

АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ КЛАПАННАЯ АРМАТУРА: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ли Чжун Ин, Чегодаев Д.Е.

Харбинский политехнический институт, г. Харбин (КНР)
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

СОКРАЩЕНИЯ

ЛА - летательный аппарат
ДУ - двигательная установка
ПГС - пневмогидравлическая система
ТНА - турбонасосный агрегат
ГТД - газотурбинный двигатель
СПГ - сжиженный природный газ
ГПТА - гидронемотопливный агрегат
КРУ - клапанное регулирующее устройство
САПР - система автоматизированного проектирования
ЭПК - электропневмоклапан
КУ - клапанное уплотнение
ДЛА - двигатели летательных аппаратов
ЭУ - энергетическая установка
СГАУ - Самарский государственный аэрокосмический университет
МР - металлорезина
ВВФ - внешние воздействующие факторы
ТЗ - техническое задание
ТТ - техническое требование
УС - уплотнительное соединение

К концу XX века наметилось неуклонное снижение темпов технического прогресса по основным показателям весовой эффективности, надежности и ресурса двигателей аэрокосмической техники. Средний показатель их роста составляет 0,5-1,0% в год, причём традиционные технологии уже не обеспечивают существенного увеличения темпов роста технического прогресса [1].

В то же время чётко отслеживается тенденция роста тактико-технических характеристик летательных аппаратов и энерговооружённости их двигательных установок, обуславливающих [2, 3]:

-увеличение давления расхода рабочих сред в трактах ПГС (уровень частот вращения ТНА современных авиационных ГТД превысил 8000 об/мин при давлениях сред свыше 10 МПа и расходах более 10000 кг/ч);

-расширение нижней границы температурного диапазона рабочих сред до 20К ввиду применения нетрадиционных для авиации высококалорийных криогенных топлив (жидкий водород, СПГ и др.);

-использование "всепогодных" синтетических жидкостей и масел с повышенными агрессивными и токсическими свойствами.

Это в свою очередь приводит к повышению динамической нагруженности агрегатов ПГС с возрастанием вероятности возникновения нештатных ситуаций из-за интенсификации неблагоприятных факторов (вибрации; пульсаций давления; гидроударов; ударного взаимодействия элементов зазорных пар и пр.), приводящих к прочностным и усталостным поломкам элементов и узлов.

В условиях жесткого лимитирования массы и минимизации запасов прочности элементов агрегатов, что особенно характерно для аэрокосмической техники, ужесточения требований к её экологической

чистоте резко усложняется выполнение требований к надежности ГПТА и устойчивости их КРУ при работе в составе ПГС.

Вышеизложенное предопределяет актуальность и практическую значимость современных направлений повышения надежности и технического уровня аэрокосмических ГПТА:

-разработка и внедрение в производство САПР с комплексным использованием современных средств вычислительной техники в виде интеллектуальных систем на основе комплексной автоматизации; предельных проблемно - ориентированных систем на базе персональных ЭВМ с созданием программного обеспечения для автоматизации проектирования технических систем с элементами различной физической природы [4, 5];

-создание для ЛА нового поколения критических технологий изготовления их двигательных материалов (керамика, композиты, поликарбонатные смолы и пр.) с высокой термостойкостью в широком температурном диапазоне; нанотехнологий и др. [1, 8, 9 и др.];

-проведение кардинальных исследований динамической нагруженности элементов КРУ, разработки научно обоснованных рекомендаций по их конструированию и управлению качеством динамических процессов с обеспечением заданных показателей надежности и технического уровня [6, 7].

Динамике срабатывания клапанных ГПТА посвящено большое количество работ. Это работы Ю.Ф. Никитина, Б.С. Плюшина, А.Н. Быкова. [10], касающиеся анализа сил, действующих в электромагнитных клапанах с резинометаллическим уплотнением; исследования В.Ф. Бугаенко [11], Т.В. Кондратьевой [12], объектом которых являлись предохранительные клапаны; О.Н. Шпакова [13] - реечные механизмы и червячный электропривод клапана; Д.Г. Цай и Е.Ц. Кассиди [14] - редукторы давления. Много внимания вопросам динамики ЭПК уделено в работах [15, 16]. Однако указанные работы посвящены решению отдельных частных вопросов, что ограничивает применение полученных результатов. Так в работе [10] отсутствуют практические сведения по способам численного определения сил и скоростей срабатывания элементов КУ; в работах [12, 15] принимаются постоянными давления на входе и выходе клапана без указания закона их изменения. Кроме того, в силу специфики конструкций предохранительной клапанной пары не рассматриваются вопросы, связанные с динамикой задатчиков нагрузки, что относится также к работам [17, 16, 13]. Отдельным вопросам динамики арматуры посвящены работы [18 - 21].

В работах [10, 11, 22-24] подробно описаны конструкции, типы различных приводов клапанных пар и методики их расчета, в частности рассматриваются вопросы расчета статического усилия герметизации и выбора конструктивных параметров приводных механизмов. При этом указывается на необходимость исследований динамики исполнительных органов ГПТА в органической связи с газодинамическими процессами в проходном тракте клапанного устройства объекта.

В работах [12, 25, 26] приводятся сведения по определению коэффициента подъёмной силы для плоских затворов и коэффициентов расхода различных типов клапанных пар.

Динамике нагружения резинометаллических клапанных пар посвящены исследования Ю.С. Зуева, Б.М. Капоровского и М.И. Штильмана [27], динамике соударения плоской клапанной пары с

уплотнением "металлы по металлу" - работы З.Р. Курендаша [28, 29]. Глубокие исследования нагружения конических клапанных пар с упругим седлом представлены в работах А.М. Долотова [7, 30 - 33 и др.].

С целью сохранения преемственности решения частных задач с общими методами механики характер и объем проводимых исследований следует увязывать с общими методами, изложенными в работах В.Л. Бидермана [34], Я.Г. Поновко [35], Н.А. Кильчевского [36], В. Гольдемита [37], Н.Н. Малинина [166], которые посвящены теории ударного нагружения механических систем.

В связи с этим отметим, что подавляющее число работ, описывающих процессы, происходящие в стыке уплотняющих поверхностей, базируются на теории контактирования шероховатых поверхностей, разработанной в [39, 40].

Вопросам виброустойчивости арматуры посвящены работы В.Ф. Бугаенко [11], И.Ф. Линского [41]. В этих работах исследуется влияние продольных [11] и поперечных [41] колебаний на герметичность клапана, представленного в виде линейной колебательной системы. При этом вводится относительный коэффициент запаса прочности, характеризующий минимально допустимое уменьшение контактной нагрузки. Нелинейность систем, обусловленная, в частности, наличием силы трения между клапаном и седлом, с одной стороны, и клапаном и его направляющей - с другой, ограничивают возможности применения полученных результатов.

В [10, 42, 43] воздействие внешних перегрузок учтено в выборе параметров привода, однако, отсутствует строгое отражение физической картины происходящих процессов, что ограничивает её применение лишь ориентировочными расчетами. Большой статистический материал по анализу ВВФ и расчету линейных колебательных систем приводится в [42, 43]. В то же время следует указать на недостаточность сведений по амплитудно-частотным спектрам транспортных нагрузок, их влиянию на надежность и ресурс КУ агрегатов при хранении и транспортировке, в том числе в составе систем ДЛА и ЛА [44, 45].

Применяемые в промышленности конструкторско-технологические и эксплуатационные методы обеспечения устойчивого функционирования исполнительных органов регулирующей и запорно-предохранительной арматуры освещены в работах [11, 46 - 49 и др.].

В последние годы резко возросло число исследований научно-практического плана по созданию управляемых клапанных агрегатов с заданными динамическими свойствами, включая конструкции с управляемым рабочим ходом исполнительного органа (золотник или привод) в соответствии с заданной циклограммой работы ЭУ. Как правило, такие конструкции выполняются на базе механических устройств коррекции профилировки затворов или целенаправленного изменения кинематических связей корректирующих элементов с исполнительным органом в зависимости от скорости его движения на рабочем ходе, а также демпферов различной физической природы с управляемой площадью дросселирующего сечения в соответствии с принятым законом движения золотника с момента отхода от седла до посадки на седло [2, 3, 7, 18, 50 - 54 и др.].

Следует указать на взаимосвязь данных работ с исследованиями характеристик разнообразных систем конструкционного демпфирования

ния и созданных на их основе средств виброзащиты агрегатов авиационной и ракетно-космической техники [3, 5, 55 – 57].

По данным НАСА, доля гидропневмотопливных агрегатов среди оборудования ЛА составляет 25% по номенклатуре и 35% по металлоемкости. Непрерывность процесса увеличения объема и номенклатуры клапанных ГПТА в общем балансе оборудования бортовых систем авиационной техники подтверждается ходом развития отечественного и зарубежного двигателе- и самолетостроения. Так, например, система управления самолетом Ил-62 включала всего 16 агрегатов, в то время как в системе управления самолета Ил-86 их число возросло до 78 [58].

Многообразие условий работы клапанных ГПТА и отсутствие у разработчиков единого подхода к ее конструированию обусловили большое разнообразие конструкций. По ориентировочной оценке патентной службы СГАУ в 1990 году в мировом фонде насчитывалось около 170 тысяч патентов, относящихся к арматуре, и их число ежегодно увеличивается примерно на две тысячи. Значительная доля патентов (до 15%) приходится на уплотнения, в том числе клапанные [6]. Это свидетельствует об определенном неблагополучии, неудовлетворенности растущих практических требований существующими разработками.

На современных самолетах установлены различные типоразмеры агрегатов, надежность которых может различаться в сотни раз. Их количественные характеристики надежности, а также систем и самолета в целом устанавливаются на базе статистического материала по отказам и неисправностям, полученным в ходе испытаний или эксплуатации. При этом следует заметить, что чем выше характеристики надежности, тем больший период наблюдений должен быть охвачен для подтверждения более высокого уровня надежности [58]. Из работы [58] следует, что генеральный конструктор самолетов Ил С.В. Ильюшин жестко требовал от сотрудников ОКБ на каждом этапе развития авиации постоянных поисков новых путей решения проблем надежности, соответствующих достижениям научно-технического прогресса. Следствием этого явилось то, что при создании самолета Ил-86 впервые был использован системный подход к решению проблем надежности и безопасности полетов, базирующийся на комплексе работ по обеспечению надежности, начиная с прогнозирования ожидаемых характеристик до их подтверждения при эксплуатации самолета. При этом все обратные связи в виде поступающей информации о выявленных при эксплуатации отказах и неисправностях немедленно обобщались, анализировались и сообщались всем предприятиям-смежникам для изучения и принятия решений по комплектующим агрегатам для повышения надежности, безопасности и экономичности воздушных перевозок. Это способствовало организационно-идеологическому единству на всех этапах создания самолета головным разработчиком самолета и соисполнителями, включая головные институты отрасли, предприятия-смежники, серийные заводы и эксплуатационные организации. Весьма важно, что впервые были сформулированы основные принципы конструирования ЛА: “безопасное разрушение элементов конструкции и безопасный отказ агрегатов”; “ресурсные агрегаты”; “обслуживание по состоянию”; “учет человеческих возможностей” и др.

При этом генеральный конструктор авиационных двигателей семейства “НК” академик Н.Д. Кузнецов выделял в качестве основополагающего этапа обеспечения надежности ДЛА этап разработки, то есть проектирования оптимальной конструкции

проектирования оптимальной конструкции двигателя и его элементов, в том числе с точки зрения динамической прочности авиадвигателей он выделял демпфирование элементов двигателей, склонных к вибрационным разрушениям [58].

В то же время академик К.В. Фролов [58] рекомендует следующие решения, способствующие повышению надежности изделий:

- разработка новых перспективных материалов;
- создание и внедрение современных методов оптимального проектирования конструкций на базе системного многокритериального подхода и использования САПР, объединяющих в одно целое средства автоматизированной обработки проектной информации на малых ЭВМ с задачами, решаемых на больших ЭВМ;
- разработка и использование не имеющих аналогов для научных исследований, расширяющих экспериментальные возможности исследовательских и заводских лабораторий.

Весьма уместно в связи с этим еще раз обратиться к крылатому выражению академика, генерального конструктора самолетов «Ту» А.Н. Туполева: «Авиация – это сплав науки и техники, в основе которого лежат изобретения и еще раз изобретения».

Вышеизложенное предопределяет актуальность создания универсальных и совершенствования действующих в отрасли методов создания клапанных ГПТА с управляемым качеством динамических процессов как составляющих общего системного подхода создания высоконадежных ЛА и их двигателей.

В связи с этим СГАУ в 90-ые годы издан цикл книг и учебно-справочных пособий, направленный на систематизацию методов проектирования и обеспечение эксплуатационной надежности аэрокосмических клапанных агрегатов и их элементов [4 - 7, 56, 57, 59-67, 69].

В работе [6] оценены области применения и надежность элементов клапанной арматуры в эксплуатации, представлены конструкторско-технологические и эксплуатационные принципы обеспечения их надежности на этапе проектирования, представлены примеры и практической реализации разработанных энергетических принципов в современных энергетических установках, стендах и оборудовании.

Принципы конструирования и расчета клапанных устройств различного типа, в том числе с седлом - оболочкой, представлены в работе [7]. Здесь же приведены сведения об уплотнительных устройствах криогенной техники. Освещены вопросы нормирования контактных давлений герметизации и синтеза уплотнительных соединений с заданными эксплуатационными показателями. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований работоспособности широкого класса клапанных устройств авиационных агрегатов.

В работах [4, 68] изложены общие вопросы технологии и конструкторского обеспечения надежности агрегатов систем ДЛА и ЛА на этапах их изготовления, сборки, испытаний и эксплуатации. Большое внимание уделено вопросам герметичности уплотнений различных конструктивных схем. Освещены вопросы обеспечения качества динамических процессов и устойчивости функционирования агрегатов в составе ПГС ДЛА и ЛА.

В работах [69 - 71] изложены теория, конструкторско-технологические принципы и приемы создания и эксплуатации высоконадежных рабочих органов машин и оборудования из упругопористого

материала МР, разработанного СГАУ в 70 годы для нужд аэрокосмической отрасли. Здесь же представлены примеры практической реализации приемов безотходной технологии изготовления из материала МР рабочих органов изделия для различных отраслей отечественной промышленности, в том числе для клапанного агрегаторостроения.

Вопросы синтеза управляющих алгоритмов, принципы построения конструкций и результаты исследований гидравлической активной виброизоляции на базе стандартного набора элементов ПГС (дросселей; гидроцилиндров; регуляторов и клапанных устройств с упругоподвешенными исполнительными органами) рассмотрены в работе [56]. Оценены области применения и эффективность средств виброизоляции с самоподстройкой и с алгоритмически управляемой жесткостью.

Работа [57] посвящена анализу характеристик разнообразных систем релаксационного демпфирования и созданных на их основе средств демпфирования и виброзащиты агрегатов авиационной и ракетно-космической техники. Представлена методология исследования таких систем с линейными и нелинейными характеристиками, принципы конструирования, технология изготовления и приемы доводки эксплуатационных характеристик изделий на базе модели гистерезиса единой математической формы, учитывающей предысторию нагружения уругодемпфирующего элемента.

В работе [66] представлены результаты комплексных исследований (на базе теории многофакторного эксперимента) влияния условий эксплуатации на свойства конструкционных материалов и конструкторско-технологических факторов, в том числе трещиноподобных дефектов, на вероятность безотказной работы силовых элементов конструкций ЛА с акцентированием динамических составляющих внезапного (потеря несущей способности) и постепенного (усталостное разрушение) отказов.

Перспективные методы и устройства функциональной диагностики технического состояния агрегатов в эксплуатации, в том числе их трубомеханических узлов по параметрам частиц износа, позволяющих осуществлять диагностику на ранней стадии зарождения дефекта, приведены в работе [59]. В основе оценки технического состояния пара качества и скольжения - контроль параметров частиц износа (размер, число и скорость поступления частиц в рабочую жидкость) в сопоставлении с нормированной характеристикой износа узлов скольжения при фиксированных параметрах их нагружения и загрязненности среды.

Вопросы теоретического и экспериментального исследования динамических характеристик гидромеханических систем агрегатов с учетом взаимодействия процессов в гидравлических и механических элементах освещены в [65]. Особое внимание уделено исследованию виброакустических характеристик насосных агрегатов, трубопроводов и емкостей, а также разработке методов и средств снижения виброакустических нагрузок в гидромеханических системах. Представлены конкретные примеры использования разработанных методов и устройств снижения виброакустических нагрузок в авиационных гидромеханических топливных системах, а также в гидромеханических системах станков и оборудования.

В работе [62] представлен цикл исследований систем конструкционного демпфирования с акцентированием особенностей широко применяющихся в ДЛА многослойных гофрированных демпферов.

Предложен широкий спектр методик расчета демпферов при различных видах их нагружения и примеры конструктивного исполнения демпферов (семейство ГТД "НК", ракетные двигатели "Энергия-Буран" и др.).

Оценка современного состояния торцовых бесконтактных уплотнений в турбомашинах ДЛА и методология их проектирования с учетом реальных условий эксплуатации в [67]. Должное внимание уделено экспериментальным исследованиям работоспособности уплотнений роторов турбомашин различного назначения при варьировании ВВФ.

Охарактеризованный выше цикл работ СГАУ 90-х годов по созданию высоконадежных аэрокосмических ГПТА лег в основу разработки авторами системного подхода методических основ (модели) оценки и обеспечения устойчивости и заданного уровня показателей функциональной надежности и технического уровня КРУ с управляемым качеством динамических процессов (работы по блокам А, Б, В, С, Д и Е на рис. 1), с акцентированием работ по блоку Д:

- обеспечение функциональной надежности и качества переходных процессов КРУ управлением кинематическими и силовыми параметрами ИО на рабочем ходе (направление I);

- достижение динамической точности КРУ согласованием характеристик функциональных элементов и оптимизацией параметров качества переходных процессов в ПГС (направление II);

- обеспечение устойчивости работы КРУ вне и в составе ПГС введением в структуру агрегата или в присоединенные к нему трубопроводные цепи корректирующих устройств (направление III).

Все три отмеченные направления управления качеством динамических процессов КРУ, взаимосвязанных по своей сути, требуют проведения согласованной (компромиссной) политики регулирования параметров по каждому направлению (см. табл. 1). Причем разработка I, II и III направлений сопряжена с проведением работ по блоку Д, который доведен авторами до детального освещения всех этапов создания КРУ с момента получения от заказчика ТЗ на разработку устройства до передачи его в серийное производство (рис. 2).

Разработанные методические основы (рис. 1, 2) определяют очередность постановки и решения задач управления качеством динамических процессов КРУ ПГС по всем трем рассматриваемым направлениям с последующим выходом на показатели технического уровня создаваемого клапанного ГПТА уже на этапе эскизного проектирования с набором среднестатистических данных по функциональной надежности КРУ на стадиях автономных испытаний агрегата и испытаний в составе ПГС ДЛА и ЛА. Все это и наличие единой базы исходных данных и регулируемых параметров КРУ (табл. 1) по обеспечению функциональной надежности клапанных устройств (направление I), динамической точности и устойчивости КРУ (направления II, III) определяют необходимость тесной координации работ между заказчиком ("схемачом") и исполнителем ("клапанистом"), начиная с совместного составления ТЗ на объект разработки.

Отправной точкой для начала работ по созданию технического объекта является техническое требование, на основе которого выпускается ТЗ на разработку системы и ее агрегатов. Основой ТЗ является ТТ со значительной конкретизацией таких вопросов, как общие черты функциональной схемы системы, некоторые данные ее основных элементов. Содержание ТЗ позволяет представить общий облик систем,

Таблица 1 - Сводная таблица исходных и регулируемых параметров КРУ с управляемым качеством динамических процессов

Исходные параметры, определяющие пределы управления качеством динамических процессов КРУ	Обозначение
NN п/л	
1.	Геометрические и массо-габаритные параметры $D_y; F, V, M, m, \zeta, R, f,$
2.	Параметры состояния среды $T, P, \Delta P; Q(G), \Delta Q(G), \rho;$ $\gamma; c; c_p; c_v; i; \rho; \eta; k; R_y;$ $R_0.$
3.	Статические и динамические (словные) параметры нагружения исполнительных органов (ИО) $t(\tau), P, P_{пер}, P_{ост}, P_{нар}$ $P_{нар}, P_{г}, P_{г}, N_{г}, R_{нар}, Q,$ $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, C_{оп},$ $\chi, \mu_{оп}, \varphi, E, V, R, C, \alpha, \bar{\alpha},$ $\alpha_1, \varphi_1, \sigma, a, n, K_{оп}, K_{нар}, \omega,$ E, E_c
4.	Кинематические параметры, быстродействие и масса ИО $x, H, x, k, t(\tau), m$..
5.	Параметры демфирующего устройства $\rho, \gamma, T, Q, P, R, R_0, \mu,$ $C_{оп}, \chi, R, \chi, T, T_1, T_2, \eta,$ $C_{нар}, \mu_{нар}, C, C_0, C_1, i,$ $n, k, t(\tau), H, f, \mu, \omega,$ $W(s)$

Блок регулируемых по времени на рабочем ходе ИО параметров КРУ с управляемым качеством динамических процессов

$R[D_y, \xi, V, F, P, P_1, Q_1, Q_2]; E_n(\dot{x}, m);$
 $D[f, m, P_n, V, Q_n, \omega, \eta, C_{оп}, T_1, T_2, \mu, W(s)];$
 $P[P_{нар}, P_{пер}, C_{оп}, \omega, P_i(m, x), P_{оп}(\mu_{оп});$
 $P_{нар}(\mu_{нар}); P_{нар}(\varphi, \alpha, \alpha_i)]$



Направление I, рис.1

Повышение ресурса клапанных уплотнений КРУ снижением динамической нагрузки - сти их элементов при контактировании управлением кинематическими и динамическими параметрами ИО

Направление II, III, рис.1

Обеспечение динамической точности и устойчивости КРУ в составе ПГС в соответствии с циклограммой работы объекта

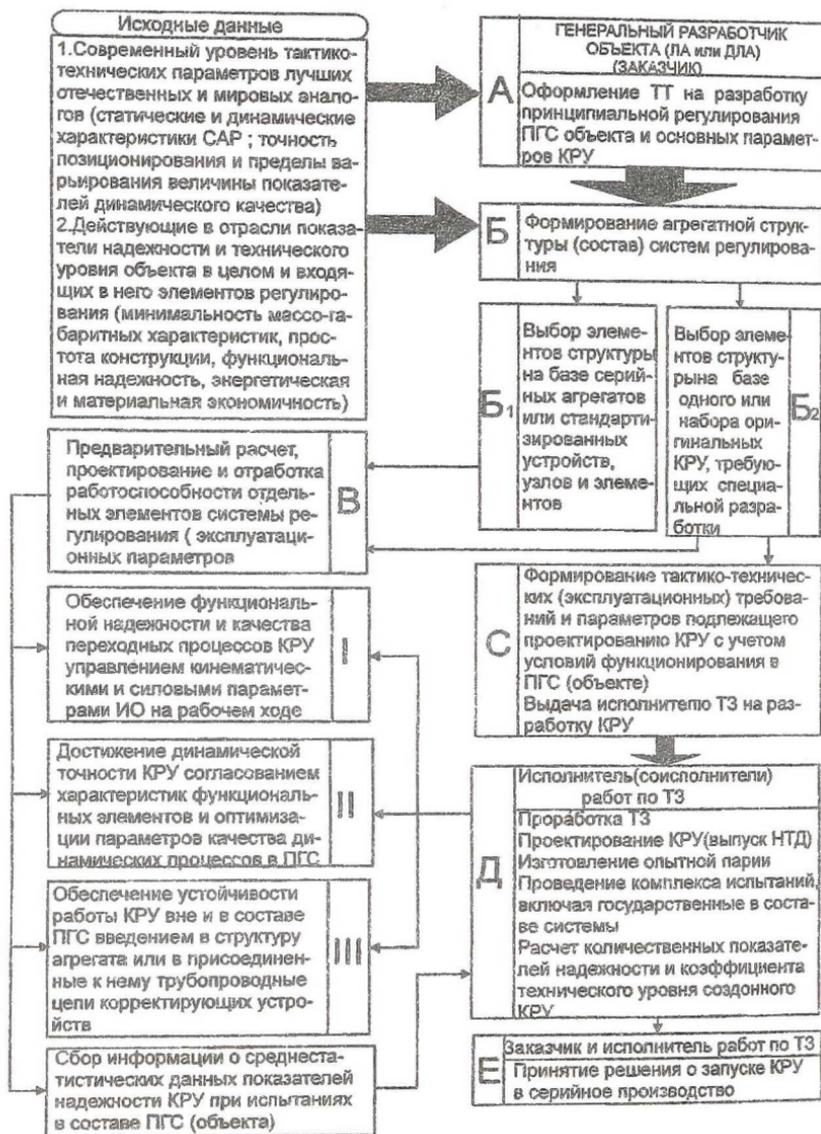


Рисунок 1 – Системный подход к созданию аэрокосмических клапанных ГПТА с управляемым качеством динамических процессов на всех стадиях взаимодействия заказчика с исполнителем (модель оценки и обеспечения устойчивости и заданного уровня показателей функциональной надежности и технического уровня КРУ с управляемым качеством динамических процессов)

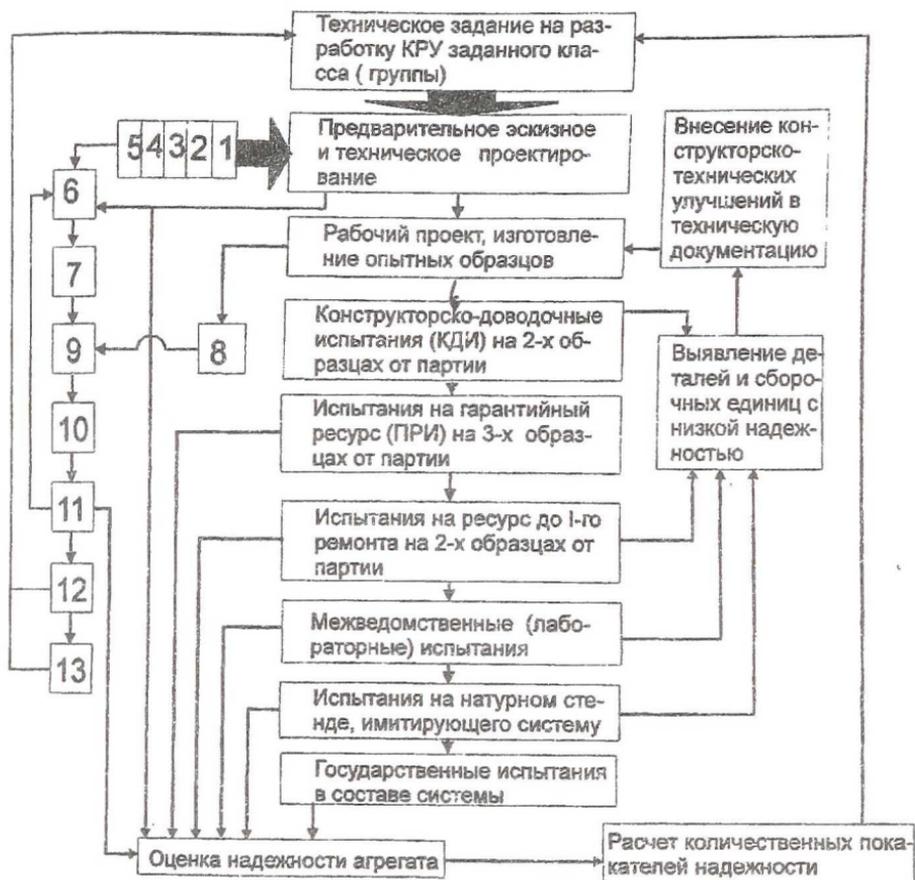


Рисунок 2 - Система обеспечения и подтверждения заданных показателей надежности и технического уровня разрабатываемого агрегата (блок Д) 1 - проработка ТЗ и выбор принципиальной системы агрегата с учетом 2-5; 2 - анализ тактико-технических требований (принцип действия; давление, температура, расход и вид рабочих сред; быстродействие; АЧС ВВФ; потребляемая мощность и вид управляющей нагрузки; массо-габаритные характеристики; материалы элементов конструкции; срок службы; показатели надежности и др.); 3 - обоснование параметров качества изготовления при принятых технологических процессах и возможности их совершенствования; 4 - введение унифицированных и стандартизованных элементов и конструкций высокой надежности (ресурс, вероятность безотказной работы и пр.) с учетом эксплуатационных свойств (износостойкость, усталостная прочность и др.); 5 - анализ научно-технической и патентной документации по выявлению лучших отечественных и зарубежных аналогов и выбор прототипа (базового образца); 6 - определение и сопоставление численных (теоретических) значений показателей качества оцениваемого и базового изделий; 7 - определение базовых показателей качества прототипа; 8 - определение фактических показателей качества созданного агрегата; 9 - сопоставление численных значений показателей качества спроектированного агрегата или ряда его модификаций; 11 - принятие решения по сравнительному анализу вариантов возможных решений; 12 - установление требований к качеству изделия и нормирование качества в НТД; 13 - заполнение карт технико-

сформировать представление о их структуре и функциональных взаимодействиях между элементами.

Нарушение указанной координации неизбежно затянет срок разработки КРУ, увеличит время его доводки, приведет к необходимости внесения конструктивных изменений либо непосредственно в агрегат, либо в систему регулирования с последующим проведением дополнительного цикла испытаний.

Принимая в качестве отправной точки разработанный системный подход создания КРУ (рис. 1, 2 и табл. 1) авторами настоящей статьи впервые в СГАУ предпринята попытка продвижения по всем трем направлениям управления качеством динамических процессов КРУ с акцентированием работ 1 направления, включая задачи обеспечения требуемых показателей надежности и технического уровня объектов разработки на этапах проработки ТЗ и эскизного проектирования.

В связи с вышеизложенным систематизированы основополагающие приемы оценки и повышения эффективности методов обеспечения заданных показателей технического уровня и надежности ГПТА с выделением энергетических и динамических аспектов конструирования клапанных устройств. Показано, что данные показатели - величины взаимосвязанные и, в первую очередь, через количество переходных процессов, определяющее ресурс и устойчивость упруго подвешенных исполнительных органов. Так повышение величины коэффициента материалоемкости благоприятно сказывается на кинематических параметрах агрегатов, быстродействию и энергии соударения исполнительных органов с соответствующим увеличением ресурса их работы. С другой стороны снижение массы подвижных частей не должно выходить из пределов, за которыми агрегат теряет устойчивость при работе в составе ПГС. Данное положение закономерно и для других показателей надежности и технического уровня ГПТА, как разнотипных, так и аналогичных на основе иной базовой конструкции.

Должное внимание уделено разработанным в СГАУ перспективным направлениям технического уровня клапанных ГПТА, вписывающихся в рамки решаемых проблем (создание сейсмостойких агрегатов с рабочими органами из материала МР, тросов и пластин; обеспечение долговечности соударяемых и сопрягаемых УС на этапе эскизного проектирования; минимизация массо-габаритных характеристик клапанных ГПТА при блочно-модульном исполнении конструкций).

Список литературы

1. Карасев Б.Е. Критические технологии для изготовления газотурбинных двигателей // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе: Доклады международного научно-технического конференции 17-18 сентября 1977 Самара: СГАУ, 1997.-Том 2. -С. 143-149.
2. Мулюкин О.П. Проблемы герметизации и ресурса динамически нагруженных уплотнительных соединений (обзор) // ПТС: Технология авиационного приборостроения и агрегатостроения.-Саратов: НИТИ, 1997, N 4.-С.29-34.

3. Мулюкин О.П. Методы расчета и принципы проектирования высоко-ресурсных клапанных агрегатов: Диссертация ...докт. техн. наук: 05.07.05-Самара: СГАУ, 1995.-396с.
4. Основы создания агрегатов автоматики пневмогидравлических систем летательных аппаратов и двигателей. Часть 1. Обеспечение конструкторской надежности и технологичности агрегатов/ А.Н. Евстифеев, А.Е. Жуковский, В.М. Квасов и др. –Самара: НПО "Импульс", 1993. –375 с.
5. Cook R.T., Coffey G.A. Space Shuttle orbiter engine main combustion chamber cooling and lide. -AIAA, Paper? 1973? N 1310.
6. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. Гидропневмотопливные агрегаты и их надежность. –Куйбышев: Кн. издательство, 1990.-104 с.
7. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. Элементы клапанных устройств авиационных агрегатов и их надежность: Учебное пособие. –М.: Издательство МАИ, 1994.-208с.
8. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения: Основы проектирования машин. –М.: Машиностроение, 1984. –224 с.
9. Хильчевский В.В., Ситников А.Е., Ананьевский В.А. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры. –М.: Машиностроение. –М.: Машиностроение, 1989. –208 с.
10. Никитин Ю.Ф., Плюшин Б.С., Быков Н.А. Электромагнитные клапаны. –М.: МВТУ, 1976.-90 с.
11. Бугаенко В.Ф. Пневмоавтоматика ракетно-космических систем. –М.: Машиностроение, 1979-168 с.
12. Кондратьева Т.В. Предохранительные клапаны. –Л.: - Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1976.-232 с.
13. Шапов О.Н. Исследование червячного электропривода с учетом работы предохранительных устройств применительно к трубопроводной арматуре: Автореф. дисс....канд.техн.наук: 05.02.03.- Харьков, 1977. – 23 с.
14. Цай Д.Г., Кассиди Е.Ц. Динамические характеристики воздушного редуктора давления // Теоретические основы и инженерных расчетов. –М.: Мир. –1961.-N 2/-С.57-80.
15. Никитин Ю.Ф., Терехов И.Л., Лунина И.Н. Расчет динамики электромагнитного клапана с пневмоусилением // Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты: Труды МВТУ, N 269. –1978. – С.38-45.
16. Определение времени открытия электропневматических клапанов/ В.Д. Лубенец и др.// Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты: Труды МВТУ, N146-1971/ -С.56-58.
17. Никитин Г.А. Щелевые и лабиринтные уплотнения гидроагрегатов,- М.: Машиностроение, 1982.-135 с.
18. Беляев Н.М., Белик Н.П., Уваров Е.И. Реактивные системы управления космических летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979. –232 с.
19. Влияние защищаемой системы на работу предохранительного клапана/ В.В. Невинский и др./В кн.: Гидравлические и гидродинамические исследования арматуры. –Л.: ЦКБА, 1981. – С.42-50.
20. Динамическая устойчивость работы предохранительных клапанов /Т.Ф. Кондратьева., В.П. Исаков, Ф.П. Петрова. –Химическое и нефтяное машиностроение, 1978, N 4. –С. 12 – С. 14-17.

21. Елисеев С.В., Кукаренко В.П. инерционные связи в колебательной системе // Динамика управляемых механических систем: Сб. науч. трудов. –Иркутск: ИрПИ. -1982. –С.47-52.
22. Бансявичюс Р.Ю., Рагульскис К.М. Вибродвигатели. – Вильнюс: Москлас, 1981.-232 с.
23. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Динамика пневматических приводов машин - автоматов. –М.: машиностроение, 1964.-272 с.
24. Эдельман А.И. Топливные клапаны жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1970. –244 с.
25. Коленко Н.Н., Мулюкин О.П. Исследование силового воздействия потока на золотник предохранительного клапана / ВНИИ Криогенмаш. – Балашиха, 1984. –Деп. в ЦИТИ ХИМНЕФТЕМАШ. –N 1201: Указ. ВИНТИ 19.11.84. –N 10, –С.136.
26. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972.–484 с.
27. Шестаков И.Я., Зуев Ю.С., Капоровский Б.М. Расчет долговечности резинометаллических клапанов, подвергающихся многократному ударному нагружению // Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции по методам расчета изделий из высокоэластичных материалов (Рига, 11 дек. 1977 г.) – Рига. –С. 129-132
28. Курендаш З.Р. О силовом взаимодействии элементов шарнирного плоского устройства. // Электронное машиностроение: Межвуз. сб. – Львов. –1978. –Вып II. –С.18-21.
29. Курендаш З.Р., Шамбель Б.С. Определение напряжений в зоне контакта клапана и седла // Технология машиностроения и динамическая прочность машин: Вестник Львовского политехнического института. – N 146– Львов: Вища школа, 1980. – С. 71-72.
30. Долотов А.М. Исследование динамических явлений, возникающих в конических парах с упругим седлом: Диссертации кандидата технических наук: 01.02.06.-Львов: ЛПИ, 1987. –187 с.
31. Долотов А.М., Комаров М.С. Исследование отскоков в конических клапанных парах с упругим седлом // Вестник Львовского политехнического института. – N 136: Доклады и научные сообщения. – Львов: Вища школа, 1979. – С. 22-24.
32. Долотов А.М. Комаров М.С. Воздействие вибраций на коническую клапанную пару с упругим седлом // Вестник Львовского политехнического института. – N 146: Технология машиностроения и динамическая прочность машин. – Львов: Вища школа, 1980. – С. 45-47.
33. Чегодаев Д.Е., Долотов А.М., Мулюкин О.П. К учету сил трения в моделях затворов с оболочечным седлом //Статика и динамика тонкостенных оболочек: Тез. докл. науч. сессии от 4-8 июня 1990 г.-Тбилиси: 1990. –С 70-71.
34. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1972. – 416 с.
35. Поновко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. –М.: Наука, 1971, 240 с.
36. Кильчевский Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел. Удар. – Киев: Наукова думка, 1976. –319 с.
37. Гольдемит В. Удар. –М.: Госстройиздат, 1965. –447с.
38. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. –М.: Машиностроение, 1975. –400 с.
39. Горячева И.Г., Добычин М.Н. Контактные задачи в трибологии. –М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.

40. Демкин Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей. –М. : Наука, 1970. –227 с.
41. Линский И.Ф. О герметичности пружинных пневмогидроклапанов при продольной и поперечной вибрации // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. –М.: Машиностроение. –1979.-Вып. 7. –С.221-228.
42. Ильинский В.С. Защита аппаратов от динамических воздействий. – М.: Энергия, 1970. –321 с.
43. Инженерные методы исследования ударных процессов/Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков, А.К. Ефремов и др. –М.: Машиностроение, 1977.-240 с.
44. Механизмы разгрузки агрегатов автоматики при хранении и транспортировании / О.П. Мулюкин, Д.Е. Чегодаев, Ф.М. Шакиров и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1985, N 11. –С. 18-19.
45. Мулюкин О.П. Разработка и анализ конструкторско-технологических и эксплуатационных приемов повышения надежности агрегатов автоматики систем летательных аппаратов на этапах хранения и транспортировки // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр./КуАИ. Куйбышев, 1984. С.–80.
46. Вибрации в технике: Справочник в 6 т / Под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. –М. –Машиностроение, 1980. –Т.3.: Колебания машин, Конструкции и их элементов. –544 с.
47. Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование ЖРД. –М. : Машиностроение, 1989 –296 с.
48. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах / Под редакцией В.П. Шорина, Е.В. Шахматова. –Самара: Издательство СГАУ, 1998-270 с.
49. Шевяков А.А. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок – М.: Машиностроение, 1970. –660 с.
50. Исследование динамики исполнительных органов клапанных механизмов с демпфирующими устройствами/Д.Е. Чегодаев, Ф.М. Шакиров, О.П. Мулюкин и др. // Проектирование и доводка авиационных газотурбинных двигателей: Сб. науч. трудов. –Куйбышев: КуАИ, 1985.-С.154-159.
51. Исследование влияния вибронгрузок на срабатывание предохранительного клапана: Отчет / НПО Криогенмаш: Руководитель работы Дедков А.К.; Отв. исполнители: Коленко Н.Н., Мулюкин О.П., - Инв. N 3649. -Балашиха, 1986. –48 с.
52. Чегодаев Д.Е., Белоусов А.И. Общие свойства пневматических и гидравлических устройств управления и систем релаксационного демпфирования // Пневматические и гидравлические устройства и системы управления: Труды X международной конференции “Яблонна-86”. –М.: Энергоатомиздат, 1986. – С.94-97.
53. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Жильников Е.П. Новые конструкции регуляторов прямого действия с элементами капиллярной структуры. –Химическое и нефтяное машиностроение, 1992, N 8. С-12-13.
54. Чегодаев Д.Е., Шакиров Ф.М., Мулюкин О.П., Гушов Е.В. Экспериментальные исследования предохранительного клапана // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр./КуАИ. Куйбышев, 1987. –С.123-128.
55. Чегодаев Д.Е., Белоусов А.И. Гидростатические опоры как гасители колебаний // Проектирование и доводка авиационных газотурбинных

- двигателей: Сб. науч. трудов. – Куйбышев: КуАИ, 1974. Вып. 67.- С.197-205
56. Чегодаев Д.Е., Шатилов Ю.Б. Управляемая виброизоляция (конструктивные варианты и эффективность). – Самара. Издательство СГАУ, 1995.-143 с.
 57. Чегодаев Д.Е., Пономарев Ю.К. Демпфирование. –Самара: Издательство СГАУ, 1997.-334 с.
 58. Проблемы надежности и ресурса в машиностроении / Под ред. К.В. Фролова, А.П. Гусенкова. –М: Наука, 1986. –247 с.
 59. Логвинов Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости.- М.: ЦНТИ "Поиск", 1992.-90 с.
 60. Методы обеспечения функциональной надежности пневмогидравлических и топливных систем блока ракетно-космического комплекса / Е.А. Вакумоч, В.Д. Варивода, А.Е. Жуковский и др. –Самара: НПО "Импульс", 1994. –256 с.
 61. Мулюкин О.П. Чегодаев Д.Е., Луканенко В.Г. Конструкция и проектирование агрегатов защиты и предохранения пневмогидросистем и емкостей авиационной техники и наземного оборудования: Учебное пособие. –Самара: СГАУ, 1997.-49 с.
 62. Многослойные демпферы двигателей летательных аппаратов / Ю.К. Пономарев, Ю.Н. Проничев, Д.Е. Чегодаев, В.М. Вершигоров. Многослойные демпферы двигателей летательных аппаратов. – Самара: Издательство СГАУ, 1998.-232 с.
 64. Особенности систем топливопитания и регулирования авиационных газотурбинных двигателей на криогенном топливе / В.П. Шорин, С.М. Игначков, Е.В. Шахматов и др.- Самара: Издательство СГАУ, 1998. –148 с.
 65. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах / Под ред. В.П. Шорина, Е.В. Шахматова. – Самара: Издательство СГАУ, 1998. –270 с.
 66. Тарасов Ю.Л., Миноранский Э.И., Дулякин В.М. Надежность элементов конструкций летательных аппаратов: Методология обеспечения. –М.: Машиностроение, 1992.-224 с.
 67. Чегодаев Д.Е., Фалалеев С.В. Торцовые бесконтактные уплотнения двигателей летательных аппаратов: Основы теории и проектирования: Учебное пособие. –М.: Издательство МАИ, 1998. –276 с.
 68. Основы создания агрегатов автоматики пневмогидравлических систем летательных аппаратов и двигателей. Часть 2. Обеспечение качества динамических процессов и устойчивость систем с агрегатами управления и регулирования / А.Е. Жуковский, О.П. Мулюкин, Д.Е. Чегодаев и др. –Самара: НПО "Импульс", 1995. –216 с.
 69. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Колтыгин Е.В. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР: Учеб. - справ. пособие. Самара: НПЦ "Авиатор", 1994. 256с
 70. Li Zhongying, Qi Naiming, Liu Tun and Zhu Yali Application of Elasticity Combined with Poriness of Metal-rubber . Journal of Harbin Institute of Technology. 1999, Vol.31 No. 3 100-102
 71. Li Zhongying Application of the Metal-rubber, Modern Mechanics and Engineering. 1997, Harbin.