

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2012 К. В. Блюмин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Важной особенностью автоматики авиационных ГТД является наличие в их составе как электронных цифровых, так и гидромеханических агрегатов, что существенно усложняет аппаратные средства их комплексной отладки вследствие физической разнородности управляющих и информационных сигналов. Новые технологии имитационных испытаний предусматривают разработку гибридных имитационных стендов с соответствующим программно – аппаратным обеспечением. В работе рассматривается один из методов математического моделирования системы регулирования и её агрегатов. Проведено математическое моделирование с помощью пакета MATLAB.Simulink, а также программирование оболочки в графическом пакете программирования NI LabVIEW.

Система автоматического управления, регулятор, математическая модель, графическое программирование.

Динамическая модель газотурбинного двигателя разработана на основе расчётных характеристик компрессоров низкого и высокого давления двигателя, а также расчётных дроссельных характеристик в стандартных атмосферных условиях ($H=0$; $M=0$) системы автоматического управления (САУ).

В модели применяются две методики формирования динамических процессов.

В связи со сложностью описания динамических процессов в полостях за компрессорами часть модели была сделана полноразмерной на основании уравнений и характеристик узлов.

Полноразмерная модель включает в себя компрессоры низкого и высокого давления, камеру сгорания, турбины высокого и низкого давления, камеру смешения и сопло. Входной воздух за вентилятором делится на два потока: внутренний $G_{в.л}$ и внешний $G_{в.п}$. Внутренний поток сжимается компрессорами низкого и высокого давления и подаётся в камеру сгорания, вместе с топливом с расходом G_T . Камера сгорания моделируется уравнением теплового баланса. Энергия, полученная от сгорания топлива в камере сгорания, частично срабатывается сначала на турбине высокого давления, затем на турбине низкого давления. Энергия идёт на вращение роторов. В камере смешения смешиваются поток газа на выходе из турбины низкого давления $G_{вых.тнд}$ и внеш-

ний поток воздуха $G_{в.п}$ из второго контура, создавая давление, температуру и расход газа на входе в сопло [1,2].

Этапы технологии разработки аналитической модели газогенератора осуществляются в несколько этапов путём усложнения алгоритмов и расширения возможностей разрабатываемой модели.

Для реализации возможности воспроизводить переходные процессы в двигателе в полном объёме рабочих режимов (малый газвзлётный режимы) моделируются характеристики вентилятора, компрессора низкого и высокого давления во всём диапазоне частот вращения роторов низкого и высокого давлений. В результате этого процесса получают числовые значения параметров на всех режимах, в том числе на малом газу.

Модель включает в себя две методики воспроизведения динамики процессов в газогенераторе. Часть модели использует принцип кусочно-линейной аппроксимации дроссельных характеристик, а другая часть является полноразмерной. По заданному параметру с характеристики снимается соответствующее значение требуемого параметра.

Работа модели мг-максимал основана на задании параметров всех узлов (вентилятор, КНД, КВД, камера сгорания, ТВД, ТНД, камера смешения и сопло), модель имитирует выход двигателя на режимы от малого газа до максимала.

Расчёт значений частот вращения роторов низкого ($n_{НД}$) и высокого ($n_{ВД}$) давлений основывается на разнице между крутящими моментами турбины и компрессора НД и ВД, соответственно. В блоке производных (рис. 1) рассчитываются угловые частоты вращения роторов НД и ВД по формулам [3-5]:

$$\omega_{НД} = \frac{M}{I_{НД}} = \frac{M_{ТНД} - M_{КНД}}{(2\pi/60) \cdot I_{НД}}, \quad (1)$$

$$\omega_{ВД} = \frac{M}{I_{ВД}} = \frac{M_{ТВД} - M_{КВД}}{(2\pi/60) \cdot I_{ВД}}. \quad (2)$$

Далее значения сигналов проходят через соответствующие интеграторы, и на выходе получаем обороты НД и ВД в «об/мин».

Для задания начальных воздействий в первоначальные моменты времени сигналы после интеграторов складываются с начальными значениями, взятыми с известных дроссельных характеристик.

В каждом блоке соответствующего узла рассчитываются типовые параметры: p, T, N, M, π .

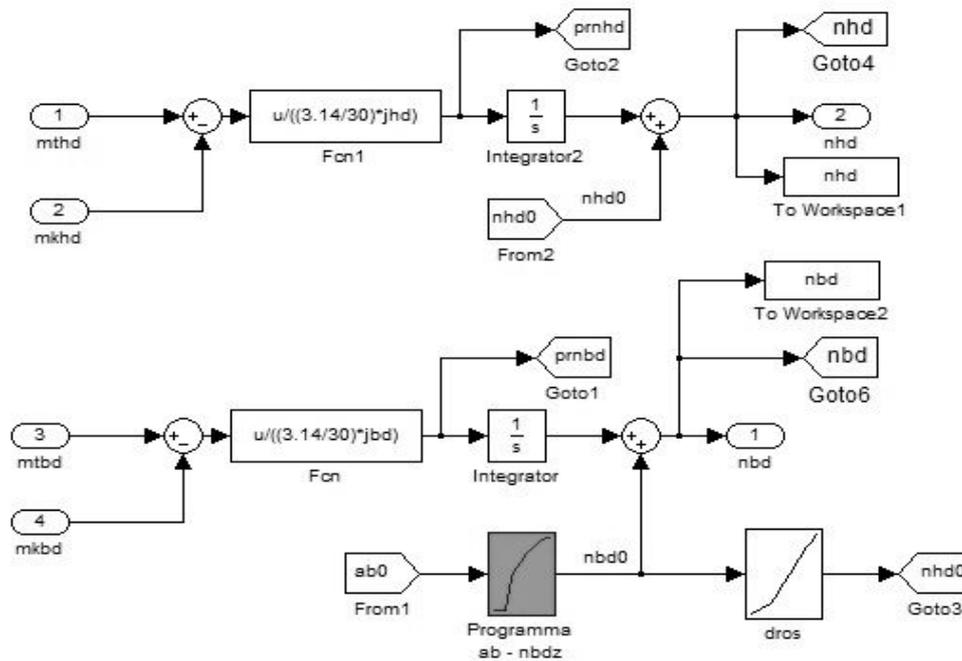


Рис. 1. Блок производных. Интегрирование угловых частот вращения роторов НД и ВД. Расчёт значений оборотов НД и ВД

Первоначальное управляющее ступенчатое воздействие осуществляется через угол установки РУД (блоки Ramp и Saturation). Далее по значению $\alpha_{РУД}$ с дроссельной характеристики снимается соответствующее значение частоты вращения компрессора высокого давления $n_{ВД,зад}$ и далее поступает в блок регулятора.

Модель позволяет имитировать как приёмистость, так и сброс газа. Таким образом, модель воспроизводит переходные процессы в двигателе в полном объёме (с малого газа до взлётно максимального).

Система регулирования частично приближена к реальной, смоделирован ограни-

читель по частоте вращения ротора низкого давления и температуре газа за турбиной [6].

Регулятор вырабатывает сигнал расхода топлива G_T и подаёт его в блок камеры сгорания и на панель графиков. Текущие значения частот вращения роторов низкого и высокого давлений определяются в блоке производных как разница между частотой исходного режима и проинтегрированной скорости изменения частоты вращения ротора в динамическом процессе [7,8].

Внешнее возмущение определяется изменением температуры воздуха t_H относительно стандартных значений при заданных высоте полёта и числе Маха. В блоке «усло-

вия на входе» по начальным значениям рассчитываются p_{BX} и T_{BX} .

В общем виде модель включает в себя блок задания внешних условий, систему регулирования, блок расчёта текущих частот вращения и блоки расчёта параметров узлов (вентилятор, компрессоры, камера сгорания, турбины, камера смешения, сопло).

В полномасштабной модели компрессоров и турбин заложена подпрограмма для снятия параметров с соответствующих характеристик. В процессе расчёта модели на характеристики наносятся линии рабочих режимов (рис. 2).

На основе математической модели разработана виртуальная система управления газотурбинным двигателем в программном пакете LabVIEW.

Интерфейс программы, созданной в графической среде программирования Lab-

VIEW (рис. 3), включает в себя рычаг управления двигателем (РУД) с индикаторами, вкладки ввода внешних условий и вывода текущих параметров модели, вывод графиков изменения параметров, поля гидромеханической части системы управления и отображения двухмерной (2D) и трёхмерной (3D) модели двигателя.

Запуск двигателя осуществляется нажатием кнопки «Запуск». В процессе запуска индикаторы «Стартер», «Агрегат пускового топлива» и «Зажигание» показывают текущее состояние работы агрегатов.

Управляющее воздействие на двигатель осуществляется через угол установки РУД. Углы установки связаны с расходом топлива, подаваемым в камеру сгорания. Воспроизводятся все режимы двигателя от малого газа (МГ) до максимального взлётного (Мах).

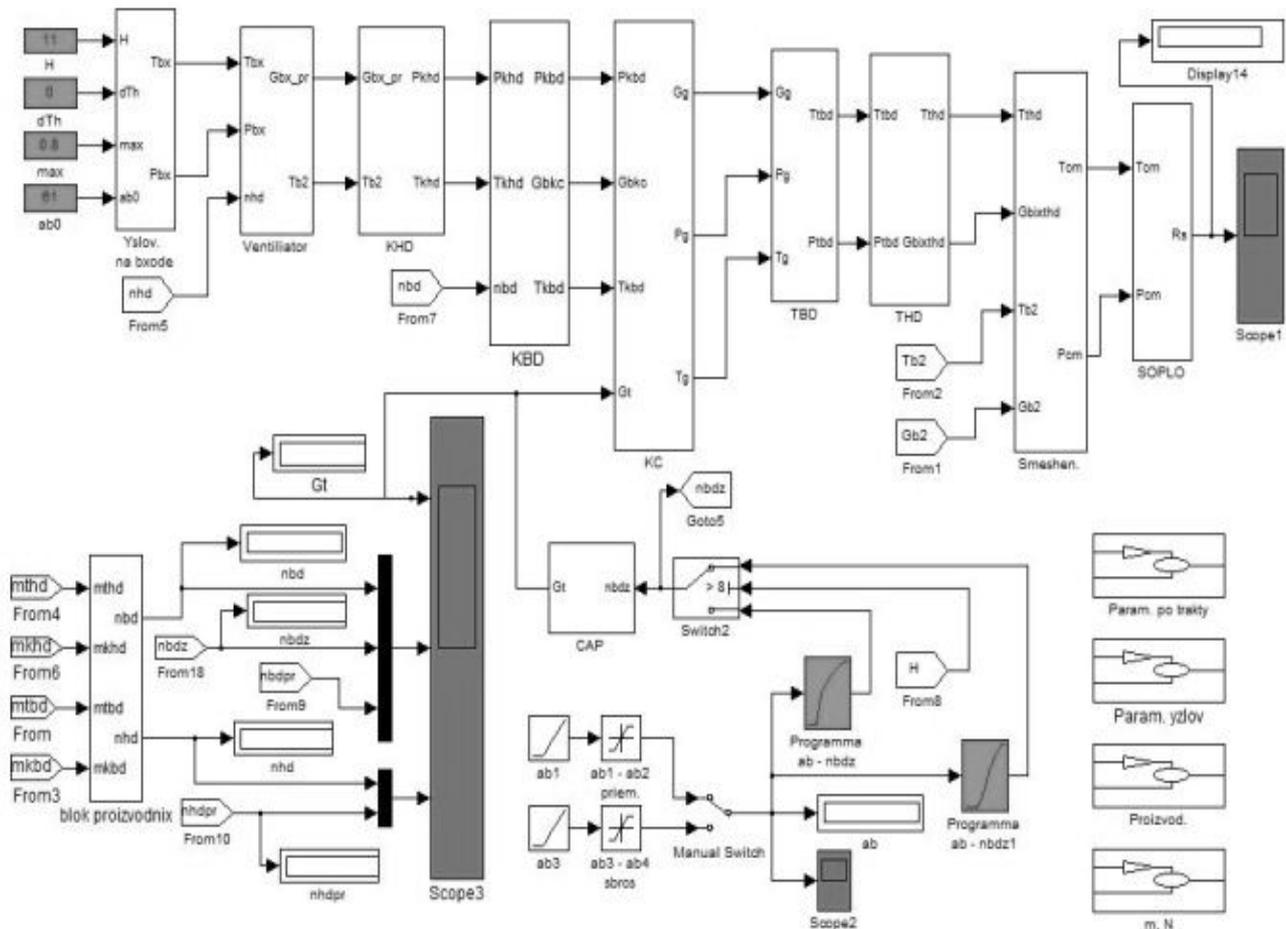


Рис. 2. Общий вид модели

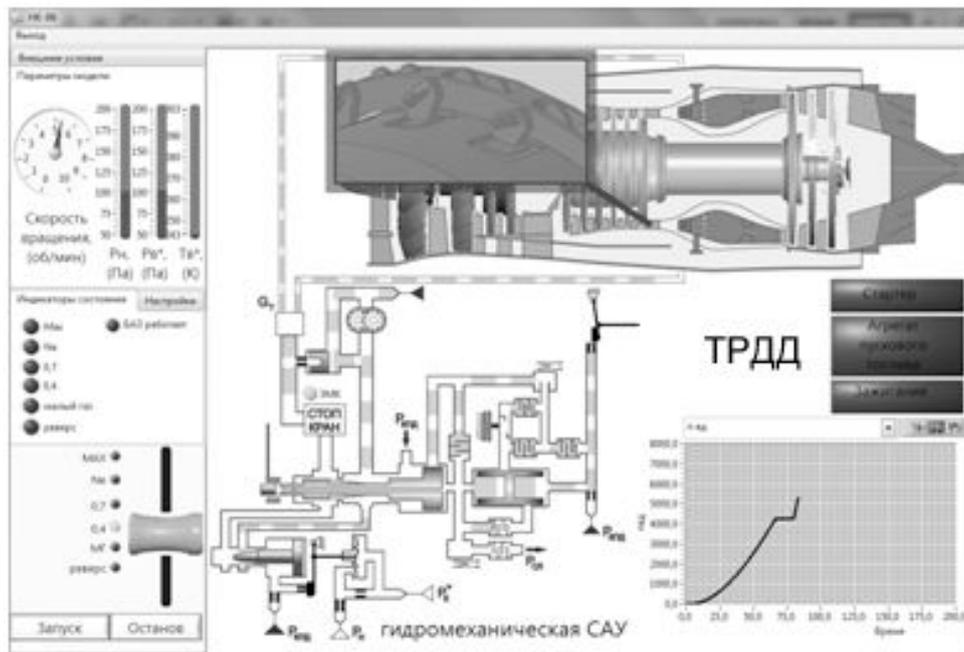


Рис. 3. Интерфейс программы

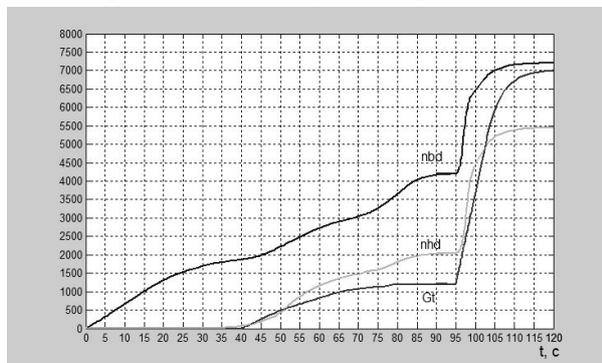
Возмущающее воздействие осуществляется через вкладку «внешние условия». Предусмотрена возможность ввода температуры t_H , давления p_H , высоты полёта H . По параметрам t_H и p_H автоматически рассчитываются температура T_B^* и давление p_B^* на входе в вентилятор. В зависимости от высоты в гидромеханической части подключается сиффон, ограничивающий расход через соответствующий канал.

Выходными параметрами, которые выводятся на графики, являются частоты вращения валов низкого и высокого давления, температура газов на входе в турбину, давление на выходе из компрессора и расход топлива. Индикаторы состояния отображают переход с исходного режима на текущий и мигают при выходе на нужный режим.

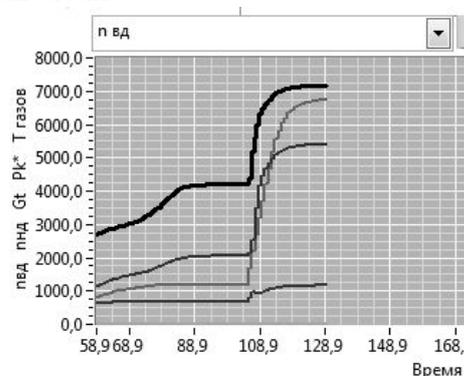
Вывод графиков на панели (рис. 4) осуществляется как отдельно, так и одновременно. Предусмотрена возможность масштабирования.

Переключение режимов отображения 2D/3D осуществляется во вкладке «настройка». Также в этой вкладке есть возможность регулировать уровень звука в программе. В режиме 3D реализована возможность вращения двигателя в пространстве. В режиме 2D в момент открытия/закрытия регулируемых направляющих аппаратов и окон перепуска воздуха отображена анимация работы конструкции.

В гидромеханической части (рис. 5) реализована визуализация работы агрегатов системы управления и течения топлива по каналам в зависимости от режимов работы двигателя.



а



б

Рис. 4. Вывод графиков в модели Simulink (а) и LabVIEW (б)

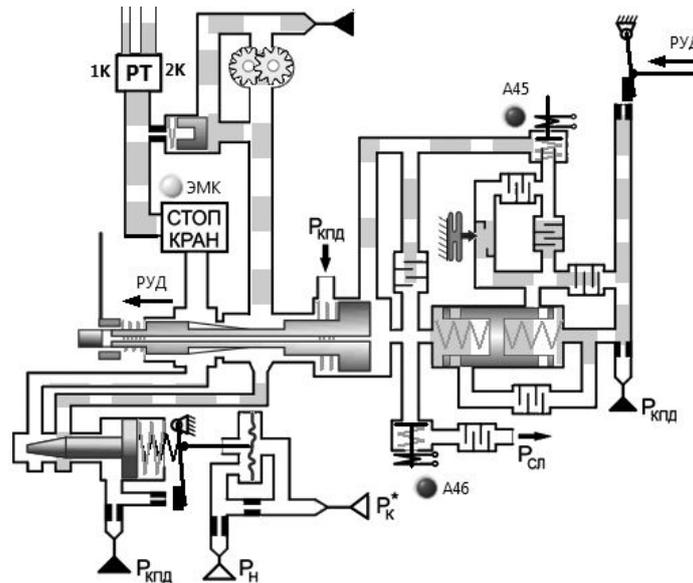


Рис. 5. Гидромеханическая САУ

Дальнейшее расширение программы возможно за счёт усовершенствования математической модели, законов и программ регулирования.

Использование программы целесообразно в целях автоматизации испытаний агрегатов системы управления двигателя. Это возможно за счёт создания полноразмерной математической модели двигателя. В этом случае реальный двигатель заменяется на его виртуальную модель и с использованием промышленных контроллеров и преобразователей объединяется в одну схему.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

Библиографический список

1. Теория линейных систем автоматического регулирования двигателей летательных аппаратов [Текст]: учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, А.Н. Крючков, А.Б. Прокофьев [и др.]. - Самара: СГАУ, 2006. - 183 с.
2. Кулагин, В.В. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок [Текст]: учебник / В.В.

Кулагин. - М.: Машиностроение, 2002. - 616с.

3. Гимадиев, А.Г. Динамические характеристики систем автоматического регулирования / А.Г. Гимадиев. - Куйбышев: КуАИ, 1986. - 60 с.

4. Двигатель НК-86: Руководство по технической эксплуатации [Текст] - Куйбышев: КМЗ, 1978. - 420 с.

5. Тимофеев, Н.И. Конструкция и лётная эксплуатация двигателя НК-8-2У [Текст] / Н.И. Тимофеев. - М.: Машиностроение, 1978. - 144 с.

6. Robert H. Bishop. Modern control systems analysis and design using MATLAB. [Text]: Addison-Wesley Publishing Company, 1993, 162 p.

7. Черкасов, Б.А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. [Текст] / Б.А. Черкасов.- М.: Машиностроение, 1988. - 360 с.

8. Попов, Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов [Текст]: учеб. для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов в обл. техники и технологии / Д. Н. Попов. - 2-е изд., стер. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 319 с.

DYNAMIC PROCESS MODELING OF AIRCRAFT ENGINE CONTROL SYSTEM

© 2012 K. V. Blyumin

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

This paper discusses one of the methods of mathematical modeling of the system and its control units. Mathematical modeling using a package MATLAB.Simulink, and Shell Programming held in graphical programming software NI LabVIEW.

Automatic control system, regulator, a mathematical model, graphic programming.

Информация об авторах

Блюмин Кирилл Владимирович, аспирант кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: blyumin.kirill@gmail.com. Область научных интересов: системы управления, гидродинамика, виброакустика.

Blyumin Kirill Vladimirovich, graduated student, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: blyumin.kirill@gmail.com. Area of research: automatic control systems, fluid dynamics, vibroacoustic.