

УДК 629.7:621.452.32

## СПЕЦИФИКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ ОДНОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ю.М. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, С.С. ГУМЕРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>aum37@yandex.ru, <sup>2</sup>ssmagic89@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 29.06.2015

**Аннотация.** Перспективы развития авиакосмических технологий предполагают потребность в массовом производстве беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения. Одним из важнейших требований к БПЛА в связи с их массовым использованием будет доступность технологии производства, низкая стоимость производства и эксплуатации. В работе обосновывается подход к производству двигателя для БПЛА с одноразовой сборкой, без горячих испытаний.

**Ключевые слова:** БПЛА, турбореактивный двигатель, автономные испытания агрегатов.

Условия одноразового использования двигателей беспилотных летательных аппаратов (БЛА) выделяют данный класс двигателей из всего многообразия двигателей, используемых в качестве силовых установок пилотируемых летательных аппаратов в силу того, что проектирование ГТД для БЛА ведется на основе сбалансированного сочетания небольшого ресурса и уровня параметров рабочего процесса, скоростей потока, нагруженности ступеней турбомашин и т.д. на пределе научно-технических возможностей, исходя из обеспечения жестких требований технического задания. Требование улучшения характеристик БЛА объективно диктует направления совершенствования удельных параметров двигателей и силовых установок в целом. Например, в [1] отмечено, что «целью программы ИРТЕТ является уменьшение на 40 % удельного расхода топлива, на 60 % стоимости, увеличение в 2 раза удельной тяги двигателей крылатых ракет».

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ БЛА

Реализация высоких удельных показателей двигателей показывает необходимость нового скачка в технологии производства двигателей для БЛА в направлении разработки и использования новых расчетных методов аэродинамики и газовой динамики, новых принципов конструирования лопаточных машин и горячих узлов, а

также новых высокоэффективных методов смесеобразования и сгорания топлив, применения новых прочных и легких материалов.

Выполнение этих требований характеризуется рядом противоречивых ситуаций, которые тесно связаны с условием одноразового использования двигателя.

Например:

– величина радиального зазора в турбомашинах двигателей традиционного применения выбирается исходя из недопустимости задевания ротора о статор на режимах запуска и останова двигателя, для чего вводятся специальные режимы прогрева и охлаждения.

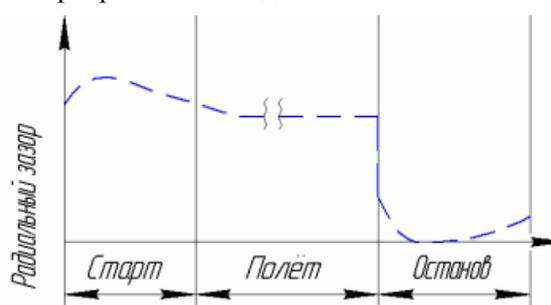


Рис. 1. Схема изменений радиальных перемещений ротора и статора и радиального зазора в цикле работы двигателя

Минимальный зазор, возникающий при останове двигателя (рис.1), ведет к увеличению зазора на основных режимах работы в последующих циклах. Увеличение радиального зазора приводит к снижению КПД турбомашин (рис.2).

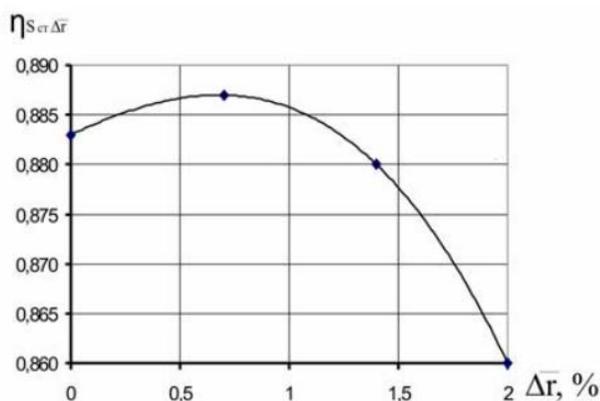


Рис. 2. Зависимость КПД ступени от радиального зазора

На рис. 3 приведена типовая картина изменения перемещений ротора и статора в полетном цикле.

В то же время величина этого зазора влияет на удельный расход топлива на крейсерских режимах полета. Исключение режима многоразового запуска-останова двигателя для БЛА при конструировании турбомашин может способствовать увеличению дальности полета за счёт минимизации (оптимизации) величины радиального зазора и соответствующего увеличения их эффективности;

- изменение режима при останове двигателя делает необходимым при проектировании учитывать знакопеременные нагрузки, действующие на элементы и детали двигателя, что в свою очередь ограничивает конструктора в выборе нетрадиционных материалов. Керамика, композиты на керамической матрице очень чувствительны к мелким трещинам, возникающим вследствие знакопеременных нагрузок (керамические опоры, элементы статора и роторы из КМ и т.д.);

- применение материалов типа С-С связано с проблемой защиты этих материалов от агрессивной среды потока газа высокой температуры. Знакопеременная нагрузка разрушает эту защиту, делая невозможным повторное использование узла двигателя;

- одноразовость использования двигателя проявляется и в конструктивной реализации таких систем двигателя, как система запуска, маслосистема, система автоматики и регулирования и т.д. с целью снижения их массы (ведутся работы по использованию консистентных или твердых смазок, что исключает маслбак и насос,

раскрутки ротора при запуске двигателя набегающим воздушным потоком или сбрасываемым в полёте одноразовым пусковым устройством и т.д.).

Перечисленные специфические особенности разработки двигателей одноразового использования характеризуют объективную ситуацию, когда направления дальнейшего совершенствования двигателей по удельным параметрам вступают в противоречие с традиционной операцией технологии серийного производства – контрольно-сдаточными испытаниями каждого экземпляра двигателя. Указанное противоречие должно решаться в направлении разработки и внедрения перспективной технологии производства двигателей для БЛА, исключающей такой традиционный метод контроля их качества, как контрольно-сдаточные испытания каждого двигателя в целом.

В случае исключения испытаний, однако, все решаемые ими задачи должны решаться другим путем. Как известно, в задачи кратковременных испытаний входят:

- проверка качества изготовления и сборки;
- приработка деталей и агрегатов;
- проверка заявленных данных и отладка двигателя с целью получения параметров рабочего процесса, соответствующих техническим условиям.

Среди перечисленных задач наиболее важной и трудоемкой является последняя, поэтому необходима методика оценки качества изготовления и сборки деталей, соответствия основных показателей работы двигателя заявленным данным, основанная на расчетных методах, поузловых испытаниях элементов и узлов, т.е. такая методика, которая расчетным путем с необходимой и достаточной точностью гарантирует контроль стабильности качества серийных ГТД для БЛА без проведения "горячих" испытаний (с использованием технологии контрольно-выборочных испытаний). Применение такой перспективной технологии позволяет реализовывать в конструкции дополнительные резервы повышения эффективности узлов, в результате которых возможно существенное улучшение удельных показателей двигателя: удельной тяги, удельного расхода топлива и удельной массы.

Возникает проблема прогнозирования характеристик двигателя расчетным путем.

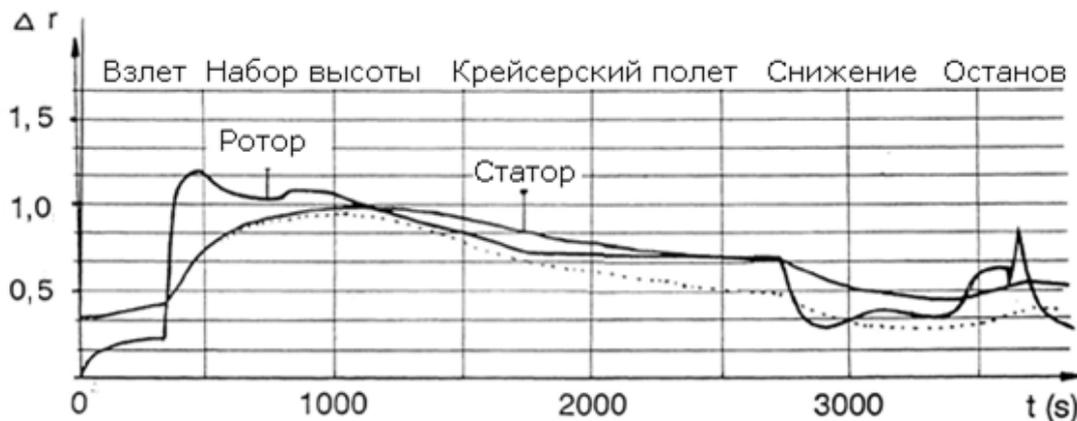


Рис. 3. Изменение перемещений ротора и статора в цикле работы двигателя

Исключение из технологического процесса производства серийных двигателей «горячих» испытаний каждого экземпляра возможно только при наличии надежной методики расчетного определения основных параметров. Основой этой методики является информационная модель изделия, содержащая необходимые сведения о комплектации узлов и деталей, результаты автономных испытаний, основных узлов, геометрические размеры изготовления и сборки и т.д. По этим данным на основании различий между информационными моделями конкретного собранного двигателя и выбранного (КВИ) базового двигателя определяются расчетным путем отличия параметров конкретного экземпляра двигателя от известных характеристик узлов базового двигателя. По найденным поправкам к характеристикам основных узлов двигателя рассчитываются поправки к основным данным двигателя и необходимость корректировки программы его регулирования, определяются основные данные собранного двигателя. Предлагаемое построение расчетной методики учитывает, что неидентичность проточных частей воздушно-газовых трактов двигателей находится в причинно-следственной взаимосвязи, прежде всего, с разбросом характеристик соответствующих узлов, а те, в свою очередь, с разбросом выходных данных двигателя в целом.

Реализация изложенного подхода потребует глубокой проработки перечня необходимых предварительных работ. Примерный перечень приведен ниже по системам и узлам одновального одноконтурного двигателя.

#### Группа 01 (компрессор):

1. Определение фактических запасов устойчивости со стендовым входом и проверка ГДУ с интерцепторами (КВИ), система которых должна подбираться под характеристики конкретного

входного устройства с учетом особенностей внешних эксплуатационных условий;

2. Балансировка ротора  $n=100\%$  (на каждом образце);

3. Испытания на комплексно-механические свойства (раскрутка лопаточных колес в разгонной камере) (КВИ);

4. Проверка рабочих лопаток на отсутствие автоколебаний (КВИ) и изменения резонансных свойств дисков и лопаток в процессе выработки ресурса;

5. Проверка герметичности стыков по всем фланцам (на каждом образце) с учетом выработки ресурса;

6. Проверка точности выполнения профилей лопаток (100%) и точности установки лопаток в лопаточных венцах статорных и роторных узлов в пределах допустимых люфтов и влияния на запасы устойчивости каждой ступени и компрессора в целом;

7. Проверка гарантийных величин зазоров между статорными и роторными узлами в условиях максимальных величин положительных и отрицательных перегрузок и учет их при расчетах утечек расхода воздуха и влияния на экономичность и удельные параметры силовой установки.

#### Группа 03 (камера сгорания):

1. Проверка топливного коллектора на производительность и равномерность распределения расхода топлива между форсунками, равномерность распределения расхода топлива на конусе распыла форсунок (на каждом), равномерность распределения расхода по контурам в эксплуатационном диапазоне расхода топлива и влияние на полноту сгорания и неравномерность температурного поля при совместной работе с распределителем топлива по контурам;

2. Удаление и проверка отсутствия посторонних частиц во внутренних полостях топливного коллектора (на каждом) прямой и обратной прокачки

кой топлива без топливных форсунок и с ними при стационарных и пульсирующих режимах с переменной частотой и с контрольной проверкой чистоты топлива на выходе жидкости;

3. Проверка на полноразмерном камерном стенде характеристик по обеспечению требуемых полей температур газа на выходе из камер сгорания в радиальном и окружном направлениях во всём диапазоне расходов топлива и при заданных характеристиках распределителя расхода топлива.

#### **Группа 04 (турбина):**

1. Обкатка рабочих лопаток с целью выявления литейного брака (на каждом);

2. Балансировка ротора (на каждом);

3. Контроль пропускной способности воздушных каналов систем охлаждения на каждой лопатке и совместно с системой подвода охлаждающего воздуха с документальной регистрацией расхода отбираемого расхода по режимам работы двигателя на каждой ступени.

#### **Группа 05 (система газоотвода и реактивное сопло):**

1. Проверка системы газоотвода по проверке минимизации гидропотерь.

2. Проверка геометрии реактивного сопла и его управления в требуемых пределах для обеспечения заданных тяговых характеристик в эксплуатационных условиях с учётом управляемого вектора тяги.

#### **Группа 09 (маслосистема)**

1. Проверка узлов, агрегатов на функционирование (на каждом):

– по производительности нагнетающей и откачивающей насосных систем;

– по проверке расходных характеристик каждой из смазывающих секций по роторным опорам и приводов агрегатов;

– по системе теплообмена и расхода рабочих жидкостей топливо-масляных агрегатов.

#### **Группа 10 (топливная автоматика)**

1. Входной контроль топливного насоса (на каждом) на стенде с обратной связью с отладкой по контурам автономно и совместно.

#### **Группа 13 (общая сборка)**

1. Прокачка трубопроводов топливо-, масляно-газовых коммуникаций с целью удаления посторонних предметов и обеспечения герметичности соединений деталей, узлов и систем двигателя (на каждом);

2. Проверка отсутствия резонансных автоколебаний трубопроводов при совпадении частот топливных или масляных колебаний с собственными частотами трубопроводов.

Приведенный перечень работ составлен с учётом многолетнего опыта отработки коротко-ресурсных ТРД (КРД) и ресурсных ТРД истребительной авиации. Была установлена необходимость проведения специальных видов безмоторных испытаний агрегатных подсистем и введения их в циклы испытаний. Так, при введении в цикл контрольных испытаний обязательных отладочных испытаний на стенде с обратной связью на одном из КРД количество запусков и время отладки запуска и переходных режимов с основной на резервную систему и обратно было сокращено более чем в 50 раз.

Ниже излагается опыт поузлового контроля собираемого двигателя на примере топливной системы двигателя, во многом определявшей необходимость, сложность и трудоёмкость приемо-сдаточных испытаний двигателя [2].

### **ОТРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БЕЗМОТОРНОМ СТЕНДЕ (ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ)**

Экспериментальное исследование агрегатов САУ и систем в целом является одним из важнейших этапов их разработки и согласования совместной работы с двигателем, такое исследование обычно проводится на специальных стендах и в составе двигателя [3].

Основной объём экспериментальных исследований выполняется до установки системы на двигатель на проливочных, климатических, электромагнитных, вибрационных и других стендах, позволяющих подтвердить работоспособность системы и провести ее сертификацию. Эти испытания сокращают объём и сроки дорогостоящих испытаний на двигателе и ЛА.

Важное место при отработке САУ занимают испытания на подтверждение заданных показателей надёжности и ресурса. При проведении стендовых испытаний решаются следующие основные задачи:

– проверка и получение характеристик САУ в соответствии с техническим заданием;

– проверка работоспособности и живучести в специальных и экстремальных условиях работы (при имитации возможных отказов и аварийных ситуаций, в том числе при воздействиях, превосходящих по параметрам условия эксплуатации);

– проверка работоспособности и надёжности при неблагоприятном сочетании конструктивных допусков и условий эксплуатации:

- настройка агрегатов для проведения дальнейших работ на двигателе;
- подтверждение надежности и ресурса;
- сертификация систем и агрегатов.

В соответствии с этими задачами стенды по назначению условно можно разделить на исследовательские (доводочные) и контрольно-сдаточные. Контрольно-сдаточные стенды предназначены для контроля качества при серийном изготовлении агрегатов и проведения их настройки на соответствие заявленным параметрам и характеристикам. Стенды для исследований в свою очередь разделяются на стенды для автономных исследований агрегатов САУ, в том числе стенды с комплексным воздействием возмущающих факторов, и многофункциональные стенды с обратной связью для испытаний систем управления в замкнутой схеме.

Стенды для автономных исследований агрегатов САУ предназначены для проведения работ, связанных с проверкой параметров (характеристик), и подтверждения надежности отдельных узлов и агрегатов на установившихся и переходных режимах их работы в разомкнутой схеме. По видам испытаний стенды можно условно разделить на следующие:

- проливочные – для испытания гидравлических агрегатов (насосов, дозаторов);
- климатические и «высотные» – для испытания агрегатов в условиях положительных и отрицательных температур внешней среды, повышенной влажности, «морского» тумана, пониженного давления (высотные условия);
- вибрационные – для испытания агрегатов в процессе функционирования при воздействии вибраций;
- комплексного воздействия – для определения эксплуатационных характеристик в соответствии с ТЗ, проверки надежности агрегатов и систем в целом при одновременном воздействии температуры, давления, вибраций.

При испытаниях определяются характеристики топливной системы и подтверждается работоспособность ее агрегатов в течение заданного времени. Весьма эффективными для выявления дефектов являются вибрационные испытания функционирующих агрегатов САУ (испытания на виброустойчивость). Воздействие синусоидальных вибраций выявляет до 30 % дефектов, а случайных вибраций за небольшое время – более 80 % дефектов. При испытании с воздействием вибраций по одной оси выявляется примерно 60...70 % дефектов, по двум осям – 70...90 %, а по трем – до 95 %.

Полунатурные стенды с обратной связью позволяют проводить исследования характеристик САУ и отдельных ее агрегатов при работе в замкнутой схеме. Это обеспечивается сопряжением аппаратуры САУ с математической моделью ГТД, работающей в реальном времени.

Основой стенда являются регулируемый по частоте вращения электропривод постоянного тока для насосов, регуляторов, датчиков и других приводных устройств и вычислительный комплекс с математической моделью двигателя, позволяющей воспроизводить его характеристики по всем регулируемым параметрам и управляющим органам. Работа стенда обеспечивается рядом технологических систем: топливной, воздушной (для высокого давления и вакуумной), масляной, водоснабжения, вентиляции, пожаротушения.

Сигналы, характеризующие изменение измеряемых в САУ параметров для регулирования и контроля, поступают из модели двигателя на преобразователи-имитаторы датчиков, на выходе которых характеристики сигналов соответствуют получаемым с датчиков САУ. Эти сигналы подаются на входы агрегатов системы управления (электронных, гидромеханических, пневматических) и на блок управления электроприводами, служащими для имитации вращения валов двигателя. От вала одного из электродвигателей вращение передается в двигательную коробку приводов, а через нее – на приводные агрегаты САУ и топливной системы, установленные на стенде.

Регуляторы двигателя на стенде, как и при работе на двигателе, взаимодействуют со всеми устройствами, входящими в САУ (преобразователями, насосами, приводами органов механизации проточной части двигателя), формируя управляющие воздействия на двигатель.

Для ввода в математическую модель двигателя сигналов, характеризующих эти воздействия, на стенде имеются преобразователи, осуществляющие необходимое преобразование и нормирование регулирующих факторов.

В комплекс стендового оборудования входят устройства для задания внешних воздействий на аппаратуру САУ (вибростенд, термобарокамера). Анализ результатов испытаний, в том числе экспресс-анализ, обеспечивает автоматизированная система сбора и обработки информации.

Необходимая точность воспроизведения характеристик двигателя с помощью стендовой математической модели составляет 1...3 % на установившихся режимах работы и 6...7 % – на переходных [4].

На безмоторных стендах агрегаты САУ могут устанавливаться в двух вариантах:

– путем полного воспроизведения компоновки агрегатов на двигателе (для этого может использоваться двигатель-имитатор, привод валов которого осуществляется через редуктор от электроприводов стенда);

– с установкой испытуемого топливного насос-регулятора на технологическую стендовую коробку для его привода от стендового электродвигателя.

Недостатком первой схемы является необходимость применения стендовых электродвигателей очень больших мощностей (особенно при сохранении «облопаченных» роторов), что приводит к необходимости разработки специализированных мощных нестандартных высококачественных преобразователей для выполнения схем управления с обратной связью. При этом в схемах управления необходимо компенсировать большие инерционности массивных роторов электродвигателя, а затем формировать математическое описание исследуемого двигателя во всем диапазоне требуемых режимов системой нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений для БПЛА с учетом режимов запуска и авторотации.

Вторая схема существенно упрощает реализацию задачи в части привода топливо-регулирующих агрегатов, так как мощность электродвигателя на привод только топливного насоса значительно ниже, что облегчает решение задачи компенсации инерционности привода. Установка механической передачи от электропривода к испытуемому насосу повышает универсальность привода обеспечением возможности замены элемента передачи с изменением коэффициента передачи. Реализация предлагаемой схемы позволяет проводить испытания с использованием воздействий на различные элементы управления двигателя в широком диапазоне режимов как по входным условиям и возмущениям, так и по режимам двигателя.

#### **ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА СТЕНДА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ САУ ОДНОВАЛЬНОГО ГТД КАК ЭЛЕМЕНТА СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ БЛА**

Принципиальной особенностью стендов с обратной связью является необходимость полной компенсации инерционности маховых масс ротора(ов) силовых электро-приводов и других элементов систем стенда, описываемых диффе-

ренциальными уравнениями и влияющих на математическое описание, а следовательно, и устойчивость системы в целом. Наиболее сложным является компенсация инерционности ротора электропривода, как наиболее энергоемкого и требующего применения специальных тиристорных преобразователей.

Компенсацию инерционности ротора электропривода целесообразно проводить через воздействие на управляющий сигнал, сформированный в электронной модели двигателя, включением дополнительных последовательно-параллельных звеньев с обратными передаточными (со степенью  $-1,0$ ) функциями, которые должны компенсировать влияние инерционности привода. При анализе характеристик электропривода необходимо выявить наличие нелинейных факторов в матописании, которые учитываются при формировании компенсирующих передаточных функций.

На рис. 4 представлена принципиальная схема с обратной связью, на которой показано взаимодействие внутренних и внешних элементов стенда с обратной связью. В состав структуры стенда включаются как реальные испытуемые агрегаты топливной автоматики, так и элементы, моделирующие функциональные связи реальных каналов регулирования подачи топлива в соответствии с заданными алгоритмами.

Целью стендовых испытаний САУ при доводке или предъявлении двигателя заказчику являются проверка и подтверждение ее работоспособности, функциональных характеристик и управляемости двигателя в требуемом диапазоне условий эксплуатации и режимов работы двигателя. Система автоматического управления считается работоспособной, если выполняет заданные в ТЗ функции с требуемыми показателями (по точности, длительности переходных режимов, диапазону изменения параметров и др.) на всех режимах работы двигателя во всех условиях эксплуатации.

Система автоматического управления считается выдержавшей испытания по оценке ее работоспособности и управляемости двигателя в случае, когда отклонения регулируемых параметров на установившихся режимах, а также параметры переходных процессов, полученные в результате испытаний, не выходят за пределы допусков, указанных в нормативно-технической документации (ТЗ на САУ и ТТЗ на двигатель), и не являются отказы, приводящие к потере ее работоспособности.

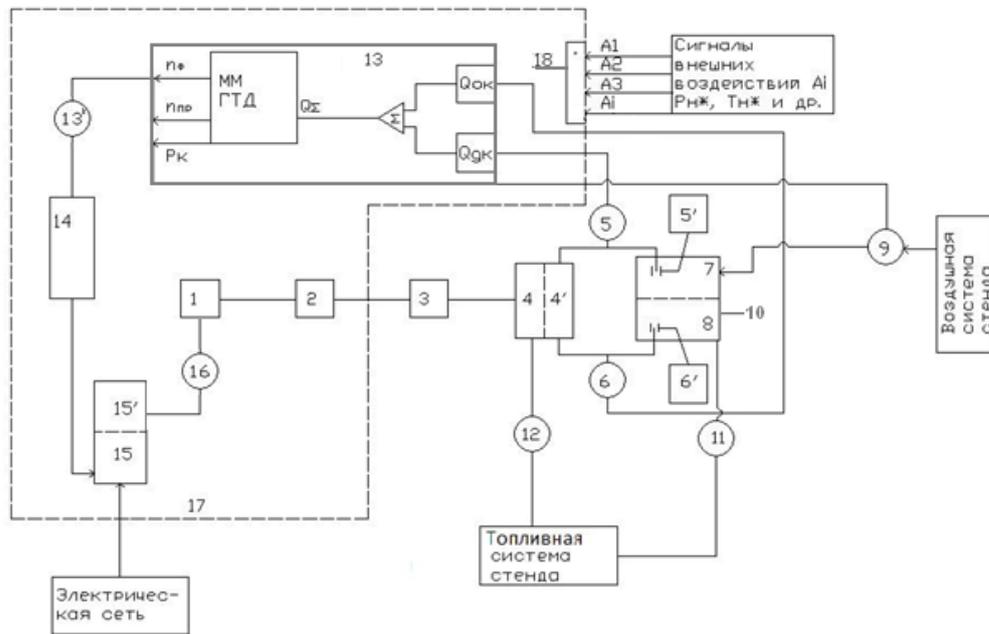


Рис. 4. Схема полунатурного стенда с обратной связью по параметрам электронной модели

1 – Электродвигатель привода коробки приводов;  
 2 – Стендовый редуктор (мультипликатор);  
 3 – Моторная (двигательная) коробка приводов топливного насоса-регулятора и других агрегатов (по необходимости);  
 4 – Топливный насос-регулятор с дозирующей иг-лой и распределителем топлива (РТ) по коллекторам;  
 4' – Распределитель топлива (РТ)  
 5 – Измеритель давления топлива в дополнительном контуре (коллекторе) и преобразователь в электрический сигнал для ввода в электронную модель двигателя;  
 6 – Измеритель давления топлива в основном контуре (коллекторе) и преобразователь в электрический сигнал для ввода в электронную модель двигателя;  
 5', 6' – Топливные жиклеры, эквивалентные сечениям дополнительного (5) и основного (6) контуров (или натурный топливный коллектор).  
 7, 8 – Камеры с вводом топлива дополнительного и основного контуров через эквивалентные жиклеры (или натурный коллектор) с противодействием воздуха, эквивалентного камере сгорания;  
 9 – Преобразователь электрического сигнала давления воздуха за компрессором из электронной модели двигателя в воздушное давление противодействия за коллекторы в имитаторе камеры сгорания и ОС в топливный насос-регулятор;

10 – Камера имитатора камеры сгорания;  
 11 – Управляемый слив топлива из имитатора камеры сгорания;  
 12 – Измеритель расхода топлива на входе в топливный насос с электрическим выходом давления ввода в модель двигателя (установившиеся режимы);  
 13 – ЭВК – электронный вычислительный комплекс формирования электронной модели двигателя и формирования сигнала обратной связи на физические параметры;  
 13' – Сигнал управления из математической модели обратной связи по частоте вращения;  
 14 – Блок компенсации инерционных погрешностей от динамических характеристик электропривода (1) и тиристорного преобразователя (15);  
 15 – Блок управления силовым тиристорным преобразователем электропитания электропривода для формирования частоты вращения насоса-регулятора с учетом характеристик привода и системы силового питания;  
 15' – Силовой блок тиристорного преобразователя питания электропривода;  
 16 – Сигнал изменения силового питания электроприводом;  
 17 – Комплексный блок полунатурного моделирования ГТД с приводом топливного насоса-регулятора и обратной связью по физическому расходу топлива и физической частоте вращения;

**18** – Шина приема внешних воздействий и формирования масштабированных сигналов на внутренние сигналы по элементам подсистем (ММ, блок управления силовым преобразователем и т.д.)

Причинами отказов являются воздействие температуры, вибраций и влажности, а по месту проявления отказов – разъемы, электронные комплектующие элементы и паяные соединения.

В ходе конструирования, изготовления и испытаний элементов САУ не удастся избежать конструкторских и технологических ошибок и брака в производстве, которые характеризуют конструкторский, технологический и производственный уровень разработчика и предприятия-изготовителя. Испытания позволяют в упреждающем темпе определять и устранять конструктивные и технологические дефекты элементов топливной системы и САУ в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новый** скачок в технологии авиационных двигателей // РЖ: Авиационные и ракетные двигатели, 1991, № 9. [New leap in aircraft engines technology.]
2. **Алаторцев В. П., Горюнов И. М., Гумеров Х. С.** Определение основных данных двигателя без «горячих» испытаний // Научно-технический отчет. Тема № 1-38-89, УГАТУ, Уфа, 1992. [V. P. Alatorcev, I. M. Gorunov, H. S. Gumerov. Main engine data calculation without hot tests, USA-TU, Ufa, 1992]
3. **Гуревич О. С.** Системы автоматического управления авиационными ГТД: Энциклопедический справочник. М.: Торус Пресс, 2011. [O. S. Gurevich, Turbojet engine automatical control systems. M.: Torus press, 2011. ]
4. **Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г., Кузнецов В. А., Кутин А. А., Шолом А. М.** Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М., Логос, 2003, 736. [Theoretical foundations of testing and experimental treatment. M., Logos, 2003, 736]

#### ОБ АВТОРАХ

**АХМЕТОВ Юрий Мавлютович**, доц. каф. прикл. гидромех., зам.ген. дир. НИИТ. Дипл. инж. (УАИ, 1959). Канд. Техн. наук по тепл. двиг. и системам управления газотурбинных двигателей (МАИ 1978). Иссл. в обл. газогидродин. течений и систем управления энерг. установок.

**ГУМЕРОВ Сагит Сагитович**, асп.. каф. АД. Магистр техники и технологии производства АД и ЭУ. Готовит дисс. по технологии производства двигателей БПЛА. Иссл. в обл. рабочих процессов двигателей.

#### METADATA

**Title:** The specificity of the production **technology** of engines single use.

**Authors:** Y. M. Akhmetov<sup>1</sup>, S. S. Gumerov<sup>2</sup>.

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:**<sup>1</sup> aum37@yandex.ru,<sup>2</sup> ssmagic89@gmail.com

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 1 (71), pp. 54–61, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** Prospects of development of aerospace technologies suggest the need for mass production of unmanned aerial vehicles (UAV) for various purposes. One of the most important requirements for UAVs due to their mass use will be the availability of production technology, low cost of production and operation. The work substantiates the approach to the production of engine UAV with a one-time Assembly, without hot tests.

**Key words:** UAV turbojet engine, self-contained test units.

#### About authors:

**AKHMETOV, Yuriy Mavlutovich.** Docent, DEP. PGM. Dipl. engineer (UAI, 1959). Ph. D. in engine control systems. (MAU1978). Research in the field of dynamic processes of the engine.

**GUMEROV, Sagit Sagitovich.** Graduate student. Dep. AE. Master of engineering and technology for the production of AD and EC. Preparing a thesis on the production technology of UAV engines. Engine workflow.