

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РУЛЕВОГО ПРИВОДА ВОЗДУШНОГО СУДНА

Быков Н.А., Горбунов А.А.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет», г. Оренбург**

В настоящее время развитию систем автоматизированного проектирования (САПР) используемых в авиастроении способствует, с одной стороны применение быстродействующих ЭВМ, а с другой разработка специализированного программного обеспечения базирующегося на математических моделях и методике их применения в рамках наложенных ограничений. Применение специализированных САПР позволяет получать проектные решения на различных этапах проектирования летательных аппаратов (ЛА), однако, не все элементы ЛА в настоящее время проектируются автоматизированным способом. Одним из этих элементов является исполнительный механизм для магистральных воздушных судов (ВС) [1].

Исполнительный механизм магистрального ВС включает в себя гидравлический рулевой привод, проектирование которого целесообразно осуществлять автоматизированным способом. Гидравлический рулевой привод (ГРП) имеет ряд отличительных особенностей, учет которых необходимо вести на этапе эскизного проектирования, к которым относят:

- большой диапазон скоростных и нагрузочных условий эксплуатации;
- температурные и функциональные ограничения;
- разброс режимных характеристик связанный с одновременным протеканием сложных гидродинамических явлений в проточной части гидроусилителя.

Высокие требования к техническим и эксплуатационным характеристикам, предъявляемым ГРП, вызывают необходимость в создании САПР учитывающей факторов в условиях заданных ограничений. Поэтому появляется необходимость в разработке новых моделей и методов проектирования. Для повышения качества проектирования ГРП необходимо обеспечить рост допустимых размерностей моделей, применять методы декомпозиции, системного анализа и параметрического синтеза [2].

Математическая модель струйного ГРП может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений (1). Данная система состоит из уравнения динамики электромеханического преобразователя (ЭМП), уравнения электрической цепи усилителя ЭМП, уравнения измерителя рассогласования, уравнения баланса расходов в гидрораспределителе, уравнения движения привода, уравнения нагрузки и уравнения движения выходного звена гидропривода.

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{\text{ЭМП}} \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = K_{MI} \cdot I - K_{M\alpha} \cdot \alpha - b_{\text{ЭМП}} \cdot \frac{d\alpha}{dt} - C_{II} \alpha - M_{ГД} , \\ U = R_{\text{ЭМП}} I + L \frac{dI}{dt} + K_{II\text{Э}} \frac{d\alpha}{dt} , \\ U = K_U U_{\Sigma} , \\ U_{\Sigma} = U_{\text{ex}} - K_{oc} \cdot y , \\ \left(\frac{W_0 + A_y}{E} + C_n \right) \cdot \frac{dP_D}{dt} + A \frac{dy}{dt} = \mu_Q^m Q_T \times \begin{cases} \frac{1}{2} \left[(1+z) \sqrt{1 - \frac{P_D}{\xi_p^m}} - (1-z) \sqrt{1 + \frac{P_D}{\xi_p^m}} \right] , \\ z \leq z_n ; \\ \sqrt{1 - \frac{P_D}{\xi_p^m}} , z_{\max} > z > z_n , \end{cases} \\ M \frac{d^2 y}{dt^2} = C_c (y - y_n) - b \frac{dy}{dt} - R - F_{TP}^H \text{sign}(v_n) - C_c y_n , \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = A_{pD} - b_n \frac{dy_n}{dt} - F_{TP}^n \text{sign}(v_n) - C_c (y - y_n) , \\ F_{TP}^H = (F_{TP}^H)_0 \text{sign} \frac{dy_n}{dt} , \\ F_{TP}^n = (F_{TP}^n)_0 \text{sign} \frac{dy_n}{dt} . \end{array} \right. \quad (1)$$

где $J_{\text{ЭМП}}$ – момент инерции всех подвижных частей ЭМП, приведённый к оси вращения якоря; α – угол поворота якоря; K_{MI} , $K_{M\alpha}$ – коэффициенты, характеризующие, соответственно, моментную характеристику и жёсткость магнитной пружины ЭМП; I – ток в обмотке управления; $b_{\text{ЭМП}}$ – коэффициент вязкого трения, ЭМП; C_{II} – жесткость внешней центрирующей пружины ЭМП; $M_{ГД}$ – момент от гидродинамического воздействия обратных потоков струйного гидравлического усилителя (СГУ); U – напряжение на обмотках электромеханического преобразователя; $R_{\text{ЭМП}}$ – суммарное активное сопротивление контура усилителя и обмоток управления; L – индуктивность обмоток управления преобразователя; $K_{II\text{Э}}$ – коэффициент противо-ЭДС; K_U – коэффициент усиления усилителя по напряжению; m – приведённая масса подвижных частей гидроцилиндра и жидкости в его полостях; C_c – коэффициент жёсткости кинематической связи штока гидроцилиндра с нагрузкой; y_n – перемещение нагрузки; b_n – коэффициент вязкого трения поршня; F_{TP}^H и F_{TP}^n – сила сухого трения поршня гидродвигателя и нагрузки соответственно; l_{mp} – расстояние от оси якоря ЭМП до среза сопла струйной

трубки; U_{Σ} – сигнал рассогласования, выраженный через напряжение тока; $U_{вх}$ – входной сигнал управления; K_{oc} – коэффициент главной обратной связи, определяемый датчиком обратной связи; M – масса гидропривода; v_n и v_n – скорости перемещения нагрузки и поршня соответственно; P_d – гидродинамическая сила; z – перемещение струйной трубки; y – перемещение поршня гидроцилиндра.

Математическая модель имеет ряд ограничений:

- в качестве гидрораспределителя используется струйный гидрораспределитель с одинаковыми гидравлическими параметрами;
- нагрузка гидрораспределителя симметричная;
- коэффициенты восстановления давления и расхода, давления слива и питания постоянные величины;
- рабочая жидкость сжимаема, а нерастворённый воздух в системе отсутствует;
- объёмные потери не учитываем;
- волновые процессы не влияют на рабочие.

Ограничение, учитывающие конечное значение давления питания и слива насосной станции:

$$p_c \leq p < p_n . \quad (2)$$

Ограничения максимального перемещения струйной трубки и поршня гидроцилиндра:

$$|z| \leq |z_m| \quad \text{и} \quad |y_n| \leq |y_m| . \quad (3)$$

Наиболее адекватное численное моделирование характеристик ГРП позволит добиться сокращения временных и финансовых затрат на проектирование, частично заменить экспериментальную отработку на математическое моделирование [3].

Для оценки математической модели и снижения времени реализации процесса проектирования ГРП необходимо использовать средства концептуального проектирования автоматизированных систем. Эти средства образуют системы, которые называются CASE-системами. CASE имеет двойственное объяснение, Computer Aided System Engineering – направление на поддержку концептуального проектирования, Computer Aided Software Engineering – автоматизированное проектирование программного обеспечения. CASE средства должны использоваться в авиастроении для моделирования, а также для поддержки и улучшения методов структурного анализа и проектирования. CASE-системы должны иметь наивысшую потребность на ранних стадиях проектирования, а именно на первых этапах анализа и спецификаций требований для ГРП. Потребность CASE на ранних стадиях проектирования объясняется тем, что цена ошибки намного выше, чем цена

ошибки, выявленная на более поздних стадиях. CASE технологии обладают рядом преимуществ, перед традиционными методами проектирования:

- повышение качества создаваемого применения за счёт автоматизированного контроля и производства;
- повторное использование элементов разработки;
- снижение времени реализации процесса, что даёт на ранних стадиях проектирования увидеть модель системы и дать ей оценку;
- уменьшить количество работников, занимающихся подготовкой документации;
- коллективная разработка изделий в реальном времени [4].

Другим важным направлением развития в авиастроении можно выделить создание интегрированных автоматизированных систем, которые разрабатываются в CALS-технологиях или технологиях информационной поддержки жизненного цикла ГПП.

Новые информационные технологии дают совершенно новые возможности создания и организации процесса автоматизированного проектирования ГПП. При использовании CALS-технологий появляется возможность чёткого прослеживания жизненного цикла ГПП и самолёта в целом. Прослеживание жизненного цикла ГПП должно выполняться от начала его предварительного проектирования и до его полного изготовления, эксплуатации и утилизации. При помощи средств CALS необходимо выполнять комплексное моделирование жизненного цикла ГПП. Такое моделирование должно иметь следующее:

- модели и процессы разработки новых перспективных ГПП;
- технологическую организацию производства;
- серийное производство;
- модели и процессы эксплуатации;
- обслуживание изделий.

Моделирование в авиастроении с использованием средств CALS позволит повысить точность и достоверность прогнозов проектирования, а также дать прогноз спроса на новые ГПП и показать себестоимость их производства. Тем самым уменьшится риск реализации новых проектов в авиастроительной сфере.

Кроме прогнозирования ожидаемых результатов необходимо проводить анализ рисков, который должен иметь следующее:

- обзор чувствительности результатов исполнения проекта к изменениям проектных значений;
- изображение менее и более благоприятных показателей исполнения проекта;
- разработанную методику мер для управления рисками.

Программы, методы и стандарты, разрабатываемые в CALS, создают единое информационное пространство автоматизированного проектирования и контроля при разработке и реализации новых проектных решений [5].

Проектирование гидравлического рулевого привода воздушного судна должно быть автоматизированным. Это позволит решить проблемы получения требуемых динамических и статических характеристик ГРП, обеспечить рациональный выбор, стабильность и оптимальность рассчитываемых параметров во всём диапазоне сигналов управления и развиваемых усилий и скоростей, а также требуемое качество переходных процессов.

Список литературы

1. Егер, С.М. Основы автоматизированного проектирования самолётов: Учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов./ С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. - М.: Машиностроение, 1986. - 232 с.,ил.
2. Гамынин, Н.С. Гидравлические приводы летательных аппаратов / Н. С. Гамынин, В.И.Карев, А. М. Потапов, А. М. Селиванов. М. :Машиностроение, 1992. 368 с.
3. Месропян, А. В. Математическое моделирование переходных процессов в струйных гидравлических рулевых машинах / А.В. Месропян// Вестник УГАТУ.– Уфа, 2006. Т.7 №2 (15). –С.166–171.
4. Сайт CASE-технологии – Режим доступа: <http://bourabai.ru/is/case/>
5. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»; Е.В. Судов, А.И. Левин. – М.:2002.