

Метод построения имитационной модели эксплуатации авиационных ГТД. Имитационная модель предназначена для решения проблемы оптимизации жизненного цикла авиационного ГТД.

В авиадвигателестроении имитационное моделирование успешно используется при проектировании двигателей, моделировании испытаний агрегатов, диагностировании состояния двигателей, обосновании стратегии эксплуатации и др.. При этом эффективность решений во многом зависит от уровня адекватности самой имитационной модели.

Имитационное моделирование эксплуатации парка авиационных двигателей на летательных аппаратах позволяет оптимизировать диагностику их технического состояния [3], при этом используются индивидуальные реализации динамики диагностических параметров, полученные на основании обработки результатов подконтрольной эксплуатации двигателей. Варьируемыми переменными при этом являются:

- номенклатура измеряемых параметров;
- упреждающий допуск $\Delta_{у, доп}$;
- предельное значение параметра $P_{пр}$;
- периодичность диагностирования;
- средства диагностирования, характеризующиеся величиной капитальных вложений, необходимых для их внедрения, и стоимостью одной операции диагностирования.

Имитационная модель процесса эксплуатации авиационных двигателей позволяет исследовать влияние характеристик системы диагностирования на параметры реализуемого процесса эксплуатации и, в конечном счете, оптимизировать систему диагностирования двигателей при любом характере динамики определяющих параметров в зависимости от показателей системы эксплуатации двигателей.

Для летательных аппаратов (ЛА) и авиационных двигателей (АД) имитационное моделирование применяется для решения таких задач, как [1,2]: оценка стоимости их жизненного цикла; обоснование страте-

гии эксплуатации; обеспечение безопасной эксплуатации;

- решение организационных вопросов по поставке и прогнозированию потребностей (рис. 1).

При этом разработка имитационной модели предполагает решение следующих задач:

- идентификацию процессов в системе эксплуатации ЛА и АД, анализ элементов, включенных в эти процессы, их структур и взаимосвязей;
- построение математической модели исследуемого процесса;
- реализацию разработанной модели на ЭВМ.

Разработка модели базируется на принципах: системного подхода; обеспечения необходимого разнообразия модели (т.е. обеспечения того, чтобы полнота воспроизведения системы в модели соответствовала требованиям, вытекающим из цели исследования); декомпозиции системы на отдельные подсистемы вплоть до уровня элементов; отслеживания “жизни” каждого элемента системы.

Формирование парка ЛА, находящихся в эксплуатации, проводится по схеме, приведенной на рис. 1. Пригодность ЛА к эксплуатации определяется состоянием планера ЛА:

- ЛА считается годным и продолжает оставаться в эксплуатации, если ресурс планера до ремонта не выработан;
- ЛА выбывает из эксплуатации на время ремонта планера, если ресурс до ремонта выработан;
- ЛА списывается и в дальнейшем не учитывается, если выработан назначенный ресурс планера (двигатели, снятые с таких ЛА, направляются в эксплуатацию в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2).

В модели предусмотрена возможность использования двух подходов к моделированию отказов:

- первый основан на концепции двойственности природы отказов (износосвые и внезапные).
- второй подход основан на использовании статистических данных о средней наработке двигателей на один досрочный сьем по всем причинам.

В данной работе рассмотрен вопрос моделирования одного из важных этапов

жизненного цикла изделия (вспомогательного ГТД) – этапа эксплуатации.

Исходными параметрами модели являются: объем парка эксплуатируемых двигателей; ресурс двигателя по наработке и количеству запусков; критическое значение повреждаемости; затраты на устранение отказов двигателя в эксплуатации; удельный доход от эксплуатации двигателя; себестоимость часа работы двигателя в эксплуатации.

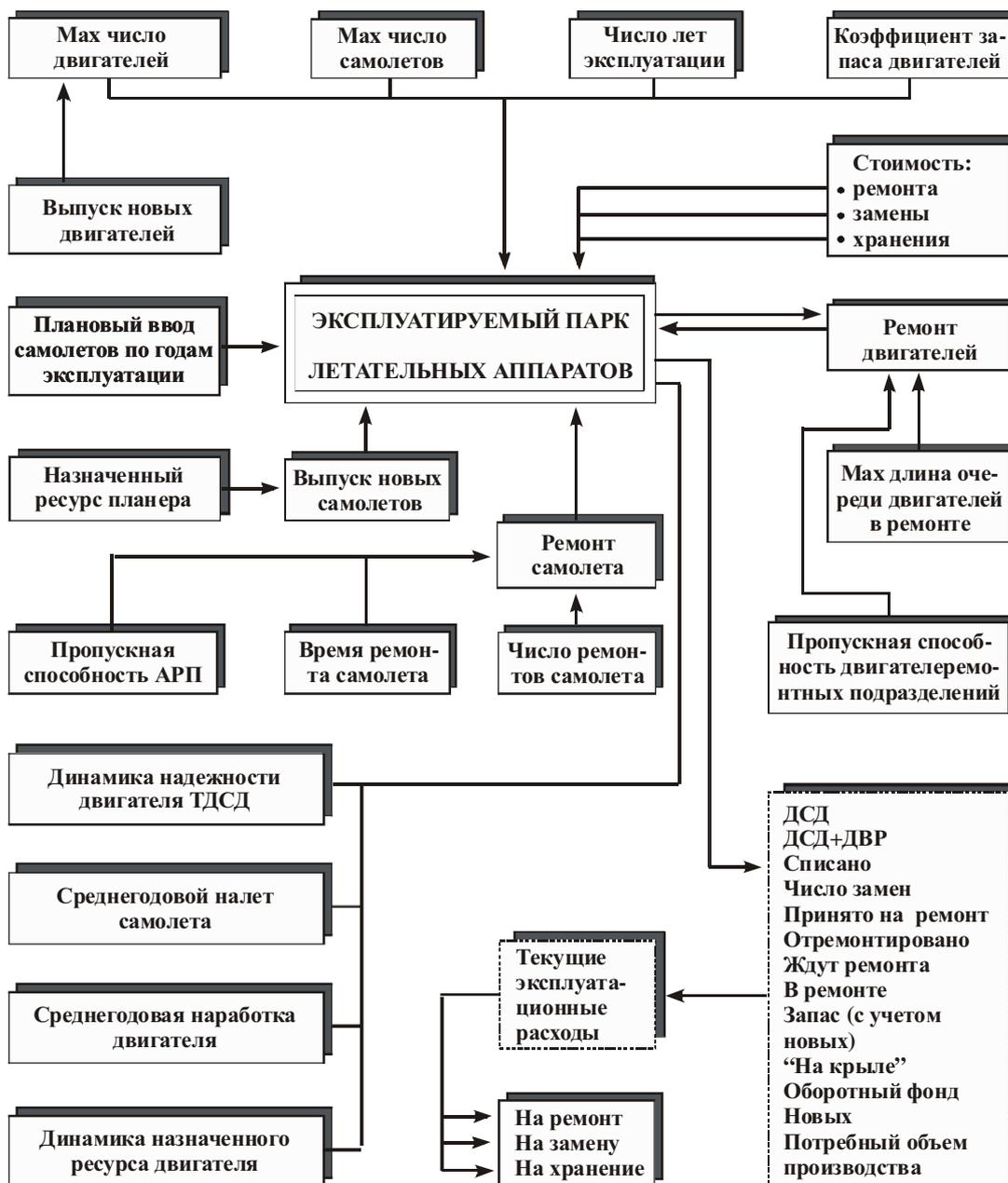


Рис. 1. Имитационная модель оценки параметров жизненного цикла парка ЛА: ДСД – досрочный сьем двигателя; Т – наработка

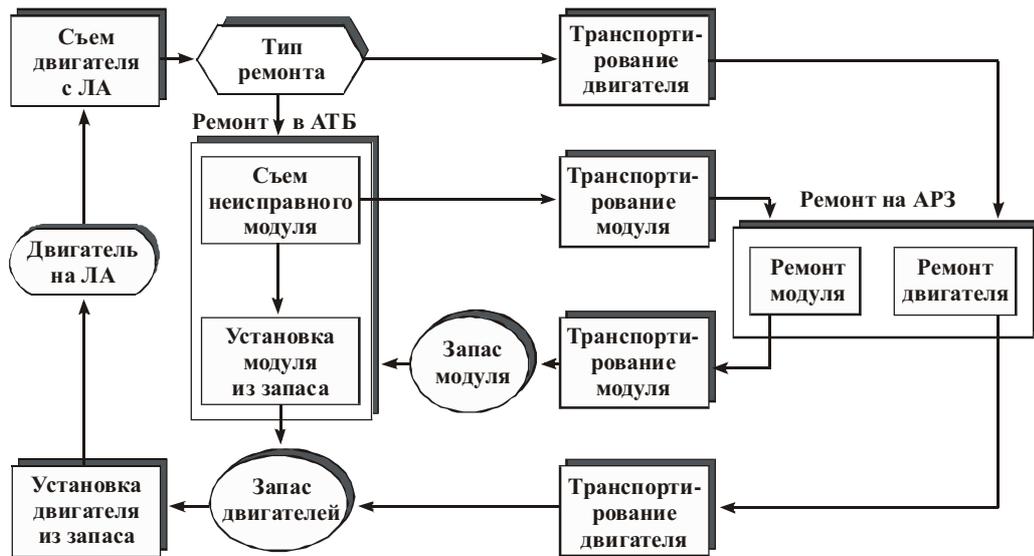


Рис. 2. Схема движения двигателей, снятых со списываемых самолетов

Переменными величинами модели являются:

- порядковый номер двигателя;
- порядковый номер запуска;
- температура окружающего воздуха;
- наработка в режиме кондиционирования воздуха;
- режимная наработка на один запуск;
- суммарная наработка двигателя в эксплуатации;
- повреждаемость элементов двигателя за j -й запуск Π_j и за все время эксплуатации Π_i ;
- затраты на j -й запуск двигателя в эксплуатации;
- доход от эксплуатации двигателя;
- затраты и доход на весь цикл эксплуатации i -го двигателя;
- суммарные затраты и доход на эксплуатацию парка двигателей.

Моделируется состояние:

- рабочей лопатки 1-й ступени турбины;
- радиально-упорного подшипника ротора;
- ведущей шестерни редуктора;
- подшипника;
- обмоток генератора.

В модели предусмотрен выбор типа самолета, от которого зависит режимная наработка на запуск, а также назначенный

ресурс. При этом время наработки за один запуск зависит от времени, необходимого на запуск одного маршевого двигателя и их числа. Далее в модели определяются условия, при которых производится запуск двигателя:

- месяц начала эксплуатации;
- климатическая зона;
- время суток и т.д.

Эти условия определяют температуру окружающего воздуха и, как следствие, длительность работы двигателя в режиме кондиционирования салона самолета.

Значения длительности работы двигателя в режиме кондиционирования $\tau_{СКВ}$ приведены в табл.1.

Таблица 1. Длительность работы двигателя

$t_H, ^\circ\text{C}$	-40	-10	0	+10	30	+40
$\tau_{СКВ}$	30/60	15/30	15/30	0/20	15/30	30/60

В модели предусмотрено моделирование типа аэродрома, на котором проводится текущий запуск двигателя, а также варианта применения двигателя на самолете (табл.2,3).

В варианте А все операции техобслуживания самолета выполняются с применением двигателя. Данный вариант имеет место в случае эксплуатации самолета в транзитном аэропорту в температурных условиях, значительно отличающихся от нормаль-

ных (требуется подогрев или охлаждение салона), при нехватке на аэродроме наземных источников электрической энергии для питания бортсети самолета.

Таблица 2. Варианты применения двигателя

Шифр варианта применения	Применение двигателя как источника электрической энергии	
	для питания агрегатов топливной системы при запуске самолета	для питания радио-, электро- и приборного оборудования при их обслуживании
А	+	+
Б	+	+
В	-	-
Г	-	-

Таблица 3. Варианты применения двигателя на самолете

Шифр варианта применения	Применение двигателя как источника сжатого воздуха	
	для питания системы кондиционирования	для запуска маршевых двигателей
А	+	+
Б	-	+
В	+	+
Г	-	+

Вариант Б отличается от варианта А температурными условиями эксплуатации (случай эксплуатации при температурах, близких к нормальному значению).

Вариант В имеет место в процессе эксплуатации самолета при температурах, значительно отличающихся от нормальных и при питании бортовой сети самолета электроэнергией от наземных средств.

В варианте Г двигатель используется только для запуска маршевых двигателей. Данный вариант имеет место при эксплуатации самолета в температурных условиях, незначительно отличающихся от нормальных и при питании электрической бортсети самолета от наземных источников энергии.

В связи с тем, что самолеты эксплуатируются в различных климатических условиях, на аэродромах с различной оснащённостью техническими средствами практически может иметь место любой из вышеперечисленных вариантов применения двигателя.

Имитационная модель цикла эксплуатации рассматриваемого двигателя реализована на ЭВМ в виде программы на языке Turbo Pascal 7.0.

В последующем имитационная модель эксплуатации была включена в имитационную модель жизненного цикла двигателя вида «производство - испытания - эксплуатация» и использовалась для оптимизации параметров ускоренных (эквивалентноциклических) испытаний двигателя.

При этом в качестве оптимизируемой рассматривалась прибыль от эксплуатации, обусловленная качеством проведения (достоверностью) испытаний:

- при чрезмерном ужесточении параметров режима нагружения в эксплуатацию не попадают кондиционные изделия, что приводит к снижению прибыли;
- при «слабых» режимах нагружения в эксплуатацию попадают некондиционные изделия, что приводит к дополнительным расходам на ремонт и восстановление двигателя.

Список литературы

1. Никонова И.А., Шепель В.Т. Технико-экономическая эффективность авиационных ГТД в эксплуатации. М.: Машиностроение, 1989. 200 с.
2. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт, 1980. 184 с.
3. Гатушкин А. А., Кременецкий Н.М., Цуриков О.Н. Некоторые вопросы оптимизации системы диагностирования ГТД с использованием модели процесса эксплуатации парка двигателей // Методы диагностирования авиационной техники. Киев: КИИГА, 1989. С. 17-20

IMITATING MODELLING OPERATION OF AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINES

© 2006 G.K. Ageev, R.N. Delmukhametov, V.C. Gabdillin

USATU

. The method of construction of imitating model is considered operation of aircraft gas-turbine engines. The imitating model is intended for the decision of a problem of optimization of life cycle aviation gas-turbine engines