

УДК 629.7.062

Ю.И. Белоус, А.И. Рыженко

Анализ эффективности методов снижения массы и повышения быстродействия многоконтурной авиационной гидравлической системы

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Разработано математическое обеспечение для программной реализации метода расчета многоконтурной авиационной гидравлической системы. Детально рассмотрен расчет двухконтурной гидросистемы с потребителями компенсированного расхода. Выявлены параметры, влияющие на быстродействие системы. Составлен перечень мер для уменьшения времени срабатывания исполнительных механизмов, эффективность которых может быть определена с помощью разработанного программного комплекса, составленного на основе предложенного метода.

Ключевые слова: самолет, гидравлическая система, быстродействие, многоконтурные системы, исполнительный механизм, потребитель.

Гидравлические системы (ГС) широко применяют на современных самолетах практически всех назначений, составляя существенную часть их взлетной массы. При проектировании ГС необходимо выполнить сложный комплекс требований - обеспечение необходимого быстродействия всех исполнительных механизмов на всех режимах и при всех возможных природно-климатических условиях. Поиск наиболее эффективных методов повышения быстродействия гидравлического комплекса — сложная и весьма актуальная задача.

Для определения времени срабатывания потребителей ГС следует выполнить расчеты для различных вариантов подключения потребителей при различных температурных условиях. При этом многократные расчеты первых этапов проектирования могут проводиться с относительно невысокой точностью, но при минимальных затратах времени на подготовку данных и обработку результатов.

подавляющее большинство функциональных подсистем гидравлических комплексов летательных аппаратов — многоконтурные. Это подсистемы уборки и выпуска шасси и закрылков; тормозных щитков; управления рулевыми поверхностями и интерцепторами и др.

Во многих из перечисленных подсистем параллельные участки вследствие симметрии самого летательного аппарата идентичны по параметрам (длинам и диаметрам трубопроводов, размерам исполнительных механизмов) и по характеристикам нагрузок, что позволяет в первом приближении рассчитывать каждый участок в отдельности, уменьшив тем самым количество контуров в системе

Для анализа работы многоконтурной гидравлической системы в данной работе осуществлена компьютерная реализация графоаналитического метода, описанного в работе [1]. Метод основан на уравнении баланса давлений

$$P_{u.n.} = \sum_{ij=1}^{n+k} \Delta p_{ij}, \quad (1)$$

где $P_{u.n.}$ - характеристика источника питания.

Сущность метода расчета заключается в определении точки совместной работы источника питания и гидравлической сети. В общем случае эти характеристики переменны, и решение необходимо вести поэтапно, принимая в i -м интервале времени характеристики источника питания и потребителей неизменными.

Целью работы является алгоритмизация и практическая апробация метода оперативного расчета многоконтурной гидросистемы с потребителями компенсированного расхода для определения ее рациональных параметров, обеспечивающих минимальную массу системы и требуемое быстроедействие всех ее потребителей.

Особенности реализации метода рационально рассмотреть на сравнительно простом примере математического моделирования двухконтурной системы с потребителями компенсированного расхода (т.е. с потребителями, имеющими на входе и выходе равные расходы), расчетная схема которой показана на рис. 1.

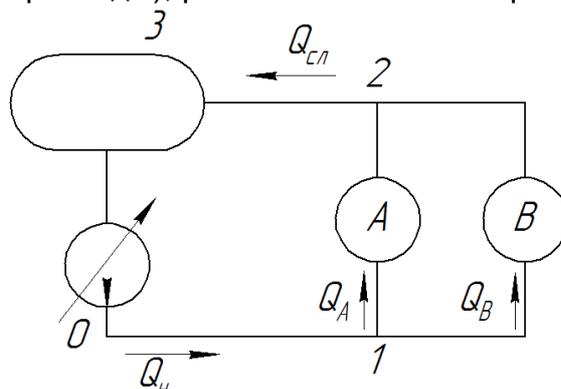


Рис. 1. Расчетная схема двухконтурной системы:

A, B – потребители (исполнительные механизмы); $Q_{сл}$ – расход жидкости от потребителей в сливную магистраль; Q_n – расход жидкости в полости нагнетания; Q_A, Q_B – расход жидкости на потребителях; 0-1, 1-2, 2-3 – участки трубопроводов

Естественно, при параллельном соединении трубопроводов расход в месте их разветвления равен алгебраической сумме расходов:

$$Q_n = Q_{сл} = Q_A + Q_B. \quad (2)$$

Суммарные сопротивления ветвей состоят из гидравлических сопротивлений на каждом участке трубопроводов и сопротивлений на потребителях. Потребители обычно имеют характеристики внешней нагрузки, представленные в функции их хода S.

Ниже сложение по давлению характеристик участков системы обозначено знаком «+», а их сложение по расходам — знаком « \oplus »

Пренебрегая давлением в гидробаке и потерями во всасывающем трубопроводе (см. рис. 1), можно записать уравнение

$$p_{\Sigma}(Q) = \Delta p_{0-1} + \Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3}. \quad (3)$$

В рассматриваемом примере характеристики участка Δp_{1-2} и ветвей с потребителями A и B имеет, соответственно, следующий вид:

$$\Delta p_{1-2}(Q) = \Delta p_{1-B-2} \oplus \Delta p_{1-A-2}, \quad (4)$$

$$\Delta p_{1-B-2} = \Delta p_{1-B} + p_B + \Delta p_{B-2}, \quad (5)$$

$$\Delta p_{1-A-2} = \Delta p_{1-A} + p_A + \Delta p_{A-2}. \quad (6)$$

Получение характеристики для участка 1-A-2 (аналогичное участку 1-B-2) отображает рис. 2. Характеристику $\Delta p_{1-2}(Q)$ следует определить «сложением по расходу» характеристик параллельных ветвей (рис. 3).

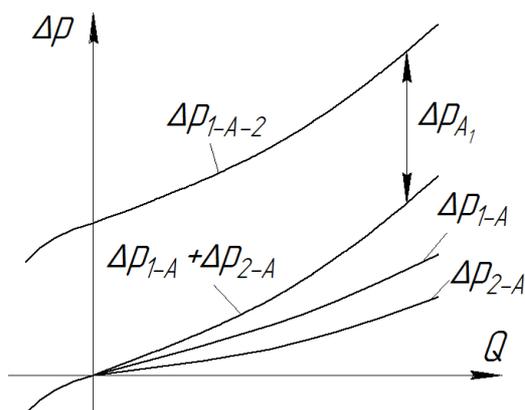


Рис. 2. Характеристика участка 1-A-2

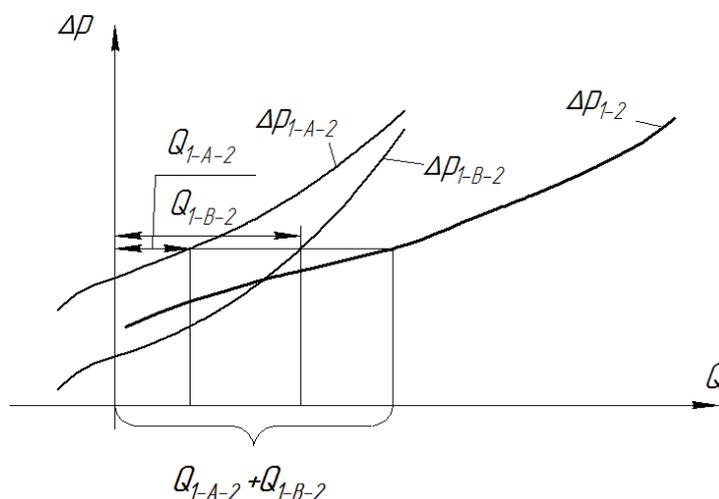


Рис. 3. Определение характеристики участка $\Delta p_{1-2}(Q)$

Характеристика системы $p_{\Sigma}(Q)$ (рис. 4) получена «сложением по давлению» характеристики контура с характеристиками трубопроводов $\Delta p_{0-1}(Q)$ и $\Delta p_{2-3}(Q)$: для ряда значений расходов суммируются гидравлические сопротивления путем сложения ординат по одинаковой абсциссе.

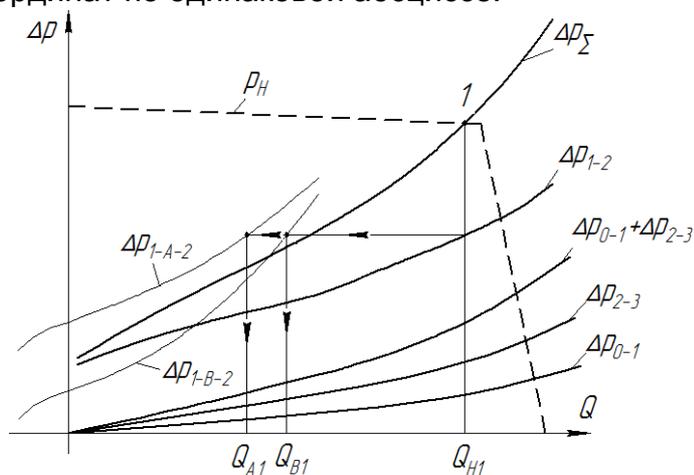


Рис. 4. Расходные характеристики двухконтурной гидросистемы

Точка пересечения характеристики системы с характеристикой насоса (точка 1 на рис. 4) является решением уравнения (1), позволяющим найти расходы Q_{A1} и Q_{B1} . Определив этот основной параметр, нетрудно найти скорости движения жидкости для соответствующих потребителей для i -го момента времени. Зная величины V_i , находим соответствующий ход по формулам:

$$\Delta S_i = V_i \Delta t_i; \quad S_{i+1} = S_i + \Delta S_i. \quad (7)$$

По характеристикам нагрузок потребителей можно определить значения P_{A_2} и P_{B_2} для следующего интервала времени Δt_2 . Расчет гидросистемы ведется пошагово, до завершения рабочего хода. Полное время срабатывания i -го потребителя:

$$t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i, \quad (8)$$

где n - количество промежутков времени, необходимое для полного расчета.

Рассмотренный выше способ построения характеристики сети является общим, поэтому для многоконтурных систем (рис. 5) характеристические уравнения имеют вид:

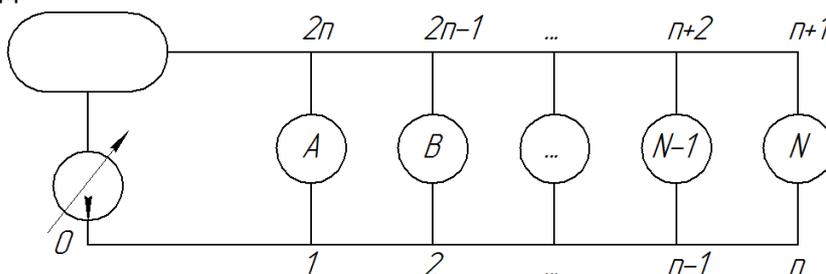


Рис. 5. Расчетная схема многоконтурной системы

$$\begin{aligned} \Delta p_{(n-1)-(n+2)} &= \Delta p_{(n-1)-N-(n+2)} \oplus \Delta p_{(n-1)-(N-1)-(n+2)}; \\ \Delta p_{(n-1)-N-(n+2)} &= \Delta p_{(n-1)-N} + p_N + \Delta p_{N-(n+2)}; \\ \Delta p_{(n-1)-(N-1)-(n+2)} &= \Delta p_{(n-1)-(N-1)} + p_{(N-1)} + \Delta p_{(N-1)-(n+2)}; \\ &\dots\dots\dots; \\ \Delta p_{1-(2n)} &= [\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-(2n-1)} + \Delta p_{(2n-1)-(2n)}] \oplus \Delta p_{1-A-(2n)}; \\ \Delta p_{1-A-(2n)} &= \Delta p_{1-A} + p_A + \Delta p_{A-(2n)}; \\ \Delta p_n &= \Delta p_\Sigma = \Delta p_{0-1} + \Delta p_{1-(2n)} + \Delta p_{(2n)-0}. \end{aligned}$$

По данным расчета строятся зависимости $s=f(t)$, $Q=f(t)$, $p=f(t)$, позволяющие определить интересующие проектировщика параметры движения исполнительных механизмов.

Для решения поставленной задачи сопоставления эффективности методов снижения массы и повышения быстродействия гидравлического комплекса разработан алгоритм расчета, который представлен в виде блок-схемы на рис. 6.

Разработка и последующая программная реализация метода расчета гидросистемы позволяют выявить параметры, в наибольшей степени влияющие на ее быстродействие. Основными из них являются:

- плотность жидкости;
- коэффициент ее кинематической вязкости;
- геометрия системы (диаметр и длина трубопроводов, наличие изгибов, колен, тройников и т.п.);
- мощность насоса, емкость аккумуляторов.

Исходя из приведенных параметров составлен перечень мер для повышения быстродействия гидросистемы:

1. Увеличение диаметра трубопроводов (по данным проведенных расчетов при увеличении диаметра трубопроводов с 10 до 12 мм (на 20%) время срабатывания уменьшается в 2 раза, однако при этом масса трубопровода возрастет на 28%).

2. Увеличение рабочего давления.

3. Изменение вязкости гидрожидкости за счет применения другого типа жидкости или ее подогрева.

4. Уменьшение гидравлического сопротивления подводящих и отводящих магистралей.

5. Применение принципа параллельной синхронизации работы (если потребители работают поочередно и находятся относительно близко друг от друга, то можно установить один трубопровод с переключателем в конце).

6. Проблема увеличения быстродействия некоторых исполнительных механизмов может быть решена нетривиальным способом, а именно, не уменьшением гидравлического сопротивления ветви, действующей недостаточно быстро, а увеличением сопротивления одного из участков, параллельных содержащему недостаточно быстрый гидропривод. Например, одна из ветвей (в случае проведенного математического моделирования — выпуск носовой стойки шасси) срабатывает очень быстро (что само по себе неплохо), но при этом потребляет почти весь располагаемый расход гидрожидкости и поэтому замедляет общее время срабатывания гидросистемы. Остальные потребители (исполнительные механизмы выпуска основных стоек шасси) практически простаивают (имеют очень медленное движение). Увеличение диаметра подводящих и отводящих трубопроводов, упрощение их геометрии в рассматриваемом реальном промере оказалось неэффективным. По результатам математического моделирования в этих условиях рационально поставить в ветви первого исполнительного механизма дроссель, увеличить таким образом ее сопротивление и время срабатывания механизма выпуска носовой стойки. Тогда расход в «отстающих» ветвях увеличивается, все потребители начинают работать равномерно и общее время срабатывания системы в рассматриваемом режиме выпуска шасси снижается. Разумеется, многократные расчеты по рассмотренному выше алгоритму позволили выбрать оптимальное сопротивление дросселя (с учетом возможности функционирования системы в различных природно-климатических условиях). Таким образом, в рассматриваемом типовом примере подсистемы уборки-выпуска шасси реальной гидравлической системы транспортного самолета удалось обеспечить требуемые параметры быстродействия на различных режимах.

Другая характерная проблема проектирования высокоэффективных гидравлических систем — существенная зависимость вязкости гидрожидкости от температуры окружающей среды. На разных высотах полета на системы самолета воздействует разная температура окружающей среды. С увеличением высоты полета на каждые 2000 м температура снижается на 12°C. Переменная температура, в свою очередь, влияет на вязкость гидрожидкости, используемой в гидросистеме самолета. Расчеты показали, что время срабатывания рассмотренной подсистемы уменьшается в среднем на 0,05 с при уменьшении вязкости на 1000 м²/с (рис. 7).

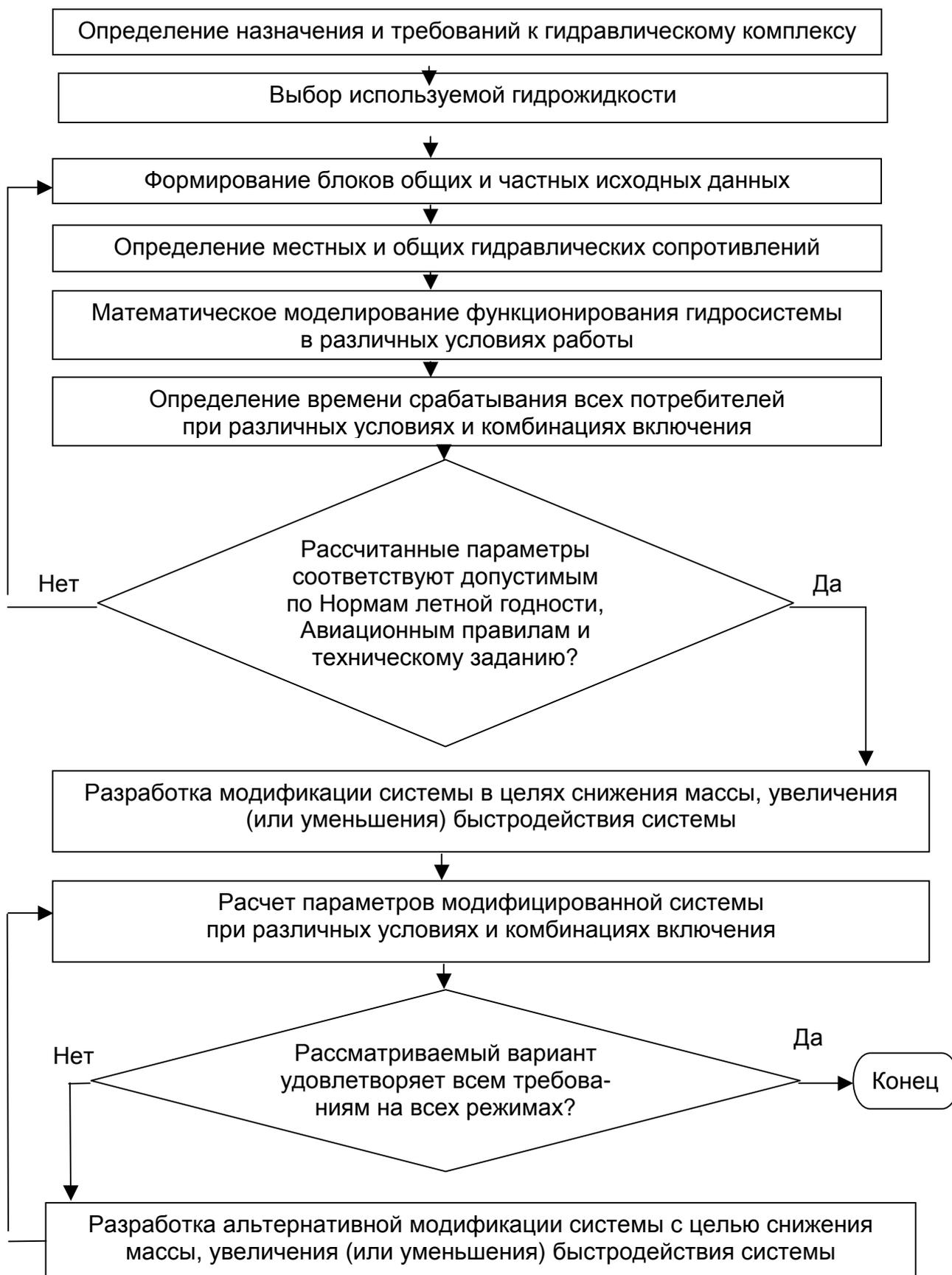


Рис. 6. Блок-схема алгоритма поверочного расчета гидросистемы



Рис. 7. График зависимости времени срабатывания ГС от вязкости гидрожидкости

Характеристику жидкости можно изменять с помощью таких мер, как использование специальных присадок, подогрев гидрожидкости, теплоизоляция трубопроводов и гидробака.

В целом программная реализация разработанного и опробованного алгоритмического обеспечения позволит получить эффективный инструмент для многократных оперативных расчетов ранних этапов разработки авиационных гидросистем.

Выводы

1. Практическое применение рассмотренного в статье метода расчета многоконтурной авиационной гидросистемы позволяет получить достоверные результаты, точность которых достаточна для ранних этапов проектирования. Немаловажно, что результаты могут быть получены при сравнительно небольших затратах времени на формирование блоков общих и частных исходных данных.

2. Выполненные в качестве тестовой задачи расчеты реальной трехконтурной гидросистемы продемонстрировали, что в отдельных случаях эффективно не увеличивать диаметры трубопроводов и упрощать их геометрию, а увеличить гидравлическое сопротивление ветви, потребляющей значительную часть располагаемого расхода гидрожидкости и обеспечивающей излишнее быстроедействие своих исполнительных механизмов.

3. Увеличение диаметров подводящих и отводящих трубопроводов — эффективная мера повышения быстрогодействия исполнительных механизмов, однако при анализе весовой эффективности этих решений необходимо учитывать не только массу металлических трубок, но и увеличение массы находящейся внутри них жидкости.

4. В дальнейшем при выполнении проектировочных расчетов следует использовать дополнительное программное обеспечение для анализа надежности и отказобезопасности создаваемой системы.

Список литературы

1. Матвеевко, А.М. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов [Текст]: учебник для вузов / А.М. Матвеевко, И.И. Зверев – М.: Машиностроение, 1982. – 296 с.
2. Домотенко, Н.Т. Авиационные силовые установки [Текст] / Н.Т. Домотенко, А.С. Кравец, А.И. Пугачев. – М.: Транспорт, 1970. – 352 с.

Рецензент: д-р. тех. наук проф. А.В. Бетин, НИИ ПФМ, Харьков
Поступила в редакцию 03.06.13

Аналіз ефективності методів зниження маси і підвищення швидкодії багатоконтурної авіаційної гідравлічної системи

Розроблено математичне забезпечення для програмної реалізації методу розрахунку багатоконтурної авіаційної гідравлічної системи. Детально розглянуто розрахунок двоконтурної гідросистеми зі споживачами компенсованих витрат. Виявлено параметри, що впливають на швидкодію системи. Складено перелік заходів для зменшення часу спрацьовування виконавчих механізмів, ефективність яких може бути визначена за допомогою розробленого програмного комплексу, складеного на основі запропонованого методу.

Ключові слова: літак, гідравлічна система, швидкодія, багатоконтурні системи, виконавчий механізм, споживач.

Analysis of the effectiveness of methods of weight reduction and increase of the speed of multicircuit aircraft hydraulic systems

The mathematical software for software implementation of the method for calculating the multicircuit aircraft hydraulic system has been developed. The calculation of dual-circuit hydraulic system with balanced flow pate consumers is examined in details. Identified the parameters that affect the speed of the system. A list of measures to reduce the response time of the actuators, the effectiveness of which can be determined using the developed software based on the proposed method.

Keywords: airplane, hydraulic system, speed, multicircuit system, actuator, consumer.