

УДК 629.735.062

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ БОРТОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

М.А. БОБРИН

Статья представлена доктором технических наук, профессором Кублановым М.С.

Для определения эксплуатационных полей допусков параметров гидравлических систем при различных условиях работы и этапах полета приведены математические зависимости и представлены результаты, полученные в среде Mathcad в аналитической форме для бортового вычислительного комплекса.

Ключевые слова: гидравлическая система летательных аппаратов, контроль, диапазоны изменения эксплуатационных полей допусков, бортовой вычислительный комплекс.

Для обеспечения и управления безопасностью полетов (БП) на самолете должна быть система сбора, обработки и накопления информации о параметрах гидравлических систем (ГС). В такой бортовой системе должны быть установлены датчики для измерения параметров ГС, преобразования их в электрический сигнал и передачи в бортовой вычислительный комплекс.

Внешними параметрами ГС являются скорости перемещения выходных звеньев исполнительных элементов функциональных подсистем или скорости выполнения ими операций. Внешние параметры зависят от имеющейся в ГС внутренней потенциальной энергии – энергии давления, поэтому для оценки состояния системы, его прогнозирования в системе, в основном, должны быть установлены датчики давления.

Для подтверждения этого был проведен анализ опыта эксплуатации и выявлены типовые отказы, при возникновении которых изменяется давление внутри ГС. Такими отказами являются внутренняя и внешняя негерметичность, засорение, заклинивание элементов и отказ электрических составляющих гидравлических агрегатов.

Были определены места установки датчиков давления и температуры в блоках питания и функциональных подсистемах. Давление в замеряемых точках ГС должно быть измерено и его величина оценена по ее нахождению в поле допуска.

Допуск состоит из трех составляющих: производственного; эксплуатационного; ремонтного.

Наличие производственного допуска определено имеющимися в производстве изготовлении элементов систем допусков на их размеры и параметры. Методы контроля производственных допусков хорошо разработаны, но они могут быть использованы лишь при приемосдаточных испытаниях элементов и всех ГС на заводах-изготовителях. Однако контроль только по производственному допуску в эксплуатации не допустим, т.к. появляются еще две составляющие допуска.

Ремонтный допуск возникает из-за изменения параметров элементов ГС после их ремонта.

Эксплуатационный допуск обусловлен колебаниями параметров ГС из-за изменения условий эксплуатации, физических процессов, происходящих в ГС летательного аппарата (ЛА).

В настоящее время суммарное поле допуска: производственное и эксплуатационное – задается разработчиками и заводами-изготовителями, причем с запасом, для того, чтобы все возможные колебания параметров уложились в это поле. Оно корректно не вычисляется.

Большое заданное поле допуска непосредственно связано со скрытыми отказами и влияет на БП, поэтому необходима разработка методики определения эксплуатационного поля допуска.

Внешние параметры ГС (скорость перемещения выходного звена, время выполнения операций) зависят от внутренних параметров – давления в системе. Оно определяется величиной нагрузки и сопротивлением сети. Давление, создаваемое нагрузкой, находится как разница

показаний датчиков давления, установленных до и после гидравлического цилиндра. Замерять его необходимо для того, чтобы определить внутренние изменения давления, вычитая из показаний всех других датчиков разницу давления, замеренную у гидравлического цилиндра.

Соппротивление сети складывается из потерь давления на трубопроводах и местных сопротивлений. Потери давления на каждом элементе должны определяться с помощью датчиков, установленных до и после него. Замеры с их помощью необходимы для бортовой системы сбора, обработки и накопления информации (мониторинга состояния ГС), для обеспечения и управления БП. Давление с датчиков должно поступать в бортовой вычислительный комплекс, где его значение сравнивается с заданным полем допуска исправных элементов. Тенденция изменения и отклонение от нормы позволяет прогнозировать состояние и констатировать наличие отказа. Для этого необходимо определить поле допуска для перепада давления на элементах, т.е. потери давления на них для исправного состояния элемента.

Суммарные потери давления в системе, определяющие давление за насосом, зависят от вязкости жидкости (чем она больше, тем больше давление и наоборот), а вязкость зависит от температуры рабочей жидкости и ее наработки.

В ГС ЛА скорость перемещения исполнительных элементов регулируется изменением малого дроссельного отверстия в золотниковой паре. Дроссельный способ регулирования прост, но он имеет недостаток: частицы жидкости, проходя через малые отверстия, трутся друг о друга, из-за чего энергия давления жидкости переходит в тепло, т.е. жидкость при этом способе регулирования нагревается. Нагревается она и проходя через насос, находящийся на двигателе. За насосом рабочая жидкость двигается в трубопроводе в негерметичной части ЛА, где температура снижается до -60°C , поэтому она здесь охлаждается. Это заставляет учитывать имеющий место теплообмен.

С помощью решения дифференциального уравнения энергии (уравнение термодинамики) было получено выражение для изменения температуры рабочей жидкости, движущейся от насоса по негерметичной части ЛА [1]:

$$t_{\text{ж}}^0 = (t_1^0 - t_{\text{oc}}^0)e^{\theta_2 x} + t_{\text{oc}}^0 = (t_1^0 - t_{\text{oc}}^0)e^{\theta_2 l} + t_{\text{oc}}^0, \quad (1)$$

где $t_{\text{ж}}^0$ – температура жидкости; t_1^0 – температура жидкости на выходе из блока питания; t_{oc}^0 – температура окружающей среды; θ_2 – корень характеристического уравнения; l – длина трубопровода.

Потери давления, определяющие величину давления в измеряемых точках, зависят от вязкости, а она определяется температурой. Для жидкости НГЖ-4 (5У) на основе экспериментальных данных (ГосНИИ ГА) с помощью аппроксимации получено выражение (2) для зависимости коэффициента кинематической вязкости от температуры:

$$\nu = \left(\frac{248,8}{t_{\text{ж}} + 78,8} \right)^{3,44}. \quad (2)$$

На его основе было найдено значение величины перепада давления для получения диапазона изменения давления [2]:

$$\Delta P = \frac{32l\nu_x}{d^2 g} \left(\frac{248,8}{(t_1^0 - t_{\text{oc}}^0)e^{\theta_2 l} + 78,8 + t_{\text{oc}}^0} \right)^{3,44}, \quad (3)$$

где ν_x – составляющая скорости движения жидкости вдоль оси x ; d – диаметр трубопровода; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент кинематической вязкости зависит также от наработки. Это определяется тем, что в жидкости имеются высокомолекулярные присадки, молекулы которых в процессе эксплуатации продавливаются через зазоры и малые отверстия, в результате чего они разрушаются, а вязкость падает.

На основе опыта применения жидкости НГЖ-5У (ГосНИИ ГА) и полученных выражений была оценена величина изменения давления при этом и построены графики [3].

Давление в системе зависит от скорости движения в ней жидкости, т.е. от подачи насоса, приводимого в движение механическим шестеренным приводом, находящимся на двигателе. Подача пропорциональна частоте вращения вала насоса, а она определяется частотой вращения вала двигателя, которая зависит от режима его работы, т.е. от этапа полета.

Для двигателя ПС-90А и насоса НП-123 эта зависимость найдена и построены графики [4].

Выходные параметры (скорости перемещения) определяются характеристикой насоса (располагаемой мощностью) и суммарной потребной величиной напора системы (потребной мощностью).

При проведении гидравлического расчета характеристика насоса считается неизменной, однако она изменяется с изменением этапа полета [5]. Это не отражено ни в одной публикации. Изменения связаны с тем, что подача насоса изменяется с изменением частоты вращения его вала, вала двигателя и этапа полета. Соответственно меняется рабочая точка – точка пересечения характеристики насоса и кривой потребного напора сети. Для нее получено выражение:

$$P_{\Pi} = \frac{F}{S_{\text{эф}}} + \frac{32lv_x}{d^2g} \left(\frac{248,8}{(t_1 - t_{\text{oc}})e^{\theta_2 l} + 78,8 + t_{\text{oc}}} \right)^{3,44}, \quad (4)$$

где F – величина нагрузки; $S_{\text{эф}}$ – эффективная, кольцевая площадь поршня.

Для получения скоростей перемещения исполнительных механизмов, зависящих от расходов в системе, с помощью решения системы уравнений (характеристики насоса и кривой потребного напора) получены выражения для расходов (5) и (6) [6].

Для всех систем, кроме системы управления:

$$Q_{A1} = \frac{S_{\text{эф}} \cdot Q_m \cdot P_{\min} - F \cdot q_{ym}}{S_{\text{эф}} \cdot (k \cdot q_{ym} + P_{\min})}, \quad (5)$$

где Q_m – теоретическая подача насоса; q_{ym} – величина (расход) утечек; $P_{\min}$ – минимальное давление, создаваемое насосом в блоке питания и определяемое работой автоматики изменения

угла наклона шайбы или блока цилиндров в насосе $k = \frac{128 \cdot l}{\pi d^4 g} \left(\frac{248,8}{(t_1 - t_{\text{oc}})e^{\theta_2 l} + 78,8 + t_{\text{oc}}} \right)^{3,44}$.

Для системы управления рабочая точка находится решением:

$$Q_{A2} = \frac{(Q_m - q_{ym}) \cdot (P_{\max} \cdot S_{\text{эф}} - F)}{S_{\text{эф}} \cdot [k \cdot (Q_m - q_{ym}) + P_{\max} - P_{\min}]}, \quad (6)$$

здесь $P_{\max}$ – максимальное давление, создаваемое насосом в блоке питания и определяемое работой автоматики изменения угла наклона шайбы или блока цилиндров в насосе.

Соотношения (5) и (6) должны быть введены в бортовой вычислительный комплекс для получения диапазона изменения расходов, т.е. выходных параметров системы для различных этапов полета.

Для подсистемы управления с использованием дифференциального уравнения движения гидравлического привода и эллипса нагрузки были получены выражения (7) и (8) для определе-

ния диапазона изменения скорости перемещения поршня привода и его ускорения на основе использования полученных соотношений (5) и (6).

Скорость перемещения привода:

$$v = v_{\max} \sqrt{1 - \frac{(c_{\text{ш}} x)^2}{\Delta F_{\max}^2}}, \quad (7)$$

где $v_{\max}$ – максимальная скорость привода; $c_{\text{ш}}$ – коэффициент шарнирного момента (позиционной нагрузки от аэродинамических сил); x – величина перемещения поршня; $\Delta F_{\max}$ – максимальное приращение нагрузки на привод при его отклонении.

Ускорение перемещения поршня:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{S_{\text{эф}} (P_1 - \Delta P) - b v_{\max} \sqrt{1 - \frac{(c_{\text{ш}} x)^2}{\Delta F_{\max}^2}} - c_{\text{ш}} x}{m_{\text{пр}}}, \quad (8)$$

здесь $(P_1 - \Delta P)$ – перепад давления между полостями гидравлического цилиндра; b – коэффициент вязкого трения; $m_{\text{пр}}$ – масса нагрузки, подвижных элементов и жидкости, приведенная к оси гидравлического цилиндра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрин М.А., Клемина Л.Г. Влияние окружающей среды на диапазоны изменения температуры рабочей жидкости гидравлических систем летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА. 2011. № 172. С. 153 – 155.
2. Бобрин М.А., Клемина Л.Г. Определение диапазона изменения давления жидкости в гидросистемах летательных аппаратов при контроле работоспособности в зависимости от условий ее работы // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 177. С. 117 – 118.
3. Бобрин М.А., Клемина Л.Г. Определение эксплуатационного диапазона изменения параметров гидравлической системы в зависимости от условий работы // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 188. С. 68 – 71.
4. Бобрин М.А., Клемина Л.Г., Козлов А.Н. Определение эксплуатационного диапазона изменения выходных параметров функциональных подсистем гидравлических систем летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 200. С. 16 – 19.
5. Матвиенко А.М., Зверев И.И. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982. 296 с.
6. Бобрин М.А. Определение диапазона изменения выходных параметров подсистемы управления гидравлических систем летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 212. С. 133 – 136.

DETERMINATION OF OPERATING FIELDS OF TOLERANCES OF HYDRAULIC SYSTEMS PARAMETERS FOR AIRCRAFT BOARD COMPUTER COMPLEX

Bobrin M.A.

To determine the operating fields of the tolerances of hydraulic systems parameters for various conditions of work and phases of flight given mathematical relationships and the results obtained in Mathcad in analytical form for the board computer system.

Key words: hydraulic system of aircraft, control, ranges, change of operational fields of tolerances, board computing complex.

REFERENCES

1. **Bobrin M.A., Klemina L.G.** Vliyanie okruzhayutheyj sredih na diapazonih izmeneniya tem-peraturih rabochej zhidkosti gidravlicheskih sistem letatel'nykh apparatov [Influence of environmental temperature ranges of hydraulic fluid flying machines. Scientific Bulletin MSTUCA] Moscow. Nauchniy Vestnik MGTU GA. 2011. № 172. PP. 153 – 155. (in Russian)
2. **Bobrin M.A., Klemina L.G.** Opredelenie diapazona izmeneniya davleniya zhidkosti v gidrosistemakh letatel'nykh apparatov pri kontrole rabotosposobnosti v zavisimosti ot uslo-viy ee rabotih [Determination of the range of variation of fluid pressure in the hydraulic systems of the summer-enforcement apparatus under the control of performance depending on the conditions of its operation. Scientific Bulletin MSTUCA] Moscow. Nauchniy Vestnik MGTU GA. 2012. № 177. PP. 117 – 118. (in Russian)
3. **Bobrin M.A., Klemina L.G.** Opredelenie ehkspluatatsionnogo diapazona izmeneniya parametrov gidravlicheskoj sistemih v zavisimosti ot usloviy rabotih [Determining operating range of parameters cal-hydraulic system depending on the operating conditions. Scientific Bulletin MSTUCA] Moscow. Nauchniy Vestnik MGTU GA. 2013. № 188. PP. 68 – 71. (in Russian)
4. **Bobrin M.A., Klemina L.G., Kozlov A.N.** Opredelenie ehkspluatatsionnogo diapazona izmeneniya vikhodnykh parametrov funktsional'nykh podsystem gidravlicheskih sistem letatel'nykh apparatov [Determining operating range change the output-parameters of functional subsystems of aircraft hydraulic systems. Scientific Bulletin MSTUCA] Moscow. Nauchniy Vestnik MGTU GA. 2014. № 200. PP.16 – 19. (in Russian)
5. **Matvienko A.M., Zverev I.I.** Proektirovanie gidravlicheskih sistem letatel'nykh apparatov [Design of hydraulic systems of aircraft]. Moscow. Mashinostroenie, 1982. 296 p. (in Russian)
6. **Bobrin M.A.** Opredelenie diapazona izmeneniya vikhodnykh parametrov podsystemih upravleniya gidravlicheskih sistem letatel'nykh apparatov [Determination of the range of variation of output parameters control subsystem hydraulic systems of aircraft. Scientific Bulletin MSTUCA] Moscow. Nauchniy Vestnik MGTU GA. 2015. № 212. PP. 133 – 136. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Бобрин Михаил Арчилович, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), инженер 2-й категории кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 10 научных работ, область научных интересов – контроль и диагностика гидравлических систем летательных аппаратов; электронный адрес: mabobrin85@gmail.com.