до и после ПГА соответственно.

Эквивалентный объём ПГА при  $p_{ПГА} > p_{\text{зар}}$  определяется по формуле:

$$V_{\text{экв}}^p = V_{ПГА} \left( 1 - \left( \frac{p_{\text{зар}}}{p_{ПГА}} \right)^{\frac{1}{k}} \right),$$

где  $V_{ПГА}$  – объём ПГА;  $p_{\text{зар}}$  – давление зарядки ПГА;  $k$  – показатель адиабаты.

При полном стравливании газа из соответствующей полости ПГА справедливо равенство  $V_{\text{экв}}^p = V_{ПГА}$ .

**Имитация загрязнений рабочей жидкости.** Одним из главных признаков наличия в РЖ большого количества механических примесей является загрязнение гидравлического фильтра. Расход РЖ через фильтр определяется по формуле:

$$Q = \frac{S q (p_1 - p_2)}{\mu},$$

где  $Q$  – расход РЖ через фильтр;  $S$  – площадь фильтрующего элемента;  $q$  – удельная пропускная способность фильтра;  $(p_1 - p_2)$  – перепад давлений на фильтре;  $\mu$  – динамическая вязкость РЖ.

При загрязнении фильтрующего элемента механическими примесями, по сути, уменьшается его проходная площадь, а перепад давления в свою очередь должен возрасти. Таким образом, данную неисправность при моделировании динамических процессов в программном пакете MatLab/Simscare можно реализовать уменьшением площади проходного сечения фильтрующего элемента. Вследствие этого увеличение перепада на фильтре приведёт к открытию встроенного перепускного клапана.

**Имитация заедания (заклинивания) золотниковых пар (клапанов).** Одной из наиболее распространённых неисправностей гидравлических распределителей является заедание / заклинивание золотника в гильзе. Имитационную модель заедания золотника гидравлического распределителя можно построить в программном пакете MatLab/Simscare, увеличив силу сухого трения золотника в соответствии с уравнением:

$$M_3 \frac{dx}{dt} + \lambda_{\text{в.мп}} \frac{dx}{dt} + N_{\text{с.мп}} \frac{dx}{dt} \text{sign} \left( \frac{dx}{dt} \right) + \gamma_{\text{нр}} x = F_3 (p_1 - p_2),$$

где  $x$  – перемещение золотника;  $M_3, \lambda_{\text{в.мп}}$  – масса и сила вязкого трения соответственно;  $N_{\text{с.мп}}$  – сила сухого трения;  $\gamma_{\text{нр}}$  – жёсткость пружины;  $F_3$  – площадь торца золотника;  $p_1, p_2$  – давления по торцам золотника.

При исправном состоянии агрегата сила сухого трения, характеризующая заедание золотника, минимальна. При попадании в зазор между золотником и гильзой твёрдых частичек загрязнения в равенство закладывается сила сухого трения в процентах от

действия сил перепада давления (например, 20%). При превышении сил сухого трения над силой перепада давления золотник стопорится в каком-то положении, что и приводит к потере работоспособности агрегата.

### Результаты моделирования

Сравнительный анализ ДП заключается в исследовании отклонений режимных параметров неисправной ГС по отношению к режимным параметрам исправной ГС. В качестве примера была рассмотрена неисправность, связанная с утечкой газа из ПГА. На рис. 4, 5 представлены переходные процессы по давлению и объёму для исправной и неисправной ГС.

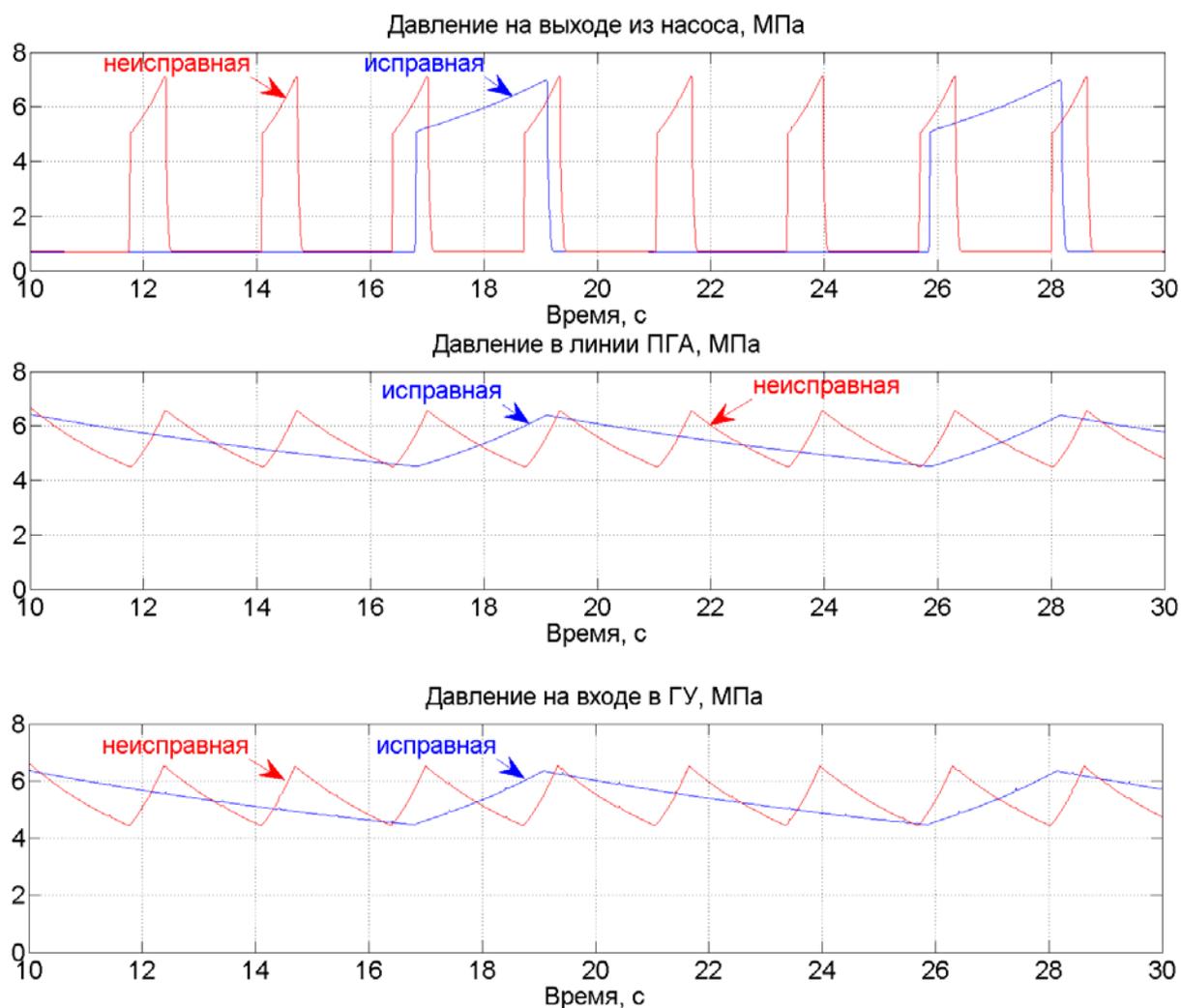


Рис. 4. Переходные процессы по давлениям в исправной и неисправной ГС

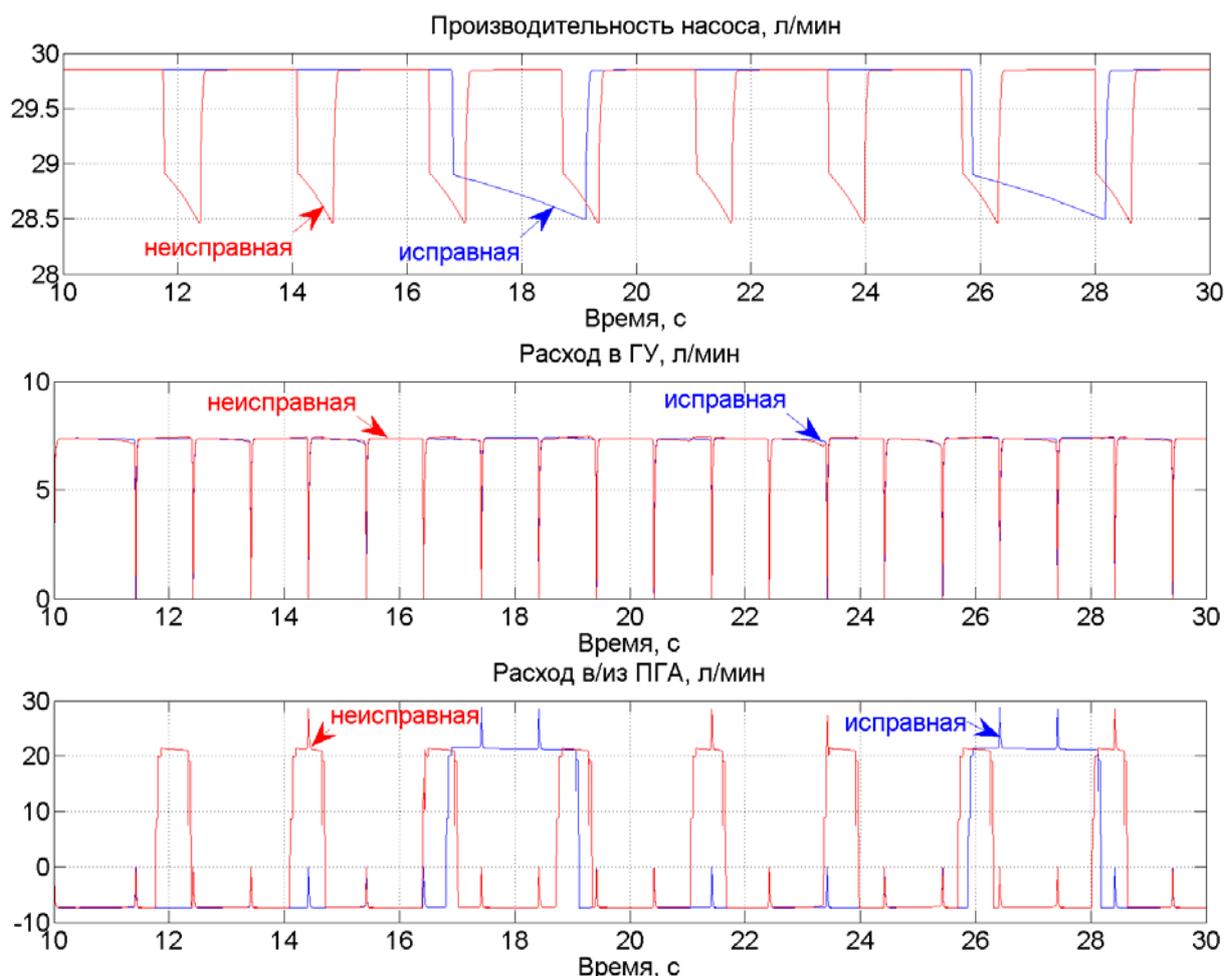


Рис. 5. Переходные процессы по объёмному расходу в исправной и неисправной ГС

Анализ полученных результатов указывает на различия между переходными процессами в исправной и неисправной ГС. Так при утечке газа из ПГА уменьшается частота переключений за фиксированный промежуток времени, а также градиент параметров расхода и давления. При этом граничные значения, которые достигают параметры ГС, остаются неизменными, что подтверждает возможность её функционирования при появлении данной неисправности.

### Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

На основании анализа статистических данных и литературных источников установлено, что характерными отказами и неисправностями ГС являются внешние и внутренние утечки, деградация свойств РЖ (главным образом – загрязнение механическими примесями), утечки газа из полости ПГА и заедание (заклинивание) золотниковых пар агрегатов.

Возникновение неисправностей вызывает отклонение ДП от эталона. Характер отклонения существенно зависит от вида неисправности и от рассматриваемого режимного параметра ГС.

Диагностирование ГС по динамическим параметрам с применением ДП является чувствительным методом, так как с его помощью можно фиксировать неисправности в элементах системы на ранних этапах их появления.

Различные режимные параметры ГС обладают различной информативностью, которая зависит в том числе от точки, с которой ведётся фиксация значений параметров.

Полученные результаты подтверждают возможность использования предложенного подхода для качественной (по характеру отклонения ДП от эталона) и количественной (например, при помощи способа, предложенного в работе [18]) идентификации неисправностей ГС.

Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с экспериментальной верификацией имитационных моделей на полунатурном стенде. Для этого необходимо в первую очередь разработать конструкцию имитаторов неисправностей, позволяющих создать нарушения в работе ГС аналогичные тем, что происходят при появлении данной неисправности в эксплуатации. При этом важно, чтобы разработанные имитаторы позволяли не только вносить нарушения в работу ГС, но и регулировать их величину (расход жидкости на утечки, степень загрязнения фильтра и т.д.).

### Библиографический список

1. Шумилов И.С. Системы управления рулями самолётов: учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 469 с.
2. Никитин О.Ф. Объёмные гидравлические и пневматические приводы. М.: Машиностроение, 1981. 269 с.
3. Сапожников В.М. Монтаж, контроль и испытания трубопроводных коммуникаций гидрогазовых систем летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1996. 160 с.
4. Никитин О.Ф. Надёжность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 312 с.
5. Гамынин Н.С. Основы следящего гидравлического привода. М.: Оборонгиз, 1969. 293 с.
6. Никитин Г.А. Щелевые и лабиринтные уплотнения гидроагрегатов. М.: Машиностроение, 1982. 135 с.
7. Комаров А.А. Надёжность гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1969. 236 с.
8. Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1982. 216 с.
9. Товарные нефтепродукты. Свойства и применение: справочник / под ред. В.М. Школьников. М.: Химия, 1978. 470 с.
10. Шишков И.Н. Авиационные горюче-смазочные материалы и специальные жидкости. М.: Транспорт, 1979. 247 с.
11. Кононов А.А., Кобзов Д.Ю., Ермашонок С.М. Гидравлические и пневматические машины: Курс лекций. Братск: БрГУ, 2005. 200 с.
12. Кондрашов Ю.И. Конструкция и проектирование агрегатов и систем: электрон. учеб. пособие. Самара: СГАУ, 2011. 297 с.
13. Тимиркеев Р.Г. Промышленная чистота и тонкая фильтрация жидкостей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 152 с.
14. Fitch E.C. Extending component service life through proactive maintenance. Stillwater, Oklahoma U.S.A.: Tribolics, Inc., 1998. 15 p.
15. Fitch E.C. Fluid contamination control. Oklahoma: FES, Inc., 1988. 433 p.
16. Никитин Г.А. Влияние загрязнённости жидкости на надёжность работы гидросистем летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1969. 184 с.
17. Кузнецова Г.В. Диагностирование состояния гидромашин в течение приработки по загрязнённости // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1983. № 8. С. 81-84.

18. Гареев А.М., Попельнюк И.А. Использование фазовых портретов гидромеханических агрегатов для диагностирования гидравлических систем воздушных судов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17, № 3. С. 44-55. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-3-44-55

## IMITATION MODELS OF AIRCRAFT HYDRAULIC UNITS WITH ACCOUNT FOR TYPICAL FAULTS

© 2019

- A. M. Gareyev** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Aircraft Maintenance;  
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;  
[gareyev@ssau.ru](mailto:gareyev@ssau.ru)
- I. A. Popelnyuk** Postgraduate Student;  
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;  
[iap@ssau.ru](mailto:iap@ssau.ru)
- D. M. Stadnik** Candidate of Science (Engineering), Senior Lecturer of the Department of Power Plant Automatic Systems;  
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;  
[sdm-63@bk.ru](mailto:sdm-63@bk.ru)

A method based on comparing oscilloscope patterns of operational parameters with reference curves is one of the most promising methods of diagnosing hydraulic systems among the existing ones. Its implementation does not allow accurate localization of the faulty unit in the system and quantitative estimation of the magnitude of the fault. To eliminate these shortcomings, it is advisable to use simulation models of hydraulic units, taking into account typical faults of a hydraulic system. Their use makes it possible to evaluate the effect of a particular malfunction on the change of dynamic parameters at the stage of mathematical modeling. As a result of the analysis of statistical information and literary sources, characteristic faults of hydraulic systems are identified. Their causes and the impact on the operation of hydraulic units are examined. Simulation models of units taking into account typical faults are described in the Matlab / Simscape software package. They are implemented using a typical hydraulic system as an example. Dynamic characteristics of a hydraulic system in a healthy condition and those of a system with one of the characteristic faults are compared.

*Aircraft; hydraulic system; faults; diagnostics; simulation models; dynamic characteristics; dynamic portraits.*

---

*Citation:* Gareyev A.M., Popelnyuk I.A., Stadnik D.M. Imitation models of aircraft hydraulic units with account for typical faults. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. V. 18, no. 1. P. 30-41.  
DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-30-41

### References

1. Shumilov I.S. *Sistemy upravleniya rulyami samoletov* [Aircraft steering systems: study guide]. Moscow: Moscow State Technical University Publ., 2009. 469 p.
2. Nikitin O.F. *Ob"emnye gidravlicheskie i pnevmaticheskie privody* [Hydrostatic hydraulic and pneumatic drives]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1981. 269 p.
3. Sapozhnikov V.M. *Montazh, kontrol' i ispytaniya truboprovodnykh kommunikatsiy gidrogazovykh sistem letatel'nykh apparatov* [Installation, control and testing of pipeline communications of aircraft hydraulic gas systems]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1996. 160 p.
4. Nikitin O.F. *Nadezhnost', diagnostika i ehkspluataciya gidroprivoda mobil'nykh ob"ektov* [Reliability, diagnostics and operation of hydraulic drives of mobile objects]. Moscow: Moscow State Technical University Publ., 2007. 312 p.

5. Gamynin N.S. *Osnovy sledyashchego gidravlicheskogo privoda* [Basics of a hydraulic servo-drive]. Moscow: Oborongiz Publ., 1969. 293 p.
6. Nikitin G.A. *Shchelevye i labirintnye uplotneniya gidroagregatov* [Groove and labyrinth seals of hydraulic units]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 135 p.
7. Komarov A.A. *Nadezhnost' gidravlicheskikh sistem* [Reliability of hydraulic systems]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1969. 236 p.
8. Kondakov L.A. *Rabochie zhidkosti i uplotneniya gidravlicheskikh sistem* [Hydraulic fluids and seals]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 216 p.
9. *Tovarnye nefteprodukty. Svoystva i primeneniye: spravochnik / pod red. V.M. Shkol'nikova* [Commercial oil products. Properties and application: Directory. 2nd revised edition / Ed. by V.M. Shkolnikova]. Moscow: Khimiya Publ., 1978. 470 p.
10. Shishkov I.N. *Aviacionnye goryuche-smazochnye materialy i special'nye zhidkosti* [Aviation fuel and lubrication materials and special liquids]. Moscow: Transport Publ., 1979. 247 p.
11. Kononov A.A., Kobzov D.Yu., Ermashonok S.M. *Gidravlicheskie i pnevmaticheskie mashiny: Kurs lektsiy* [Hydraulic and pneumatic machines]. Bratsk: Bratsk State University Publ., 2005. 200 p.
12. Kondrashov Yu.I. *Konstruktsiya i proektirovanie agregatov i sistem: elektron. ucheb. posobie* [Construction and design of units and systems]. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2011. 297 p.
13. Timirkeyev R.G. *Promyshlennaya chistota i tonkaya fil'tratsiya zhidkostey letatel'nykh apparatov* [Industrial purity and fine filtration of aircraft fluids]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1986. 152 p.
14. Fitch E.C. Extending component service life through proactive maintenance. Stillwater, Oklahoma U.S.A: Tribolics, Inc., 1998. 15 p.
15. Fitch E.C. Fluid contamination control. Oklahoma: FES, Inc., 1988. 433 p.
16. Nikitin G.A. *Vliyaniye zagryaznennosti zhidkosti na nadezhnost' raboty gidrosistem letatel'nykh apparatov* [Influence of fluid contamination on the reliability of aircraft hydraulic systems]. Moscow: Transport Publ., 1969. 184 p.
17. Kuznetsova G.V. Diagnosing the state of hydraulic machines during running in. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*. 1983. No. 8. P. 81-84. (In Russ.)
18. Gareyev A.M., Popelnyuk I.A. Use of phase portraits of hydro-mechanical units for diagnosing aircraft hydraulic systems. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. V. 17, no. 3. P. 44-55. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-3-44-55. (In Russ.)