

УДК 621.452.02.01:681.586.34

doi: 10.32620/aktf.2019.7.24

Е. А. КОНОНЫХИН¹, С. В. ЕПИФАНОВ²¹ АО ФЭД, Харьков, Украина² Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Приведены основные тенденции использования устройств исполнительных механизмов авиационных двигателей, преобразующих электрические команды в механические и гидравлические. Описаны примеры использования систем управления современными двигателями, в которых для перемещения исполнительных механизмов используется гидравлические цилиндры. Гидравлические команды для перемещения гидравлических цилиндров формируют электрогидравлические преобразователи. Значительное повышение сложности механизации современных двигателей потребовало повышение надежности электрогидравлических преобразователей, уровня статических и динамических характеристик. Обсуждается необходимость внедрения нового поколения электрогидравлических преобразователей в системы управления отечественными авиационными двигателями. Проведен анализ состава и способа определения показателей, с использованием которых целесообразно контролировать сбалансированное соответствие конструкции техническим требованиям на этапе проектирования. Описан модельно-ориентированный подход к проектированию электрогидравлических преобразователей. Предложена структура универсальной модели рабочего процесса электрогидравлического преобразователя. Особенностью данной модели является преобладающее использование в качестве исходных данных геометрических параметров элементов и свойств материалов. Основными составляющими элементами модели рабочего процесса являются модели: электромеханического преобразователя с упругой частью, предварительного каскада усиления и дросселирующих элементов, объемов сжимаемой жидкости и присоединённых масс. Выделены основные параметры исполнительного механизма, внешние параметры (определенные в технических требованиях на все изделия) и внутренние параметры (характеристики отдельных узлов). Приведен анализ взаимосвязи внешних и внутренних параметров, а также параметров исполнительного механизма. Предложен метод проектирования электрогидравлических преобразователей, ключевой особенностью которого является использование модели рабочего процесса практически на всех этапах проектирования. Для формирования сбалансированного сочетания параметров электрогидравлического преобразователя в структуре метода предложено использовать целевую функцию, включающую внутренние параметры электрогидравлического преобразователя.

Ключевые слова: авиационный двигатель; электрогидравлический преобразователь; модель рабочего процесса; метод проектирования.

Введение

Одним из важнейших направлений совершенствования характеристик авиационных двигателей является применение развитой механизации проточной части, управляемой с помощью цифровых систем автоматического управления без гидромеханического резервирования. На современных пассажирских самолётах в составе двигателей GE9x, GE9X, LEAP и др. используются клапаны перепуска воздуха за подпорными ступенями и компрессором высокого давления, клапаны распределения воздуха для механизмов управления зазорами турбины высокого и низкого давления, регулятор направляющих аппаратов и клапан управления охлаждением подкапотного пространства. Для перемещения вышеперечисленных механизмов используются гид-

равлические цилиндры, в состав которых зачастую интегрированы датчики положения. Гидравлические команды для перемещения гидравлических цилиндров формируют электрогидравлические преобразователи (ЭГП). В связи с отсутствием резервирования ЭГП, значительного количества исполнительных механизмов и высоких требований к надежности (наработка на отказ системы управления двигателем – не менее 10^6 часов), наработка на отказ ЭГП должна составлять не менее 10^7 часов.

Помимо высокого уровня надёжности, современные ЭГП должны иметь высокий уровень динамических и статических характеристик. Требуемый уровень характеристик и надежности невозможно обеспечить с использованием ЭГП, применяемых в настоящее время в отечественных системах управления авиационными двигателями.

Дальнейший прогресс в области отечественного двигателестроения и стремление его поддержания на мировом уровне стимулировали разработку и внедрение нового поколения ЭГП. При проектировании этой новой техники необходимо непрерывно контролировать показатели конструктивного и параметрического совершенства, чтобы обеспечить сбалансированное соответствие результата техническим требованиям. Однако традиционные подходы к проектированию не позволяют реализовать такой контроль вследствие отсутствия соответствующих показателей.

Постановка задачи

Разработка ЭГП является сложной многопараметрической и многодисциплинарной задачей.

Известны подходы к оптимизации динамических параметров ЭГП, основанные на использовании линеаризованных характеристик большинства элементов [1-3]. К недостаткам данных подходов можно отнести:

- отсутствие методов определения границ изменения коэффициентов линейной модели, накладываемых ограничениями конструкции узлов и областью линеаризации;

- отсутствие возможности анализа нелинейных характеристик, таких как зона нечувствительности и гистерезис, в значительной степени влияющих на качество системы управления;

- направленность на анализ динамических параметров, характеризующих быстродействие и устойчивость системы управления, слабое внимание к статическим характеристикам, которые могут оказать существенное влияние на статические погрешности и характер динамических процессов;

- отсутствие возможности непосредственно анализировать влияния геометрических параметров элементов на характеристики ЭГП.

Для обеспечения сбалансированного соответствия параметров ЭГП техническим требованиям современного уровня необходимо выделить его параметры, значения которых необходимы для анализа конструктивного качества объекта. Для расчёта этих параметров необходимо разработать модели, использующие геометрические характеристики элементов конструкции в качестве основных исходных данных.

1. Основные параметры конструкции

Внешние параметры (отражают внешние требования), по которым целесообразно проводить анализ конструкции как ЭГП, так и исполнительных механизмов в целом, предлагается разделить на три группы:

- параметры, характеризующие уровень надёжности;

- параметры, характеризующие динамические и статические характеристики;

- параметры, характеризующие массогабаритные характеристики и стоимость агрегата.

При анализе надёжности все отказы можно разделить на две группы: зависящие и независящие от параметрического облика ЭГП. Вероятность возникновения отказов, независящих от параметрического облика ЭГП, может быть рассчитана стандартными методами при анализе конструктивной схемы агрегата. К данным видам отказов можно отнести:

- внешние и внутренние утечки через уплотнительные элементы в результате охрупчивания, неправильной установки, износа, повреждения поверхности, искажения формы и динамической неустойчивости;

- уход параметров в результате разрегулирования, попадания воздуха, воздействия повышенной или пониженной температуры;

- разрыв цепи обмоток управления;

- прочностные отказы, вызванные кавитационной эрозией, внешней вибрацией (ударом) или другими видами внешних воздействий.

Большая часть из перечисленных отказов может опосредованным образом зависеть от параметрического облика изделия; однако, согласно рекомендациям [4], для упрощения анализа этим влиянием пренебрегают.

Вероятность возникновения отказов, которые зависят от параметров ЭГП, невозможно рассчитать без анализа условий работы конкретных элементов с использованием математических моделей рабочего процесса. К данным видам отказов можно отнести:

- износ пар трения;

- заклинивание золотникового распределителя в результате попадания загрязнений из рабочей жидкости;

- засорение предварительного каскада усиления и фильтра предварительного каскада;

- разрушение упругих элементов.

К показателям, характеризующим динамические и статические характеристики, можно отнести:

- амплитудочастотные и фазочастотные (АФЧХ) характеристики;

- гистерезис, порог чувствительности;

- уход нуля при наличии асимметрий в конструкции, в результате изменения давления на входе и сливе;

- нелинейность расходной (скоростной) характеристик;

- непроектируемые утечки;

– крутизну характеристики перепада давления (развиваемого усилия).

Улучшения одних из перечисленных выше *внешних* параметров, характеризующих динамические и статические характеристики и показатели надежности, приводит к ухудшению других. Так, например, снижение вероятности заклинивания золотникового распределителя и уменьшение гистерезиса можно обеспечить увеличением диаметра золотника сервоклапана, однако это приводит к ухудшению динамических характеристик и увеличивает вероятность ухода нуля при наличии асимметрий в конструкции в результате изменения давления на входе и сливе. В ЭГПс прямым приводом золотникового распределителя диаметр золотника (который может быть помимо цилиндрического плоским) практически не влияет на показатели надежности и динамические характеристики. *Внешние* параметры, такие как уход нуля, зависят, в свою очередь, помимо конструктивных особенностей, от уровня используемых технологий. Так, например, сервоклапан как геометрическое тело является симметричным, и уход нуля возможен только при наличии асимметрии, являющейся проявлением погрешностей изготовления. Значительное количество *внешних* параметров и влияние технологического уровня изготовления деталей затрудняет задачу обеспечения сбалансированного соответствия требованиям по данным параметрам. В известных литературных источниках показатели, по которым можно проводить сравнение различных конфигураций ЭГП, не структурированы. Поэтому представляется целесообразным определение набора из нескольких комплексных внутренних параметров (показателей), оказывающих наибольшее влияние на внешние параметры и позволяющих управлять конкурентоспособностью на этапе проектирования за счет повышения конструктивного и параметрического совершенства.

2. Модельно-ориентированный подход к проектированию ЭГП

При разработке современной наукоемкой технической продукции, к которой относятся ЭГП, используется модельно-ориентированный подход, при котором на разных этапах V-цикла проектирования используются математические модели различного типа. На ранних этапах используются модели рабочего процесса всего устройства, зачастую построенная с использованием программного обеспечения для моделирования и анализа процессов в многодисциплинарных системах (например, MatLab Simulink или Amesim). Поведение гидравлических, пневматических, термодинамических, электриче-

ских и механических систем описывается с помощью нелинейных нестационарных аналитических уравнений. В отличие от 3D CAE подхода, такой подход дает возможность моделировать поведение систем без наличия подробной CAD геометрии и может быть использован на ранних этапах V-цикла (V-Model) проектирования изделия [5].

После разработки параметрического и общего конструктивного облика составных частей, обеспечивающего достижение заданного уровня показателей ЭГП и контура управления в целом, производится детальное трехмерное проектирование отдельных элементов конструкции. Доводка конструктивного облика трехмерных моделей компонент производится с использованием средств численного 3D и 2D анализа магнитных полей, гидродинамического анализа и прочностного анализа. При этом используются стандартные подходы к численному анализу конструкции методом конечных элементов (объемов, разностей и т.д.). На данном этапе развития средств трехмерного численного анализа решение многодисциплинарной задачи с сопряженным моделированием электромагнитных полей, механики деформируемого тела, гидрогазодинамики (включая пленочные течения в малых зазорах) с целью оптимизации конструкции ЭГП нецелесообразно. По результатам анализа, по необходимости, вносятся изменения в конструкцию и уточняются модели рабочего процесса, разработанные на более раннем этапе.

После изготовления опытных образцов и проведения испытаний производится сравнение расчетных и экспериментальных значений, и с использованием моделей рабочего процесса производится оценка соответствия изделия критериям определенном на ранних этапах проектирования. В случае несоответствия параметров с использованием моделей рабочего процесса выдаются рекомендации по внесению изменений в конструкцию для достижения заданного уровня параметров.

На более поздних этапах разработки контура управления исполнительных механизмов требуется согласование параметров объекта управления и системы управления. При этом актуальной является задача получения математической модели, имеющей наиболее простую структуру и описывающей объект с достаточной степенью детализации. Параметры данной модели определяются путем идентификации исполнительного механизма [6].

Использование известных математических моделей с целью сравнительного анализ разных конструктивных исполнений ЭГП по рассмотренным выше показателям является нецелесообразным. Поэтому актуальной является задача разработки более простых, но имеющих необходимую точность мате-

математических моделей, использующих в качестве исходных данных основные геометрические параметры конструкции, настраиваемых с помощью минимального количества параметров, для получения которых требуется проведение испытаний или конечно-элементного анализа.

Математическая модель рабочего процесса ЭГП

В данной работе использована математическая модель ЭГП, представленная авторами ранее в работе [7]. Эта модель была дополнена новыми элементами с целью повышения точности. В модель магнитной системы внесены дополнительные элементы, моделирующие магнитный поток от якоря к верхнему магнитопроводу. Были также уточнены модели утечек и силы реакции струи на золотниковый распределитель.

В состав модели рабочего процесса входят математические модели его отдельных элементов:

- электромеханического преобразователя с упругой частью;
- предварительного каскада усиления и дросселирующих элементов, включая золотниковый распределитель выходного звена;
- объёмов сжимаемой жидкости и присоединённых масс.

Для моделирования электромеханического преобразователя была составлена эквивалентная магнитная цепь (рис. 1, б), в которой воздушные зазоры заменены активными сопротивлениями, электрические катушки заменены источниками магнитодвижущей силы (МДС), постоянные магниты в общем случае изображены как эквивалентные источники МДС и т.д. [3]. Учтены влияние индуктивности на скорость роста МДС при подаче управляющего сигнала, а также демпфирующие свойства магнитной системы.

Для моделирования механической части системы составлены уравнения баланса сил и моментов, учитываются упругие свойства, массы и моменты инерции всех элементов (рис. 1, а).

К дросселирующим элементам гидроусилителей относятся: нерегулируемые дроссели, сопло-заслонка, окна золотникового распределителя и напорного сопла, используемого в струйных усилителях.

Характеристики большинства элементов можно представить с использованием коэффициента расхода [8]:

где Q – расход жидкости через дросселирующий элемент;

S – площадь дросселирующего элемента;

$P_{вх}$, $P_{вых}$ – давление на входе и выходе дросселирующего элемента;

ρ – плотность жидкости.

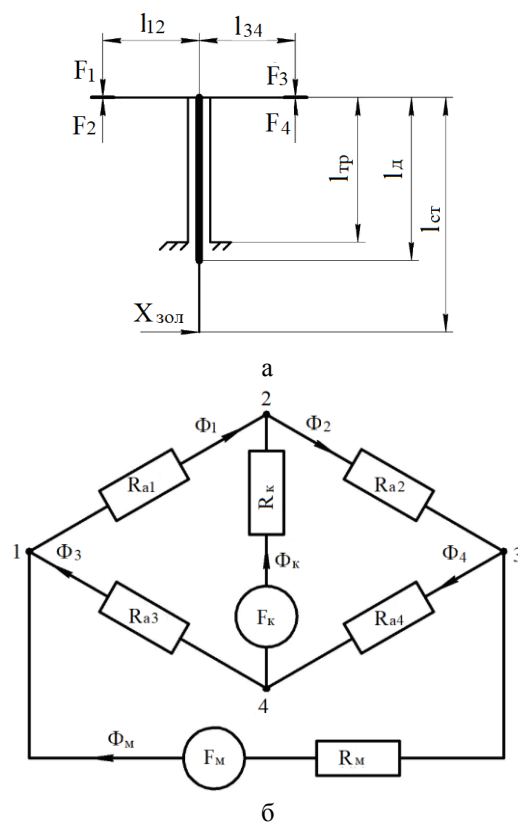


Рис. 1. Схемы упругой части (а) и магнитной цепи (б) электромеханического преобразователя

Исключение составляет только золотниковый распределитель, у которого в зоне малых перекрытий окон рабочими кромками золотника преобладают ламинарные утечки через зазоры.

Коэффициент расхода зависит от геометрических параметров дросселирующего элемента и режима течения, характеризующегося числом Рейнольдса Re , а также наличием и интенсивностью кавитации.

В связи со сложностью представления характеристик струйных каскадов в зависимости от геометрических параметров [9], была использована алгоритмическая (табличная, графическая) форма представления характеристики струйного каскада, сформированная в результате расчетов с использованием CFX пакетов.

3. Метод формирования параметрического облика ЭГП

На этапе формирования конфигурации системы управления авиационного двигателя (аванпроекта) осуществляется выбор схемных решений и синтез требований к составным частям на основании информации о достигнутом и перспективном уровне отечественных и зарубежных изделий. С использо-

ванием упрощенных математических моделей исполнительного механизма и регулятора формируются требования к выходным параметрам исполнительного механизма. Поскольку в состав исполнительных механизмов входят гидравлический цилиндр и ЭГП, требования к последнему формируются с учетом влияния гидравлического цилиндра. На основе требований к внешним параметрам ЭГП формируются требования к основным внутренним параметрам (параметрам узлов или всего изделия, не определенным внешними техническими требованиями). Связи между внутренними и внешними параметрами ЭГП и исполнительного механизма представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, между параметрами исполнительного механизма, внешними и внутренними параметрами электрогидравлического усилителя существуют многомерные взаимосвязи. Оптимизация конструкции по внутренним параметрам является предпочтительной в связи с лучшей сходимостью, которая обеспечивается благодаря прямой зависимости внутренних параметров от конструктивного исполнения отдельных элементов. Предлагается использовать следующую целевую функцию, основанную на внутренних параметрах электрогидравлического усилителя:

$$S = \left(\frac{1}{\sigma_{\max}} \right)^2 + \left(\frac{F_{CF}}{\max(0, F_{CF} - F_{CF \text{ set}})} \right)^2 + \left(\frac{V_{sp}}{\max(0, V_{sp} - V_{sp \text{ set}})} \right)^2 + \left(\frac{1}{T_{sp}} \right)^2 + \left(\frac{1}{\max(0, \frac{1}{T_{sp}} - \frac{1}{T_{sp \text{ set}}})} \right)^2 + \left(\frac{k_{pst}}{\max(0, k_{pst} - k_{pst \text{ set}})} \right)^2,$$

где σ_{\max} – максимальные напряжения в упругих элементах;

F_{CF} – максимальное усилие среза стружки золотника;

V_{sp} – максимальная скорость перемещения золотника при отсутствии сил трения;

T_{sp} – постоянная времени перемещения золотника при реакции на подачу сигнала управления;

k_{pst} – крутизна изменения усилия на золотниковом распределителе относительно изменения сигнала управления при неподвижном золотнике;

индекс «set» – предельные значения внутренних параметров.

Для обеспечения заданного уровня надежности ограничения на геометрические и внутренние параметры:

- для обеспечения необходимой наработки на отказ по заклиниванию золотникового распределителя при заданном уровне загрязнения рабочей жидкости рассчитывается необходимое максимальное усилие перемещения распределителя;

- для обеспечения необходимой наработки на отказ по засорению предварительного каскада накладываются геометрические ограничения на минимальное проходное сечение в предварительном каскаде усиления;

- для обеспечения необходимой наработки на отказ по разрушению упругих элементов накладываются ограничения на максимальные напряжения в упругих элементах конструкции.

Предельные значения остальных внутренних параметров ЭГП (рис. 2) определяются с использованием математической модели рабочего процесса. Требования к максимальной скорости $V_{sp \text{ set}}$ и постоянной времени $T_{sp \text{ set}}$ перемещения золотникового распределителя определяются исходя из требований к амплитудно-фазовым частотным характеристикам (АФЧХ). Крутизна изменения усилия на золотнике определяется требованиями к зоне нечувствительности и линейности.

Оптимизацию конструкции по вышеприведенным критериям целесообразно проводить в несколько этапов итеративным способом (рис. 3). После определения основных требований к внутренним и внешним параметрам ЭГП осуществляется формирование целевой функции, обеспечивающей сбалансированное сочетание внутренних параметров ЭГП (см. рис. 3).

С использованием вышеприведенной целевой функции проводится синтез оптимальной конфигурации ЭГП с использованием моделей рабочего процесса. Процесс синтеза является итеративным. Перед началом его выполнения определяются предварительные значения и допускаемые диапазоны изменения геометрических параметров. Предварительные значения геометрических параметров определяются по параметрам изделий-аналогов с использованием, в случае необходимости, теории подобия.

На каждом шаге итерации, с использованием модели рабочего процесса, на основании геометрических параметров определяются значения целевой функции. В случае невозможности достижения заданного уровня параметров ЭГП ($S \rightarrow \infty$) производится возврат к этапу выбора структурной схемы сервопривода и формирования требований к испол-

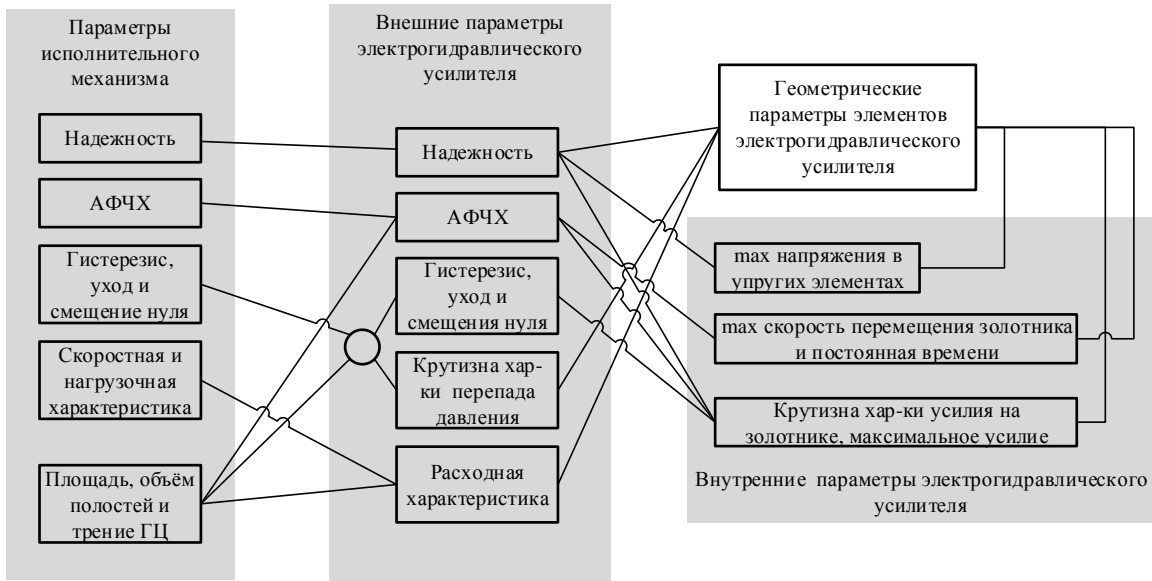


Рис. 2. Взаимосвязь внутренних и внешних параметров ЭГП и исполнительного механизма

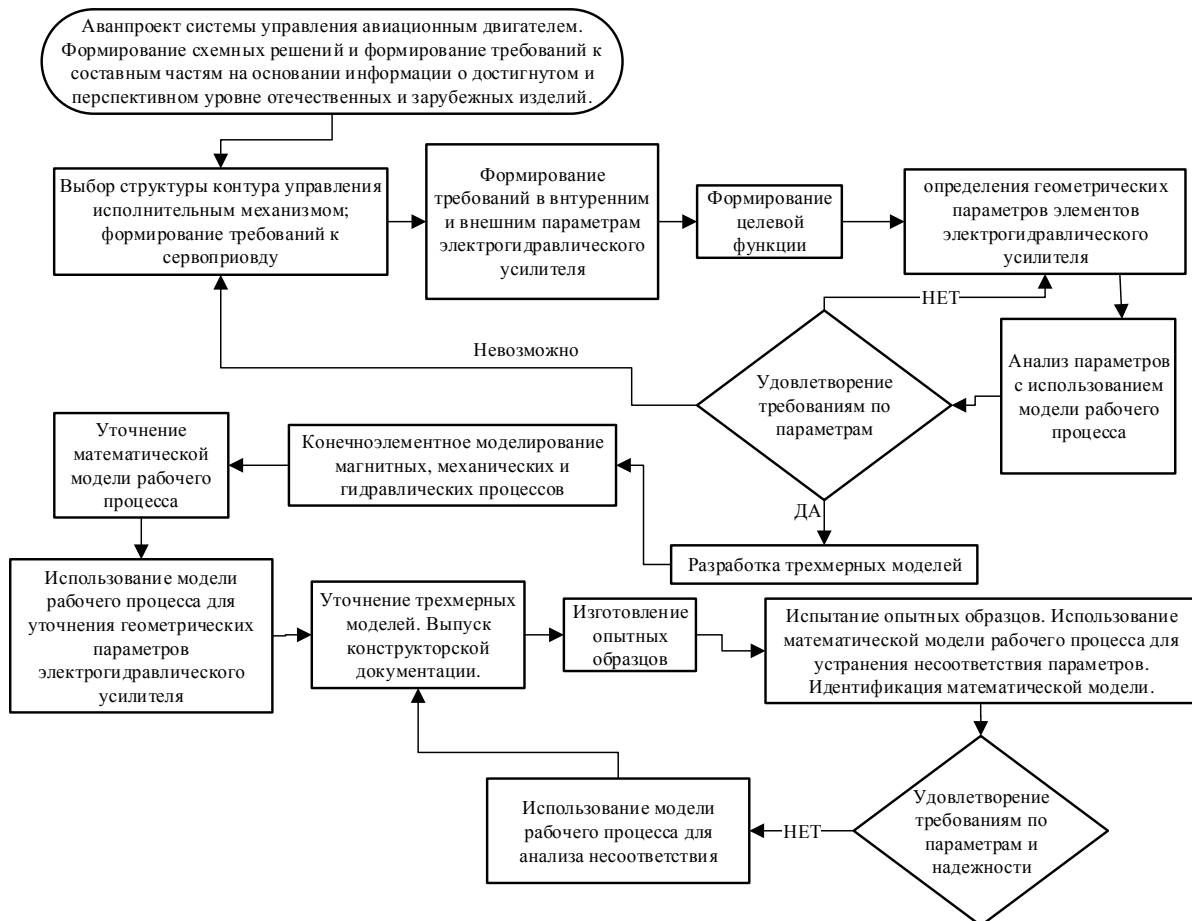


Рис. 3. Схема метода формирования сбалансированного сочетания параметров исполнительного механизма авиационного двигателя

нительному механизму с внесением соответствующих изменений в структурную схему или требования.

После разработки трехмерных моделей на основе предварительно определенных геометрических

параметров производится конечно-элементное моделирование магнитных, механических и гидравлических процессов с использованием соответствующих вычислительных пакетов. По результатам конечно-элементного анализа проводится идентифи-

кация математической модели и уточнение геометрических параметров ЭГП. После формирования конструктивного облика ЭГП выпускается конструкторская документация и изготавливаются опытные образцы. На этапе испытания ЭГП (его узлов) проводится верификация и идентификация математической модели рабочего процесса и упрощенной математической модели (используемой для формирования требований к исполнительному механизму и усилителю на ранних этапах). Анализ причин возникновения выявленных несоответствий также осуществляется с использованием математических моделей.

Заключение

Предложен метод формирования сбалансированного сочетания параметров исполнительного механизма авиационного двигателя. Данный метод является модельно-ориентированным и итеративным. На различных этапах, в зависимости от решаемых задач могут использоваться модели рабочего процесса, конечно-элементные (или конечно-разностные) и быстросчетные модели. Ключевой особенностью метода является использование модели рабочего процесса практически на всех этапах проектирования и использование предложенной целевой функции для формирования сбалансированного сочетания параметров. В предложенную целевую функцию входят комплексные показатели, вносящие наибольший вклад в характеристики электрогидравлического усилителя.

Литература

1. Инженерные исследования гидроприводов летательных аппаратов [Текст] / Д. Н. Попов, С. А. Ермаков, И. Н. Лобода, В. М. Фомичев, И. С. Шумилов. – М. : Машиностроение, 1978. – 141 с.
2. Замараев, Д. С. Оптимизация электрогидравлического усилителя для следящего привода с дроссельным регулированием [Электронный ресурс] / Д. С. Замараев, Д. Н. Попов // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2013. – № 12. – С. 105-111. – Режим доступа: <http://technomag/bmstu.ru/doc/560281.html> 22.04.2019.
3. Гомельский, Ю. С. Электрические элементы электрогидравлических устройств автоматики [Текст] / Ю. С. Гомельский – М. : Энергия, 1968. – 144 с.
4. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. Logistics Technology Support. CARDEROCKDIV, NSWC-11. May 2011.
5. SAE Aerospace Recommended Practice (ARP) ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems.
6. Кононыхин, Е. А. Разработка методик определения параметров авиационного сервопривода

[Текст] / Е. А. Кононыхин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2019. – № 1/9(97). – С. 11-18. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154837

7. Кононыхин, Е. А. Доводка характеристик электрогидравлических преобразователей с использованием поузловых динамических моделей [Текст] / Е. А. Кононыхин, С. В. Епифанов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 6(133). – С. 48-54.

8. Крассов, И. М. Гидравлические усилители [Текст] / И. М. Крассов. – М. : Госэнергоиздат, 1959. – 90 с.

9. Расчет и проектирование устройств гидравлической струйной техники [Текст] / В. П. Бочаров, В. Б. Струтинский, В. Н. Бадах, П. П. Таможни. – К. : Техника, 1987. – 127 с.

References

1. Popov, D. N., Ermakov, S. A., Loboda, I. N., Fomichev, V. M., Shumilov, I. S. *Inzhenernye issledovaniya gidroprivodov letatel'nyh apparatov* [Engineering research of aircraft hydraulic drivers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 141 p.
2. Zamaraev, D. S., Popov, D. N. *Optimizacija jelektrogidravlicheskogo usilitelja dlja sledjashhego privoda s drossel'nyim regulirovaniem* [Optimization of electric-hydraulic amplifier for follower actuator with throttle control]. Nauka i obrazovanie Publ. MGTU im. N. Je. Baumana, 2013, no. 12, pp. 105-111. Available at: <http://technomag/bmstu.ru/doc/560281.html> (accessed 22.04.2019).
3. Gomel'skij, Ju. S. *Jelektricheskie jelementy jelektrogidravlicheskih ustrojstv avtomatiki* [Electric elements of electric-hydraulic automatic systems]. Moscow, Jenergjia Publ., 1968. 144 p.
4. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. Logistics Technology Support. CARDEROCKDIV, NSWC-11. May 2011.
5. SAE Aerospace Recommended Practice (ARP) ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems.
6. Kononyhin, E. A. *Razrabotka metodik opredelenija parametrov aviacionnogo servoprivoda* [Method development for aircraft servo drive parameters determination]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2019, no. 1/9 (97), pp. 11-18. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154837
7. Kononyhin, E. A., Yepifanov, S. V. *Dovodka harakteristik jelektrogidravlicheskih preobrazovatelej s ispol'zovaniem pouzlovyh dinamicheskikh modelej* [Backfitting of servo drive's characteristics using unit level dynamic models]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologija - Aerospace technic and technology*, 2016, no. 6 (133), pp. 48-54.
8. Krassov, I. M. *Gidravlicheskie usiliteli* [Hydraulic motors]. Moscow, Gosjenergoizdat, 1959. 90 p.
9. Bocharov, V. P., Strutinskij, V. B., Badah, V. N., Tamozhni, P. P. *Raschet i proektirovanie ustrojstv gidravlicheskoj strujnoj tehniki* [Designing of devices of hydraulic jetting technology]. Kiev, Tehnika Publ., 1987. 127 p.

Поступила в редакцию 12.07.2019, рассмотрена на редколлегии 7.08.2019

МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Є. О. Кононихін, С. В. Єпіфанов

Наведено основні тенденції використання пристроїв виконавчих механізмів авіаційних двигунів, що перетворюють електричні команди в механічні та гідравлічні. Описано приклади використання систем керування сучасними двигунами, в яких для переміщення виконавчих механізмів використовуються гідравлічні циліндри. Гідравлічні команди для переміщення гідравлічних циліндрів формують електрогідравлічні перетворювачі. Значне підвищення складності механізації сучасних двигунів вимагає підвищення надійності електрогідравлічних перетворювачів, рівня статичних і динамічних характеристик. Обговорюється необхідність впровадження нового покоління електрогідравлічних перетворювачів в системи управління вітчизняними авіаційними двигунами. Проведено аналіз переліку та способу визначення показників, з використанням яких доцільно контролювати збалансовану відповідність конструкції технічним вимогам на етапі проектування. Описано модельно-орієнтований підхід проектування електрогідравлічних перетворювачів. Запропоновано структуру універсальної моделі робочого процесу електрогідравлічного перетворювача. Особливістю цієї моделі є переважне використання в якості вихідних даних геометричних параметрів елементів і властивостей матеріалів. Основними складовими елементами моделі робочого процесу є моделі: електромеханічного перетворювача з пружною частиною, попереднього каскаду підсилення і дроселюючих елементів, об'єми стисливої рідини та приєднаних мас. Виділено основні параметри виконавчого механізму, зовнішні параметри (визначені в технічних вимогах на весь виріб) і внутрішні параметри (характеристики складових вузлів). Наведено аналіз взаємозв'язку зовнішніх і внутрішніх параметрів, а також параметрів виконавчого механізму. Наведено метод проектування електрогідравлічних перетворювачів. Ключовою особливістю методу є використання моделі робочого процесу практично на всіх етапах проектування. Для формування збалансованого поєднання параметрів електрогідравлічного перетворювача в структурі методу запропоновано використовувати цільову функцію, що включає внутрішні параметри електрогідравлічного перетворювача.

Ключові слова: авіаційний двигун; електрогідравлічний перетворювач; модель робочого процесу; метод проектування.

DESIGN METHOD FOR ELECTRO-HYDRAULIC CONVERTERS OF AIRCRAFT ENGINES

E. A. Kononykhin, S. V. Yepifanov

The main trends in the use of aircraft engines actuators, that convert electrical commands into mechanical and hydraulic, are presented. Examples of the use of modern engine control systems are described, in which hydraulic cylinders are used to move the actuators. The hydraulic commands for moving hydraulic cylinders are formed by electro-hydraulic converters. A significant increase in the modern engines mechanization complexity required an increase in the reliability of electro-hydraulic converters and the level of static and dynamic characteristics. The necessity of introducing a new generation of electro-hydraulic converters into the control systems of domestic aircraft engines is discussed. The analysis of the list and method of determining indicators using which it is advisable to control the balanced conformity of the design to the technical requirements at the design stage is carried out. A model-oriented approach to the design of electro-hydraulic converters is described. The structure of a universal model of the working process of an electro-hydraulic converter is proposed. A feature of the model is the predominant use of the geometric parameters of the elements and properties of materials as initial data. The main constituent elements of the working process model are the models: an electromechanical converter with an elastic part, a preliminary stage, orifices, volumes of compressible fluid and attached masses. The main parameters of the actuator, external parameters (defined in the technical requirements for the whole product) and internal parameters (characteristics of the hotel units) of electro-hydraulic converters are highlighted. The analysis of the dependence of external and internal parameters and the parameters of the actuator. The design method of electro-hydraulic converters is given. A key feature of the method is the use of a workflow model at almost all stages of design. To form a balanced combination of parameters of the electro-hydraulic converter in the structure of the method, it is proposed to use the objective function, which includes the internal parameters of the electro-hydraulic converter.

Keywords: aircraft engine; electro-hydraulic converter; workflow model; method of designing.

Кононихін Євгеній Александрович – начальник расчетно-перспективного отдела АО «ФЭД», Харьков, Украина.

Єпіфанов Сергей Валериевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Kononykhin Eugene Alexandrovich - head of advanced engineering department of PrJSC "FED", Kharkov, Ukraine, e-mail: kjek@ya.ua. ORCID Author ID: 0000-0003-2140-519X.

Yepifanov Sergiy Valerievych - Dr. Sc., Prof., Head of Aircraft Engine Design Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI", Kharkov, Ukraine, e-mail: aedlab@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0003-0533-9524, SCOPUS Author ID: 6506749318.