

УДК 621.431.75

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТВВД И ПОСТРОЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА СТЕНДЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2011 Г. И. Погорелов<sup>1</sup>, И. А. Кривошеев<sup>2</sup>, А. Г. Годованюк<sup>2</sup>,  
О. Е. Данилин<sup>2</sup>, Б. И. Бадамшин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО УНПП «Молния»,

<sup>2</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет

Предложены методика линейной интерполяции многомерных характеристик винтовентилятора, использующейся при моделировании работы ТВВД во всем диапазоне эксплуатации и подход к созданию подсистемы оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива в составе системы управления с целью уменьшения вредных выбросов и затрат на испытания ТВВД. Предложенные методы учитывают требования к математическим моделям, используемым при полунатурном моделировании - простота, обеспечение достаточной точности результата, работа и функционирование модели двигателя в режиме реального времени.

*Эквивалентный удельный расход топлива, оптимизация, интерполяция многомерной аэродинамической характеристики ВВ, ММ ТВВД, стенд полунатурного моделирования.*

### Постановка задачи

Проблема топливной эффективности и вытекающие отсюда проблемы экономичности и экологичности являются актуальными для современных летательных аппаратов. Предлагается метод оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива турбовинтовентиляторного двигателя (ТВВД).

Математическая модель (ММ) ТВВД используется на стенде полунатурного моделирования (СПМ) [1, 2, 3], позволяющем проводить полную проверку всех функциональных характеристик разрабатываемых систем управления авиационных двигателей с замкнутыми каналами. Полунатурные исследования при высокой информативности намного экономичнее, чем испытания реального объекта, поэтому они составляют основную часть отработки двигателя, САУ и других его систем посредством имитации их поведения во всех возможных режимах эксплуатации.

### Объект управления

Реализованная математическая модель ТВВД – кусочно-линейная динамическая. В базовой математической модели моделирование возможных режимов работы двигателя для всех условий полета производится по уравнениям вида

$$\dot{\bar{X}} = f(\bar{X}, \bar{V}, \bar{U}),$$

$$\bar{Y} = \phi(\bar{X}, \bar{V}, \bar{U}),$$

где  $\bar{X} = [n_1, \dots, n_i]$  – вектор переменных состояния;  $\bar{V} = [M, H, N_{п.у}, N_{отб} \dots]$  – вектор управляющих и внешних воздействий;  $\bar{U} = [G_{топл}, \alpha_{н.а}, G_{отб}, F_{р.с}, \dots]$  – вектор управления;  $f, \phi$  – нелинейные операторы;  $\bar{Y}$  – вектор отклонений параметров объекта, не связанных с динамическими факторами.

Модели гидромеханической части (ГМЧ) автоматики двигателя – линейные с учетом существенных нелинейностей в виде нелинейных звеньев.

При моделировании работы ТВВД на СПМ также учитывается многомерная аэродинамическая характеристика (АДХ) винтовентилятора (ВВ). ММ ВВ используется для определения тяговых характеристик ВВ при различных углах установки лопастей, скоростях и высотах полета, мощности свободной турбины, а также на различных режимах работы (режимы прямой тяги, режим реверс).

Модель сервопривода лопастей ВВ также носит нелинейный характер; моделирование процессов флюгерования (перевод лопастей в положение минимального сопротивления полету), «расфлюгерования» (вывод из флюгерного положения) и «затяжеления» (увеличения угла установки лопасти

системой управления ВВ) ВВ сведены к изменению углов установки лопастей с постоянной скоростью по наличию дискретных команд.

Из-за слабого влияния движителя на динамические свойства двигателя целесообразно проведена декомпозиция математической модели ТВВД [4, 5] на математическую модель двигателя (газогенератора) и математическую модель ВВ, связанных между собой через мощность на валу свободной турбины (турбины винтовентиляторов)  $N_{СТ}$ . Декомпозиция модели ТВВД на модели газогенератора (ГГ) и ВВ приведена на рис. 1.

Реализованные ММ двигателя, ГМЧ, сервопривода лопастей ВВ и ВВ, с использованием предложенного метода интерполяции аэродинамической характеристики (АДХ) соосного ВВ [1], устойчиво работают в режиме реального времени. Также ММ ВВ стабильно работает при любых

возмущениях (изменение  $M$  и высоты полета, подачи топлива); при шаге  $1...10$  мс; частоты вращения ВВ выходят на статические режимы должным образом по завершению любых неустановившихся режимов. Погрешность определения суммарной тяги ВВ на режимах прямой тяги уменьшена в 2 раза (табл. 1) по сравнению с действующей методикой интерполяции.

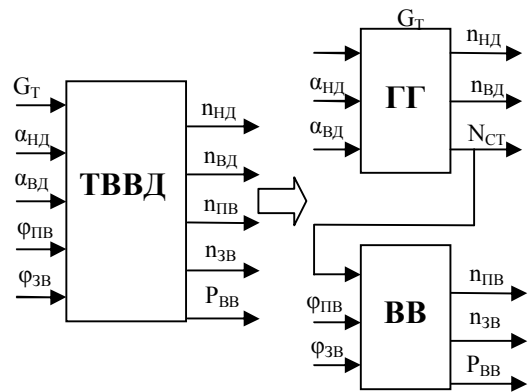


Рис. 1. Декомпозиция модели ТВВД на модели ГГ и ВВ

Таблица 1. Сопоставленные результаты испытаний, результаты расчета ММ с использованием АДХ ВВ по предложенной методике и действующей методике

$$(p_H = 743 \text{ мм рт.ст.}, t_H = -2^\circ\text{C}, n_{ПВ} = n_{ЗВ})$$

Скорость самолета на ВПП, [км/ч]	Сопоставленные данные	Скорость самолета на ВПП, [км/ч]	Сопоставленные данные
105		138	
120		195	

Основными регулирующими параметрами ТВВД являются величина расхода топлива в камеру сгорания  $G_T$ , положения лопаток направляющих аппаратов компрессоров низкого и высокого давления

$\alpha_{HD}$  и  $\alpha_{VD}$  и углы установки лопастей переднего и заднего винтов ВВ  $\phi_{PV}$ ,  $\phi_{ZV}$ . Выходными величинами рассматриваемой модели ТВВД являются частоты вращения валов компрессоров низкого и высокого давле-

ния  $n_{HD}$ ,  $n_{ВД}$ , частоты вращения переднего  $n_{ПВ}$  и заднего  $n_{ЗВ}$  винтов ВВ и тяга ВВ  $P_{ВВ}$ .

С целью уменьшения размерности уравнений математической модели газогенератора из всех регулирующих параметров двигателя рассматривается только величина расхода топлива  $G_T$  как параметр, непосредственно определяющий режим работы газогенератора [6, 7].

Предполагается, что остальные регулирующие параметры изменяются по программам регулирования с помощью регуляторов, которые не оказывают существенного влияния на статические и динамические характеристики двигателя. При решении задач синтеза и анализа САУ ТВВД наиболее предпочтительным с точки зрения использования вычислительных ресурсов является применение упрощенных математических моделей объекта управления, описывающих характеристики ТВВД в виде линейных динамических моделей с основными нелинейностями.

#### Постановка задачи оптимизации

С целью решения задачи оптимизации удельного расхода топлива ТВВД в его САУ вводится подсистема оптимизации - блок оптимизации (БО) [11]. Задача БО заключается в снижении эквивалентного удельного расхода топлива  $C_3$  при постоянной тяге  $P$  за счет корректировки значений частот вращения переднего  $n_{ПВ}$  и заднего  $n_{ЗВ}$  винтов ВВ и углов установки направляющих аппаратов (НА) компрессора низкого давления (КНД)  $\alpha_{HD}$  и компрессора высокого давления (КВД)  $\alpha_{ВД}$ .

Поставленная цель достигается при решении следующих задач:

- 1) разработка алгоритма оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива ТВВД;
- 2) разработка структуры подсистемы оптимизации САУ ТВВД;
- 3) разработка метода оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива ТВВД на основе генетических алгоритмов и нейронных сетей.

#### Метод оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива

В отличие от метода, предложенного в [8], снижение расхода топлива достигается за счет оптимизации программы регулирования частот вращения винтов ВВ и за счет изменения углов установки НА КНД и КВД. Используется двухэтапный метод оптимизации с применением интеллектуальных методов управления. Блок-схема этапов оптимизации приведена на рис. 2.

На первом этапе алгоритм оптимизации работает с математической моделью ТВВД. В качестве алгоритма оптимизации на первом этапе используется метод генетических алгоритмов (ГА). Его преимущество над другими методами оптимизации заключается в том, что он работает непосредственно с целевой функцией, а не с ее производной, позволяет находить глобальный экстремум, обеспечивает оптимальное время поиска решения многопараметрических задач оптимизации, не ограничивает количество варьируемых параметров целевой функции, то есть существует возможность расширения состава управляющих величин [9].

На втором этапе оптимизации используется нейронная сеть (НС). В результате работы первого этапа оптимизации формируется обучающая выборка, содержащая значения частот вращения винтов винтовентилятора и углов установки НА для различных условий полета - число  $M$  полета, высота полета, заданная тяга  $P_{ж}$ , при которых достигается минимальный эквивалентный удельный расход топлива  $C_3$ . По этим данным производится обучение нейросетевой модели подсистемы оптимизации. Преимущества использования НС: она способна интерполировать и находить решение между точками обучения; все вычисления в сети производятся параллельно и поиск решения с помощью обученной НС занимает одну итерацию (при использовании НС прямого распространения).

Перед началом эксплуатации подсистемы оптимизации на конкретном ЛА производится сбор полетных данных для двигательной установки (ДУ) во время полета ЛА на различных стационарных режимах. Далее производится считывание накопленной во

время полета информации, осуществляется подстройка ММ ТВВД по полученным полетным данным. Затем осуществляется первый этап оптимизации, обучение НС для подсистемы оптимизации и включение ее в состав САУ ТВВД, обновление про-

граммного обеспечения электронной системы управления (ЭСУ) ДУ, запись переобученной НС подсистемы оптимизации. Далее осуществляется второй этап оптимизации - эксплуатация подсистемы оптимизации в составе САУ ТВВД в полете.

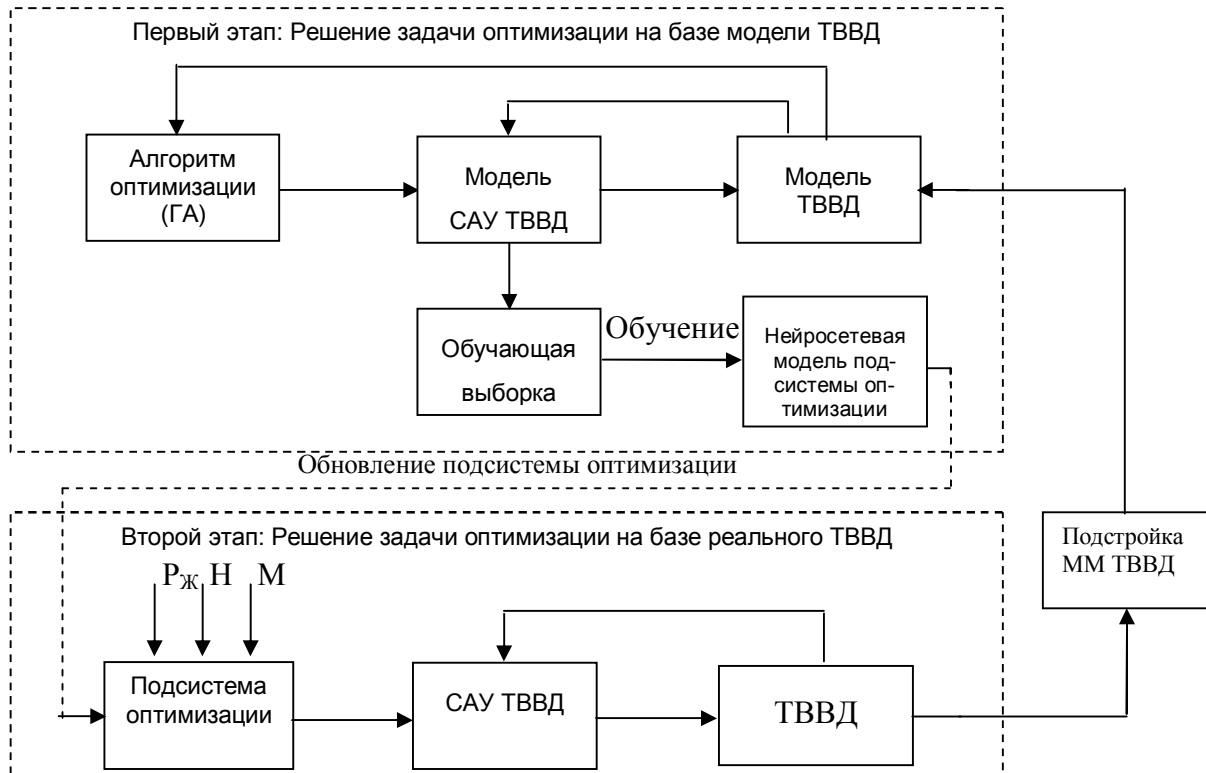


Рис. 2. Структурная схема этапов оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива ТВВД

Подстройка подобной модели ТВВД должна проводиться с определенной периодичностью. Так как данные управляющие параметры получены на базе модели, которая корректируется в соответствии с характеристиками конкретного двигателя, то предлагаемый метод оптимизации можно отнести к комбинированному способу, то есть включающему в себя как пассивную, так и активную оптимизацию [10].

**Решение задачи оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива на базе генетических алгоритмов**

Целевая функция задачи оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива ТВВД  $C_9$  задана в следующем виде:

$$C_9 = f(n_{ПВ}, n_{ЗВ}, \alpha_{НД}, \alpha_{ВД})$$

при  $P = \text{const}, \Delta K_y < 20\%$ ,

где  $n_{ПВ}$  – частота вращения переднего винта,  $n_{ЗВ}$  – частота вращения заднего винта,  $\alpha_{НД}$  – угол установки ВНА КВД,  $\alpha_{ВД}$  – угол установки ВНА КВД,  $P$  – тяга двигателя,  $\Delta K_y$  – коэффициент запаса устойчивости компрессора. Значение  $\Delta K_y$  должно быть меньше 20%, так как это предельная величина запаса устойчивости компрессора для двигателей транспортной авиации.

Главное отличие данной функции пригодности от той, что приведена в работе [8]: добавлены аргументы  $\alpha_{ВД}, \alpha_{НД}$  - углы направляющих аппаратов высокого давления и низкого давления соответственно. То есть размерность задачи оптимизации увеличена в два раза.

Целевая функция задана неявно, так как достаточно трудно учесть все параметры, влияющие на расход топлива. Поэтому ре-

шения (значения  $n_{ПВ}$ ,  $n_{ЗВ}$ ,  $\alpha_{ВД}$ ,  $\alpha_{НД}$ ) каждый раз должны проверяться на модели ТВВД, если речь идет о первом этапе оптимизации, или на реальном двигателе в полете. Неявное задание целевой функции означает, что в алгоритме оптимизации не будет использоваться алгебраическое выражение функции, так как полное описание всех параметров, влияющих на расход топлива ТВВД, приведет к сложному и громоздкому алгебраическому выражению, на расчет которого потребуется недопустимое количество машинного времени. Поэтому оптимальным вариантом для отладки алгоритма оптимизации является использование математической модели ТВВД, в которой каждое решение будет просчитываться столько же времени, сколько реальный двигатель будет реагировать на подачу со стороны ЭСУ управляющих сигналов для регулятора соосных винтов, который, в свою очередь, устанавливает углы положения лопастей винта. Из-за изменения угла установки лопастей изменяются частоты вращения винтов, а соответственно и тяга двигателя. ЭСУ отслеживает реальную тягу двигателя и регулирует ее изменением расхода топлива. Таким образом, влияя на

углы установки лопастей, а следовательно и на частоты вращения винтов, мы влияем на расход топлива.

Перед запуском алгоритма задаются входные параметры [11]:

- режим полета и соответствующие режиму полета  $P_{ж}$  – заданная тяга, высота полета  $H$ , число  $M$  полета;
- предельные значения частот вращения переднего и заднего винтов;
- предельные значения углов установки направляющих аппаратов;
- вероятности скрещивания и мутации.

Далее генерируется начальная популяция особей. Особь представляет собой четыре хромосомы, каждая из которых определяет один из четырех параметров: значения частоты вращения переднего и заднего винтов и углы установки направляющих аппаратов компрессоров низкого и высокого давления. Структура особи приведена на рис. 3.

После генерации начальной популяции выполняется расчет функции пригодности. Так как функции пригодности в явном виде не существует, ее значение (эквивалентный удельный расход топлива  $C_9$ ) вычисляется по модели ТВВД.

$n_{ПВ}$				$n_{ЗВ}$				$\alpha_{НД}$				$\alpha_{ВД}$			
0	1	...	14 15	0	1	...	14 15	0	1	...	14 15	0	1	...	14 15

Рис. 3. Структура особи

### Синтез имитационной модели САУ ТВВД

Для анализа работы алгоритма оптимизации удельного расхода топлива необходима имитационная модель САУ ТВВД.

Имитационная модель САУ ТВВД состоит из неизменяемой части – ГГ и ВВ и изменяемой – регуляторы, входящие в состав ЭСУ.

Более подробно структура синтезированной САУ ТВВД совместно с подсистемой оптимизации (БО) показана на рис. 4, где  $\alpha$  РУД – угол установки ручки управления двигателем (РУД),  $\psi_{ШДПВ}$ ,  $\psi_{ШДЗВ}$  – сигналы управления шаговыми двигателями переднего и заднего винтов ВВ, которые входят в состав регулятора соосного

винтовентилятора (РСВ),  $I_{ВД}$ ,  $I_{НД}$  – сигналы управления регулятором направляющих аппаратов (РНА),  $G'_T$  – заданный расход топлива, разница между заданным и фактическим расходом топлива является управляющей величиной для насоса-регулятора (НР) [11].

Подсистему оптимизации можно рассматривать как источник внешнего воздействия на САУ, который вносит возмущения путем изменения частот вращения винтов ВВ и углов установки НА. Изменение частот вращений винтов ВВ и углов установки НА ведет к колебательным процессам в САУ на время переходного процесса, поэтому быстрое действие системы и запас устойчивости во

многим определяются регуляторами частот вращения винтов и углов установки НА. На вход подсистемы оптимизации поступают три сигнала: заданная тяга  $P_{ж}$ , высота  $H$  и число  $M$  полета, на выходе выдаются значения: частот вращения вентиляторов  $n'_{ПВ}$ ,  $n'_{ЗВ}$  и углов установки НА  $\alpha'_{НД}$  и  $\alpha'_{ВД}$ ,

при которых достигается минимальный удельный расход топлива для текущих условий полета. Полученные значения сигналов  $n'_{ПВ}$ ,  $n'_{ЗВ}$  и  $\alpha'_{НД}$ ,  $\alpha'_{ВД}$  поддерживаются на заданном уровне с помощью регуляторов.

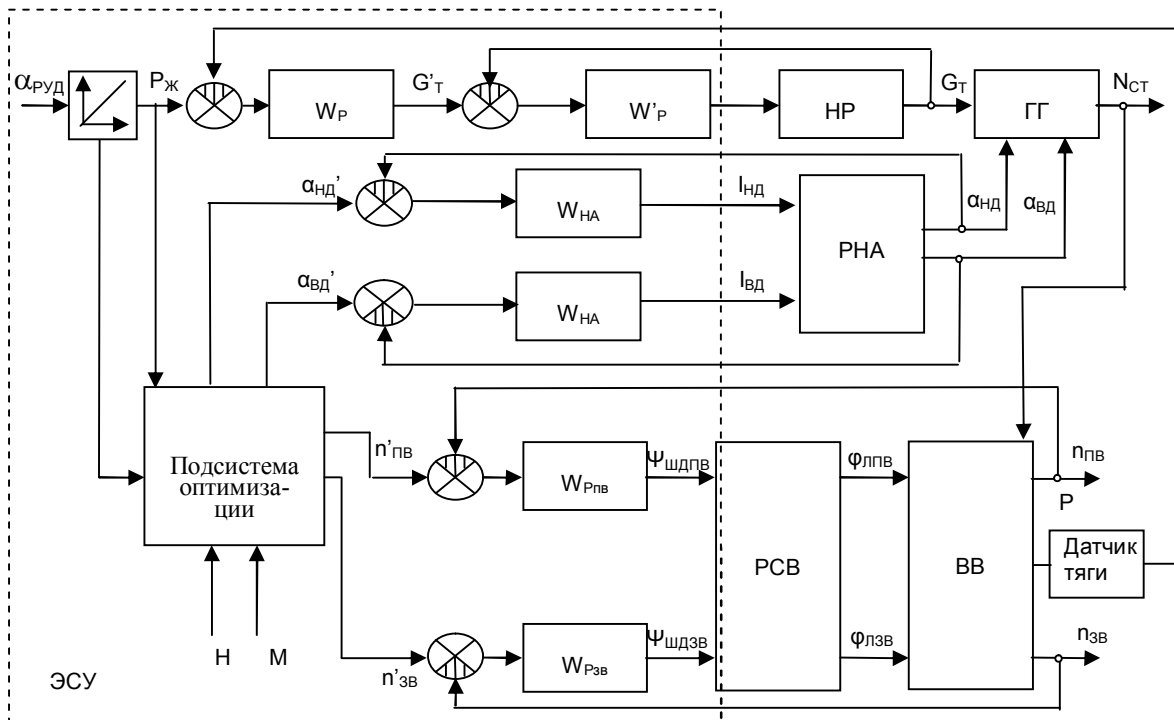


Рис. 4. Структура САУ ТВВД совместно с подсистемой оптимизации

**Результаты анализа работы двухэтапного метода оптимизации эквивалентного удельного расхода топлива ТВВД**

В процессе анализа работы имитационной модели совместно с подсистемой оптимизации, реализующей метод ГА, был проведен ряд исследований. Целью иссле-

дований являлась оценка эффективности использования ГА в составе имитационной модели САУ ТВВД. В процессе исследования производилась оценка среднего числа поколений, необходимого для поиска оптимального решения, оценка оптимального соотношения вероятностей скрещивания и мутации [11].

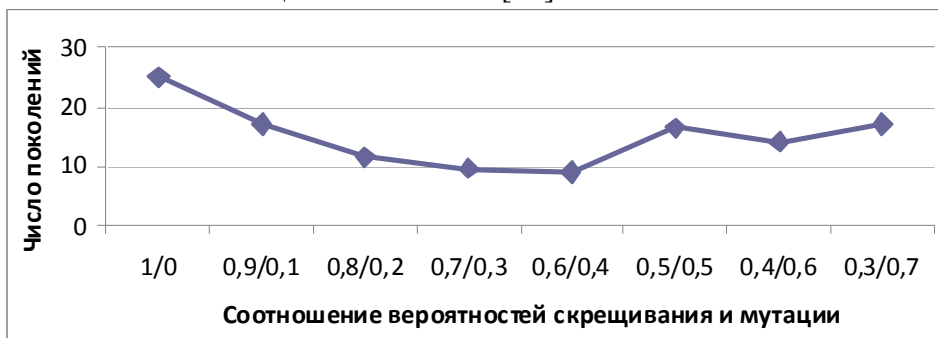


Рис. 5. Зависимость числа поколений (скорость работы алгоритма оптимизации) от соотношения вероятностей скрещивания и мутации

Для поиска оптимального значения удельного расхода топлива программе мо-

делирования потребовалось в среднем 10 поколений, экономия топлива при этом соста-

вила 5,5%. При этом была выбрана вероятность скрещивания 0,6, вероятность мутации 0,4. Каждое поколение состоит из 10 особей, то есть решений. На проверку одного решения требовалось порядка 10 секунд – это время включает в себя учет инерционности самого ТВВД, а также время переходных процессов в САУ ТВВД. Таким образом, на поиск оптимального значения удельного расхода топлива требуется перебрать в среднем 110 решений,

на что уйдет около 1100 секунд (~18 минут). Эксперимент проводился на ПК типа Core 2 Duo, 1Гб ОЗУ.

На рис. 5 приведена зависимость числа поколений  $p$ , которое потребовалось для поиска минимального значения расхода топлива  $C_3$ , при различных соотношениях вероятностей скрещивания и мутации  $P_{kr}/P_{mut}$  [11].

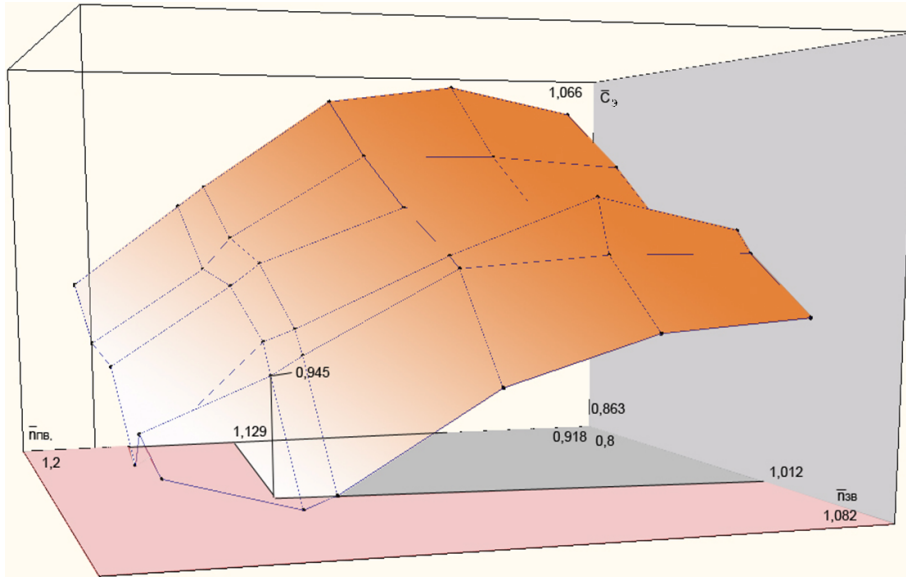


Рис. 6. Зависимость относительного эквивалентного расхода топлива ТВВД от частот вращения винтов ВВ

При анализе характера изменения эквивалентного удельного расхода топлива  $C_3$  (рис. 6) в зависимости от изменения относительных частот вращения винтов для крейсерского режима полета ( $H=11$  км,  $M_{II}=0,7$ ) видно, что наименьший расход топлива при постоянной тяге получается при увеличении частоты вращения переднего и заднего винтов ВВ относительно штатных настроек [11].

Минимальный относительный эквивалентный удельный расход топлива составил 0,945, что на 5,5 % ниже номинального расхода топлива при штатных настройках частот вращения винтов ВВ.

При исследовании влияния углов направляющих аппаратов рассматривается крейсерский режим высоты полета  $H=11$  км,  $M_{II}=0,7$ , мощность свободной турбины  $N_{CT} = const$ . Частоты вращения винтов ВВ, при которых достигается оптимальный

расход топлива, установлены, тяга постоянная. Изменяется угол установки входного направляющего аппарата (ВНА) только для КНД.

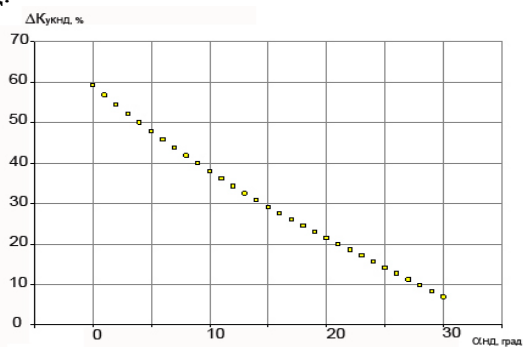


Рис. 7. Зависимость запаса устойчивости КНД  $\Delta K_{y, КНД}$  от угла установки ВНА

С увеличением угла установки входного направляющего аппарата КНД расход воздуха увеличивается, что ведет к снижению частоты вращения ротора КНД. Угол установки ВНА компрессора высокого давления (КВД) практически не влияет на рас-

ход топлива и устойчивость компрессора, так как расход воздуха определяется входным сечением КНД.

При  $N_{ст} = \text{const}$  в результате увеличения расхода воздуха и снижения частот вращения роторов КНД и КВД температура газов падает.

С увеличением,  $\alpha_{НД}$  ( $\alpha_{ВД} = \text{const}$ ) запас устойчивости КНД  $\Delta K_{у\text{КНД}}$  снижается до некоторого предельного значения (~20% для двигателей транспортной авиации) – рис. 7. Это определяет диапазон изменения угла ВНА КНД от  $0^\circ$  до  $21^\circ$ . При этом запас устойчивости КВД растет [11].

Зависимость относительной величины удельного расхода топлива  $\bar{C}_3$  от угла установки ВНА приведена на рис. 8. Таким образом, с увеличением угла установки ВНА КНД увеличивается расход воздуха, что приводит к снижению частот вращения роторов КНД и КВД, что, в свою очередь, ведет к снижению температуры газов, из чего следует, что удельный расход топлива падает. Минимальное значение  $\bar{C}_3$  достигается при  $\alpha_{НД} = 25^\circ$ , но поскольку диапазон изменения угла ограничен на  $21^\circ$ , минимальный допустимый удельный расход топлива составляет  $\bar{C}_3 = 0,946$ .

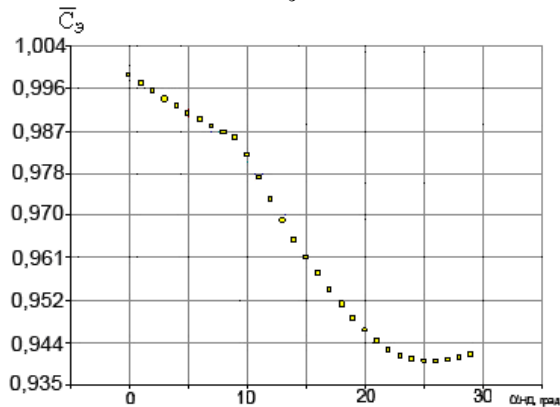


Рис. 8. Зависимость относительного эквивалентного удельного расхода топлива от угла установки ВНА

Относительная экономия удельного расхода топлива по сравнению со штатным режимом ( $\bar{C}_3 = 1$ ,  $\alpha_{НД} = 0^\circ$ ) составляет 5,4% [11].

### Заключение

Таким образом, по результатам моделирования было установлено, что используя предложенную методику интерполяции многомерных АДХ ВВ [1], позволяющую уменьшить погрешность определения тяги на режимах прямой тяги при моделировании, и предложенный метод оптимизации, за счет частот вращения винтов ВВ достигается снижение удельного расхода топлива на 5,5%, а за счет ВНА КНД достигается снижение удельного расхода топлива на 5,4% по сравнению со штатными установками для крейсерского режима полета [11].

Разработана структура подсистемы оптимизации, которая введена в состав базовой САУ ТВВД на программном уровне, без внесения изменений в аппаратную часть.

### Библиографический список

1. Методика представления и использования многомерной характеристики винтовентилятора при полунатурном моделировании ГТД и его САУ [Текст] / И.А. Кривошеев, Г.И. Погорелов, В.С. Фатиков [и др.] // Изв. вузов. Авиационная техника – Казань: КГТУ, 2010.- №1. - С. 37 - 40.
2. Комплекс информационного и полунатурного моделирования для исследования систем автоматического управления и контроля многодвигательных силовых установок при их эксплуатации по состоянию [Текст] / В.С. Фатиков, Г.И. Погорелов, И.И. Минаев [и др.] // Авиационно-космическая техника и технология - 2005.-№ 2.- С. 155-160.
3. Методология полунатурного комплексного функционального моделирования ГТД и его систем [Текст] / Г.Г. Куликов, В.Ю. Арьков, В.С. Фатиков [и др.] // Вестн. УГАТУ.- Уфа, 2009. -Т. 13. -№ 2 (35). -С. 88–95.
4. Синяков, А.Н. Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками: учебник для студентов высших технических учебных заведений [Текст] / А.Н. Синяков, Ф.А. Шаймарданов — М.: Машиностроение, 1991. — 320 с.
5. Теория автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов. Управление ВРД [Текст] / Ю.С. Белкин



[и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.А. Шевякова. - М.: Машиностроение, 1976. - 344 с.

6. Куликов, Г.Г. Динамические модели авиационных газотурбинных двигателей для создания и эксплуатации систем управления [Текст] / Г.Г. Куликов // Вестн. УГАТУ.- Уфа, 2000.-№2. - С. 157-165.

7. Системный анализ и организация интегрированного управления самолетом с турбовинто-вентиляторными двигателями при посадке на короткие площадки [Текст] / Г.Г. Куликов, П.С. Котенко, В.С. Фатиков [и др.] // Вестн. УГАТУ.- Уфа, 2008. - Т. 10. - №2 (27). - С. 12–19.

8. Лянцев, О.Д. Цифровые многосвязные САУ ГТД, оптимальные по удельному расходу топлива [Текст] / О.Д. Лянцев – Уфа: Науч. изд-во «Башкирская энциклопедия», 2001. - 98с.

9. Рутковская, Д. Нейронные сети, гене-

тические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. - 452с.

10. Гайсинский, С.Я. К выбору законов оптимизации режимов работы ТВВД [Текст] / С.Я. Гайсинский, И.В. Караваев; под ред. Ф.Н. Олифирова // Автоматическое регулирование двигателей летательных аппаратов: тр. ЦИАМ.-1990.- № 1263. – Вып. 26. - С.40-50.

11. Гусев, Ю.М. Решение задачи оптимизации удельного расхода топлива ТВВД на основе интеллектуальных методов управления и анализ полученных результатов [Текст] / Ю.М. Гусев, О.Е. Данилин, Б.И. Бадамшин // Вестн. УГАТУ.- Уфа.- 2010.- Т. 14. - № 2 (37). - С. 136–145.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

## TURBOPROFAN JET MODELING AND EQUIVALENT SPECIFIC FUEL CONSUMPTION OPTIMIZATION SUBSYSTEM CONSTRUCTION ON THE SEMINATURAL MODELLING STAND

© 2011 G. I. Pogorelov<sup>1</sup>, I. A. Krivosheev<sup>2</sup>, A. G. Godovanyuk<sup>2</sup>, O. E. Danilin<sup>2</sup>, B. I. Badamshin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Open joint-stock company ufa's research-and-production enterprise «Molniya»

<sup>2</sup>Ufa's state aircraft technical university

There was shown offered method's of linear interpolation propfan's multidimensional characteristic results using for modeling turbopropfan jet in a total range of flight conditions and approach to equivalent specific fuel consumption optimization subsystem construction in automatic control system structure for reduction of environmental tests and maintenance costs. The offered methods considers requirements to mathematical models for the seminatural modeling stand - simplicity, ensuring of sufficient accuracy of result, work and functioning engine's mathematical model in a mode of real time.

*Equivalent specific fuel consumption, optimization, propfan's multidimensional characteristic interpolation, turbopropfan jet's mathematical model, seminatural modelling stand.*

### Информация об авторах

**Погорелов Григорий Иванович**, кандидат технических наук, заместитель генерального директора ФГУП УНПП «Молния». E-mail: [pogorelov@molniya-ufa.ru](mailto:pogorelov@molniya-ufa.ru). Область научных интересов: исследования в области автоматических и автоматизированных систем измерений и управления.

**Кривошеев Игорь Александрович**, доктор технических наук, профессор, декан факультета авиационных двигателей Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: [krivosh@sci.ugatu.ac.ru](mailto:krivosh@sci.ugatu.ac.ru). Область научных интересов: исследования в области комплексной автоматизации проектирования, доводки, изготовления и эксплуата-

ции, управления, имитационного моделирования и конвертирования авиационных двигателей и энергоустановок.

**Годованюк Алексей Геннадьевич**, младший научный сотрудник кафедры авиационных двигателей Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: [algen82@mail.ru](mailto:algen82@mail.ru). Область научных интересов: исследования в области ММ и управления ГТД и их САУ.

**Данилин Олег Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: [odanilin@mail.ru](mailto:odanilin@mail.ru). Область научных интересов: автоматизация и управление.

**Бадамшин Булат Ильдарович**, аспирант кафедры «Промышленная электроника» Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: [badbul\\_auto@inbox.ru](mailto:badbul_auto@inbox.ru). Область научных интересов: автоматизация и управление.

**Pogorelov Grigory Ivanovich**, candidate of technical sciences, general director deputy of Open joint-stock company ufa's research-and-production enterprise «Molniya». E-mail: [pogorelov@molniya-ufa.ru](mailto:pogorelov@molniya-ufa.ru). Area of research: automatic control and automated measuring systems.

**Krivosheev Igor Aleksandrovich**, doctor of technical sciences, professor of Ufa's state aircraft technical university, «Aviation engines» faculty Head. E-mail: [krivosh@sci.ugatu.ac.ru](mailto:krivosh@sci.ugatu.ac.ru). Area of research: complex design automation, operational development, manufacturing and operation, control, simulation modeling and converting aviation engine and power plant.

**Godovanyuk Aleksey Gennad'evich**, junior researcher of Ufa's state aircraft technical university, «Aviation engines» chair. E-mail: [algen82@mail.ru](mailto:algen82@mail.ru). Area of research: gas-turbine engine's mathematical models and control and their automatic control system.

**Danilin Oleg Evgen'evich**, candidate of technical sciences, associate professor of «Industrial electronics» chair of Ufa's state aircraft technical university. E-mail: [odanilin@mail.ru](mailto:odanilin@mail.ru). Area of research: automation and control.

**Badamshin Bulat Il'darovich**, post-graduate student of «Industrial electronics» chair of Ufa's state aircraft technical university. E-mail: [badbul\\_auto@inbox.ru](mailto:badbul_auto@inbox.ru). Area of research: automation and control.