

Автоматизированный анализ рабочих режимов тупиковой гидравлической системы с потребителем компенсированного расхода

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

Разработано программное инструментальное средство для анализа режимов работы и оперативного предварительного проектирования гидросистемы летательного аппарата тупиковой схемы с потребителем компенсированного расхода и постоянной внешней нагрузкой. Синтезировано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение задачи. Программный продукт имеет дружественный пользователю интуитивно понятный интерфейс, снабжен встроенной справочной системой и системой проверки корректности вводимых данных.

Ключевые слова: гидравлическая система, проектирование, тупиковая гидравлическая система, потребитель компенсированного расхода, математическое моделирование, графоаналитический метод.

Гидравлическая система (ГС) – это комплекс взаимодействующих устройств, обеспечивающий энергией потребителей и управляющий режимами их работы. В настоящее время их широко применяют на летательных аппаратах (ЛА) различных типов в качестве источников энергии для работы устройств механизации и автоматизации самых разнообразных систем (управления, уборки и выпуска шасси, торможения, противообледенительной системы и т.п.). Так, на самолете МиГ-29 многих модификаций ГС обеспечивает питание приводов органов управления, взлетно-посадочных устройств и устройств управления воздухозаборниками двигателей, уборки и выпуска шасси, управления створкой турбостартера, управления рулежно-демпфирующим механизмом стойки передней опоры.

В авиации используют разнообразные ГС: от простейших систем из одного насоса и двух-трех рулевых машинок до чрезвычайно сложных разветвленных систем современных сверхзвуковых аппаратов [1]. Применяемые ГС имеют различные конструктивные схемы – разомкнутые и замкнутые; одноконтурные, многоконтурные, тупиковые и др.

Решение проблем, связанных с увеличением скорости, дальности, высоты и безопасности полетов, зависит не только от тяги, высотности, экономичности двигателя, совершенства конструкции планера, но и от того, насколько удачно решены задачи создания сложного комплекса оборудования ЛА, в частности, его гидравлической системы. Создание ГС минимального веса и объема, обслуживающей большое количество жизненно важных потребителей и обладающей высокой надежностью, невозможно без применения автоматизированных средств расчета и анализа ее работы на различных режимах.

В данной работе описано разработанное авторами программное инструментальное средство для математического моделирования и анализа одной из возможных конструктивных схем ГС ЛА (а именно, тупиковой ГС с потребителем компенсированного расхода) на начальных этапах ее создания.

Математическое моделирование ГС рассматриваемого класса требует формализованного описания любой такой системы произвольной структуры. Для построения формальной модели ГС используют метод, основанный на представлении системы в виде конечной структуры, когда сложную по конфигурации сис-

тему условно разделяют на отдельные функциональные элементы, математическое описание которых известно. Тогда для описания системы в целом достаточно указать тип элемента, его местоположение в системе, задать необходимые геометрические и конструктивные параметры и записать уравнения, преобразующие входные данные элемента рассматриваемого типа в выходные параметры.

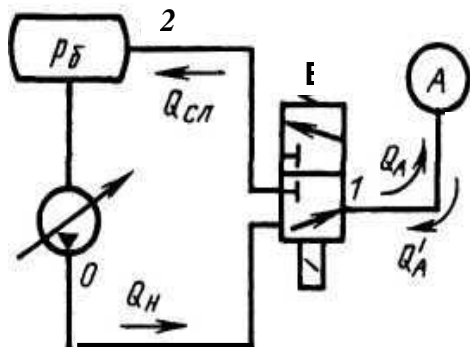


Рис. 1. Расчетная схема тупиковой ГС

В качестве таких базовых элементов в рассматриваемой гидравлической системе (рис. 1) использованы четыре типа элементов:

- линейные участки трубопроводов,
- различные местные сопротивления (колена, краны, клапаны, расходомеры, фильтры, тройники, соединители и т.п.);
- исполнительный механизм А – потребитель компенсированной нагрузки;
- распределительный клапан В.

Таким образом, для моделирования процессов в ГС произвольной структуры необходимы следующие исходные данные:

- общие исходные данные (характеристики гидрожидкости и регламентированное время срабатывания исполнительного механизма);
- описание элементов системы;
- характеристики источника питания и поддерживаемого уровня внутреннего давления в гидробаке.

Для анализа режимов работы и расчета ГС использован графо-аналитический метод, подробно изложенный в работах А.М. Матвеевко [2]. Метод основан на уравнении (1) баланса давлений в ГС:

$$P_{ИП} = \sum_{i=1}^n \Delta p_{ТРi} + \sum_{j=1}^k P_{НАГР} . \quad (1)$$

Левая часть данного уравнения – это характеристика источника питания, а правая – суммарная характеристика системы.

Для ГС тупиковой схемы (см. рис. 1) рассмотрены следующие два характерных режима работы, отличающиеся источником питания и самой структурой гидросистемы (см. рис. 1):

- 1) прямое срабатывание (нагнетание) – для сети «насос – трубопроводы 0-1 – потребитель А»;
- 2) обратное срабатывание (слив) – для сети «потребитель А – трубопроводы 1-2 – бак».

Разработанный программный продукт анализирует исходную информацию и в зависимости от состава элементов и структуры исследуемой схемы формирует общую математическую модель ГС и рассчитывает характеристики ее работы при заданных значениях исходных данных.

Для режима прямого срабатывания при заданных характеристиках источника питания, сети и нагрузки использованы расчетные уравнения:

$$\Delta p_H(Q) = \Delta p_0(Q) + \Delta p_1(Q) + \frac{R}{F}, \quad Q_H = Q_A . \quad (2)$$

где $\Delta p_H(Q)$ определяет давление, развиваемое насосом; Δp_i – потери давления во всех элементах сети на участке i ; $\frac{R}{F}$ – потери давления в исполнительном механизме (здесь R – приложенная нагрузка, F – площадь поршня).

Для режима обратного срабатывания использованы расчетные уравнения:

$$p_b = \Delta p_2(Q) + \Delta p_1(Q) + p_A, \quad Q_A = Q_c, \quad p_b = p_2 = \text{const}, \quad (3)$$

В системе уравнений (3) в качестве источника питания принят бак с уровнем давления p_b .

Графическое построение, соответствующее уравнениям (2) и (3), показано на рис. 2. В первом квадранте лежит точка N (точка баланса давлений при прямом срабатывании), которая находится на пересечении кривых характеристики $p(Q)$ источника питания и потерь давления на группе элементов ГС, участвующих в работе в режиме прямого срабатывания. В четвертом квадранте – точка M (точка баланса давлений при обратном срабатывании), которая определяется пересечением кривых уровня давления в баке p_b и потерь давления на группе элементов системы, участвующих в работе в режиме обратного срабатывания.

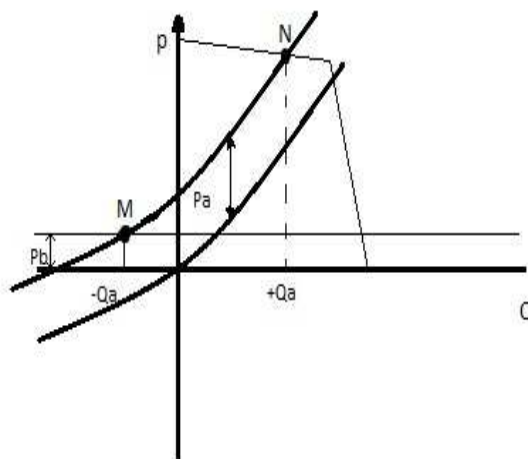


Рис. 2. Режимы работы тупиковой гидросистемы

В данном методе кривые характеристик источника питания и суммарных потерь давления в системе строятся дискретно, по точкам. При этом метод позволяет анализировать работу любых авиационных систем, имеющих нелинейные характеристики источников питания, трудно выражаемые аналитически зависимости усилий от хода поршня приводов и характеристики суммарных потерь давления на местных сопротивлениях ГС. Точка пересечения кривых, которая является точкой баланса давлений, определяется аналитически следующим образом. Для каждого участка по оси абсцисс, на которой откладывается расход гидрожидкости, определяется разность ординат в начале и конце участка (по оси ординат откладываются значения давления). На каждом участке проверяется изменение знака разности ординат в начальной и конечной точках. Если знак изменился, то на этом участке кривые пересекаются. Для определения координаты точки пересечения на рассматриваемом участке кривые аппроксимируются участками прямых, которые строятся по двум принадлежащим им точкам, а искомая точка пересечения определяется как точка пересечения двух прямых.

Общий алгоритм анализа режимов работы тупиковой ГС с потребителем компенсированного расхода, реализованный в данной автоматизированной системе, показан на рис. 3.

Разработанная автоматизированная система имеет развитый интерфейс, контекстную справочную систему, проста и удобна в эксплуатации. Она позволяет оперативно анализировать работу любых авиационных систем, имеющих в квазистационарных режимах нелинейные характеристики источников питания и трудно выражаемые аналитически потери давления на местных сопротивлениях.

Программный продукт позволяет решать ряд важных практических задач, возникающих при проектировании ГС. На рис. 4, 5, 6 показаны примеры исследования влияния конструктивных параметров ГС на время ее срабатывания, полученные средствами разработанного программного продукта.

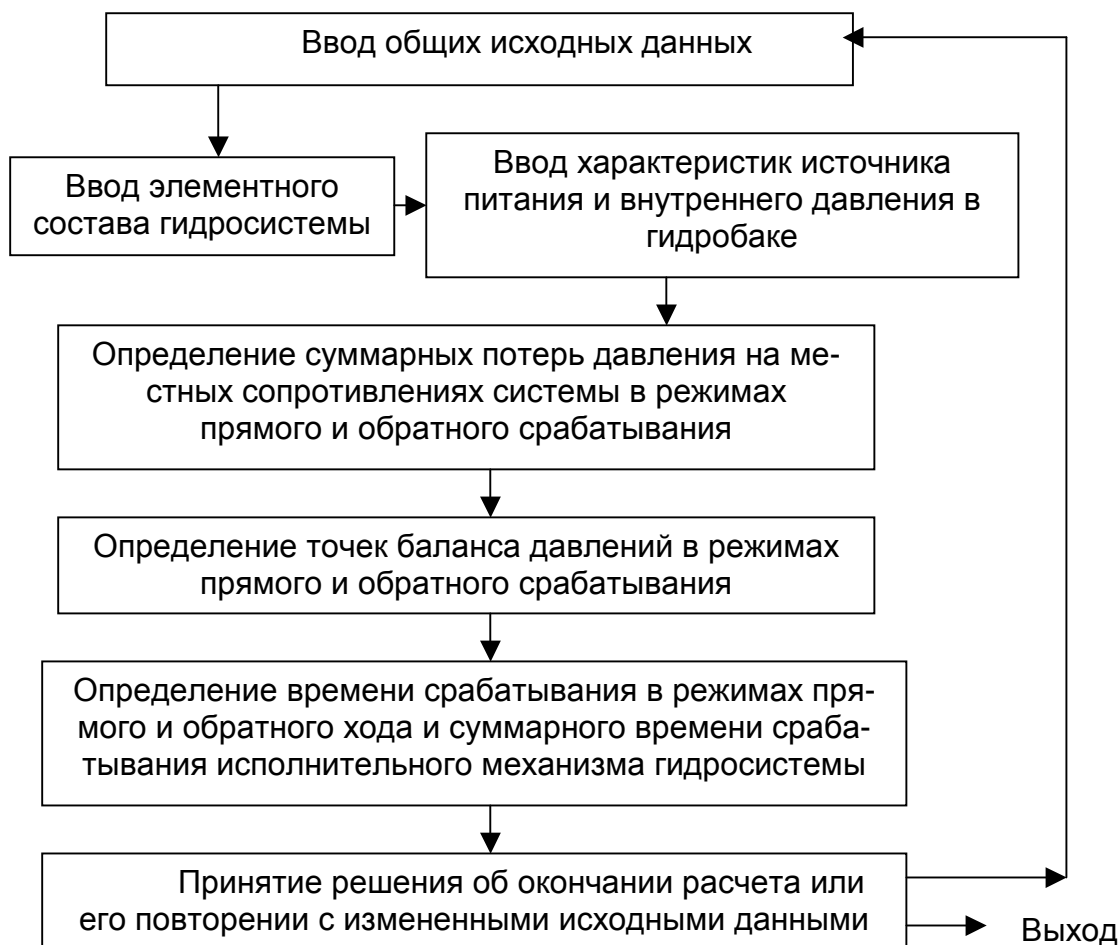


Рис. 3. Общий алгоритм задачи

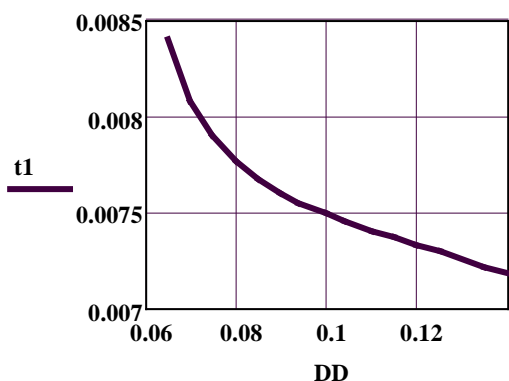


Рис. 4. Зависимость времени срабатывания t_1 , с, исполнительного механизма гидросистемы от диаметра трубопровода DD , м

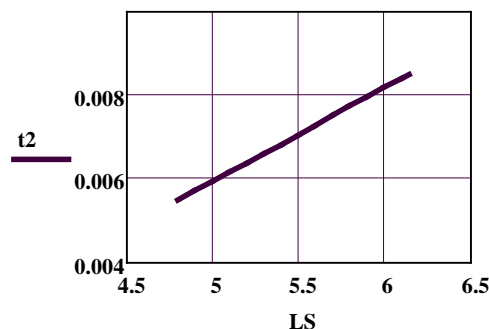


Рис. 5. Зависимость времени срабатывания t_2 , с, исполнительного механизма гидросистемы от общей длины гидросистемы LS , м

Выводы

1. Разработано программное обеспечение для анализа режимов работы и оперативного предварительного проектирования гидросистемы ЛА тупиковой схемы, обладающее интерактивностью, удобным интерфейсом и открытое для дальнейшего развития.

2. Пути возможного развития программного продукта состоят в увеличении количества анализируемых типов ГС и в более наглядном графическом отображении результатов его работы.

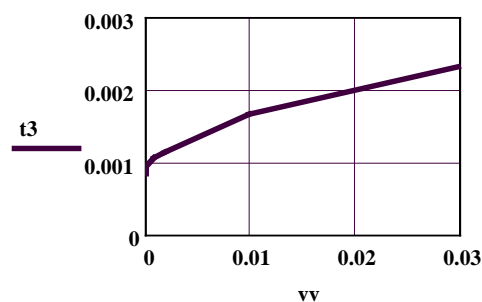


Рис. 6. Зависимость времени срабатывания t_3 , с, исполнительного механизма гидросистемы от кинематической вязкости гидрожидкости ν , м²/с

Список литературы

1. Матвеев А.М., Бекасов В.И. Системы оборудования летательных аппаратов: издание для вузов. / Матвеев А.М., Бекасов В.И. – М: Машиностроение, 2005. – 558 с.

2. Матвеев А.М., Зверев И.И. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов. / А.М. Матвеев, И.И. Зверев. – М.: Машиностроение, 1982. – 296 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник НИИ проблем физического моделирования полета самолетов Бетин А. В., Харьков

Поступила в редакцию 01.09.2014

Автоматизований аналіз робочих режимів тупикової гідравлічної системи зі споживачем компенсованої витрати

Розроблено програмний інструментальний засіб для аналізу режимів роботи і оперативного попереднього проектування гідросистеми літального апарата тупикової схеми зі споживачем компенсованої витрати і постійним зовнішнім навантаженням. Синтезовано математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення задачі. Програмний продукт має дружній користувачеві інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, забезпечений вбудованою довідковою системою і системою перевірки коректності вхідних даних.

Ключові слова: гідравлічна система, проектування, тупикова гідравлічна система, споживач компенсованої витрати, математичне моделювання, графоаналітичний метод.

Computer-aided Analysis of Operational Conditions of Dead-end Hydraulic System with Compensated-flow Consumer Unit

The software for computer-aided analysis of operational conditions of aircraft dead-end hydraulic system with the consumer of compensated-flow type and constant external load is worked out for the pre-design purpose. Corresponding mathematical, algorithmic and soft support are developed. The software is equipped with user-friendly intuitive interface, built-in help and input data validation.

Keywords: hydraulic system, design, dead-end hydraulic system, compensated-flow consumer unit, mathematical modeling, graph-analytic method.