

УДК 629.7.063.017

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА

И.И. ЗАВЯЛИК, В.С. ОЛЕШКО, В.М. САМОЙЛЕНКО, Е.В. ФЕТИСОВ

В статье описана разработанная система моделирования в среде MATLAB Simulink, позволяющая моделировать, исследовать и прогнозировать техническое состояние агрегатов топливной системы газотурбинного двигателя летательного аппарата в зависимости от изменения качества авиационного топлива.

Ключевые слова: летательный аппарат, газотурбинный двигатель, топливная система.

В процессе совершенствования авиационных комплексов (АК) и функциональных систем летательных аппаратов (ЛА), направленном на повышение эффективности их применения, ужесточаются требования к эксплуатационным свойствам ЛА. Отличительными чертами перспективных АК являются: разнообразие режимов и условий эксплуатации, близость рабочих режимов к ограничениям по прочностным, температурным и функциональным параметрам. Надежность топливной системы (ТС) является одним из главных условий надежности ЛА, так как эта система предназначена для размещения на борту ЛА определенного количества топлива и его постоянной и безотказной подачи в двигатель как в полете, при любых возможных эволюциях и перегрузках самолета, так и на земле и зависит от качества применяемого топлива. В связи с этим актуальными являются проблемы повышения надежности газотурбинных двигателей (ГТД) ЛА и создания новых, более совершенных методик ее оценки.

В то же время ТС ЛА представляет собой сложную техническую систему (СТС), включающую большое число узлов, элементов и агрегатов и протекающих в них различных физико-химических процессов, с большим числом параметров, определяющих их техническое состояние. Следовательно, возникает необходимость введения дополнительных ограничений при оценке надежности.

1. Представляя ТС как СТС с использованием агрегативного подхода при моделировании ее функционального состояния [1], необходимо учитывать, что рассматриваемая система обладает развитой иерархической структурой с разделением на ТС самолета и ТС двигателя позволяет говорить о том, что агрегаты, которые входят в топливо-регулирующую аппаратуру (ТРА), обеспечивают функционирование ГТД не по одному, а по нескольким каналам управления. Что существенно снижает вероятность достоверности в оценке надежности ТС ЛА.

2. ТС является жизненно важной системой, потому что проявление отказа может привести к потере ЛА. Таким образом, определяется задача по прогнозированию возможных состояний системы с учетом влияния различных эксплуатационных факторов. При этом возможность прогнозирования технического состояния агрегатов ТС определяется особенностью их конструкции, характеризующейся наличием определенной параметрической избыточности в совокупности каналов управления. То есть необходимо анализировать динамику изменения индивидуальных запасов надежности отдельных систем на основе результатов измерения параметров, определяющих их работоспособность. Появляется возможность с общих позиций теории параметрической избыточности изучать физические процессы, предшествующие возникновению отказов ТС, и строить их модели, используемые, в частности, для осуществления прогнозирования технического состояния систем ЛА.

3. Надежность ТС ЛА и работоспособность агрегатов во многом зависят от качества применяемого авиационного топлива. В этом случае, решая задачи прогнозирования уровня

надежности агрегатов ТС с учетом их взаимодействия с рабочим телом (авиационным топливом), необходимо брать за основу сведения, полученные в процессе эксплуатации или в результате математического моделирования функционирования ТС, позволяющих выявлять конкретные изделия, которые в ближайшем будущем должны отказать.

Авторами в программном продукте MATLAB Simulink разработана система имитационного моделирования функционирования ТС ЛА, разработаны математические модели агрегатов ТС, реализованные в MATLAB Simulink и позволяющие моделировать, исследовать и прогнозировать уровень надежности агрегатов ТС с учетом изменения качества используемого авиационного топлива, принимая во внимание чувствительность агрегатов ТС к загрязнениям, определяемую зависимостью выходных параметров агрегата от размера и концентрации частиц загрязнений [2].

Сущность разработанного метода моделирования функционирования агрегатов ТС с учетом изменения качества авиационного топлива базируется на совокупности следующих принципов.

1. Представление моделируемого агрегата (насоса-регулятора (НР)) в виде А-схемы (рис. 1).

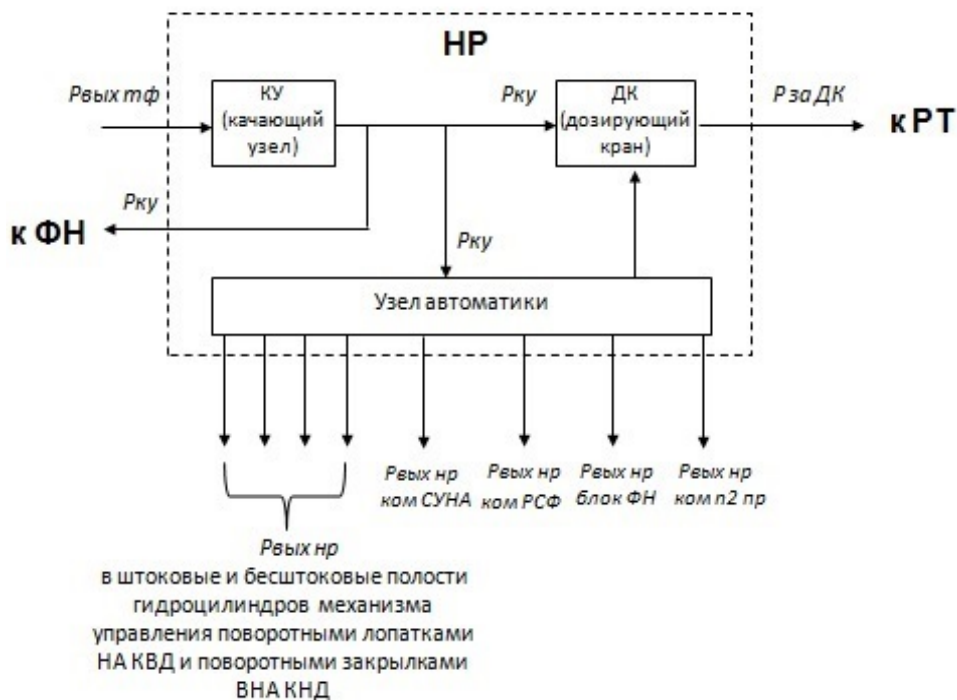


Рис. 1. Графическое изображение НР в виде А-схемы

НР состоит из скомпонованных в одном агрегате устройств:

- качающего узла с дозирующим устройством;
- регулятора частоты вращения и автомата приемистости;
- регулятора направляющего аппарата компрессора высокого давления (НА КВД) и входного направляющего аппарата компрессора низкого давления (ВНА КНД).

2. НР обеспечивает функционирование ГТД по следующим каналам управления:

- дозирование топлива в основную камеру сгорания (ОКС);
- управление поворотными лопатками направляющего аппарата компрессора высокого давления (НА КВД);
- управление поворотными закрылками входного направляющего аппарата компрессора низкого давления (ВНА КНД);

- подачу команды в форсажный насос (ФН) на переключение топливопитания форсажной камеры (ФК);
- питание ФК при малых расходах топлива;
- блокировку (по частоте вращения ротора высокого давления (РВД)) срабатывания ограничителей комплексного регулятора двигателя (КРД);
- выдачу гидравлических команд другим агрегатам топливной системы;
- выключение двигателя;
- поддержание давления топлива, питающего механизмы автоматики на режиме авторотации.

3. В основу математической модели функционирования агрегата ТС с учетом изменения качества авиационного топлива заложена зависимость значения выходного параметра агрегата ТС от размера и концентрации частиц загрязнений:

$$X_{(t)} = X_0 \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}, \quad (1)$$

где $X_{(t)}$ – фактическое значение параметра; X_0 – паспортное значение параметра; δ_i – коэффициент изнашивания, характеризующий отношение объема разрушений к квадрату размера частиц загрязнений; T_λ – постоянная времени разрушения; N_{io} – начальная штучная концентрация частиц загрязнений определенной размерной фракции.

4. Применяя выражение (1) для решения поставленной задачи и исходя из многоканальности работы НР для определения параметров агрегата, составим систему дифференциальных уравнений, описывающих процесс функционирования агрегата ТС ГТД ЛА НР при изменении качества авиационного топлива:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ку}(t) = P_{вых\ тф} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{за\ ДК}(t) = P_{ку} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{гц\ на\ квод}(t) = P_{гц\ на\ квод} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{гц\ вна\ кнд}(t) = P_{гц\ вна\ кнд} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{ком\ рсф}(t) = P_{ком\ рсф} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{блок\ фн}(t) = P_{блок\ фн} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{ком\ суна}(t) = P_{ком\ суна} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}; \\ P_{ком\ п2пр}(t) = P_{ком\ п2пр} \cdot \exp \left\{ -\delta_i \cdot T_\lambda \cdot N_{io}^2 \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) 1 \right] \right\}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Разработанные принципы легли в основу созданной системы имитационного моделирования MATLAB Simulink, структура которой представлена на рис. 2.

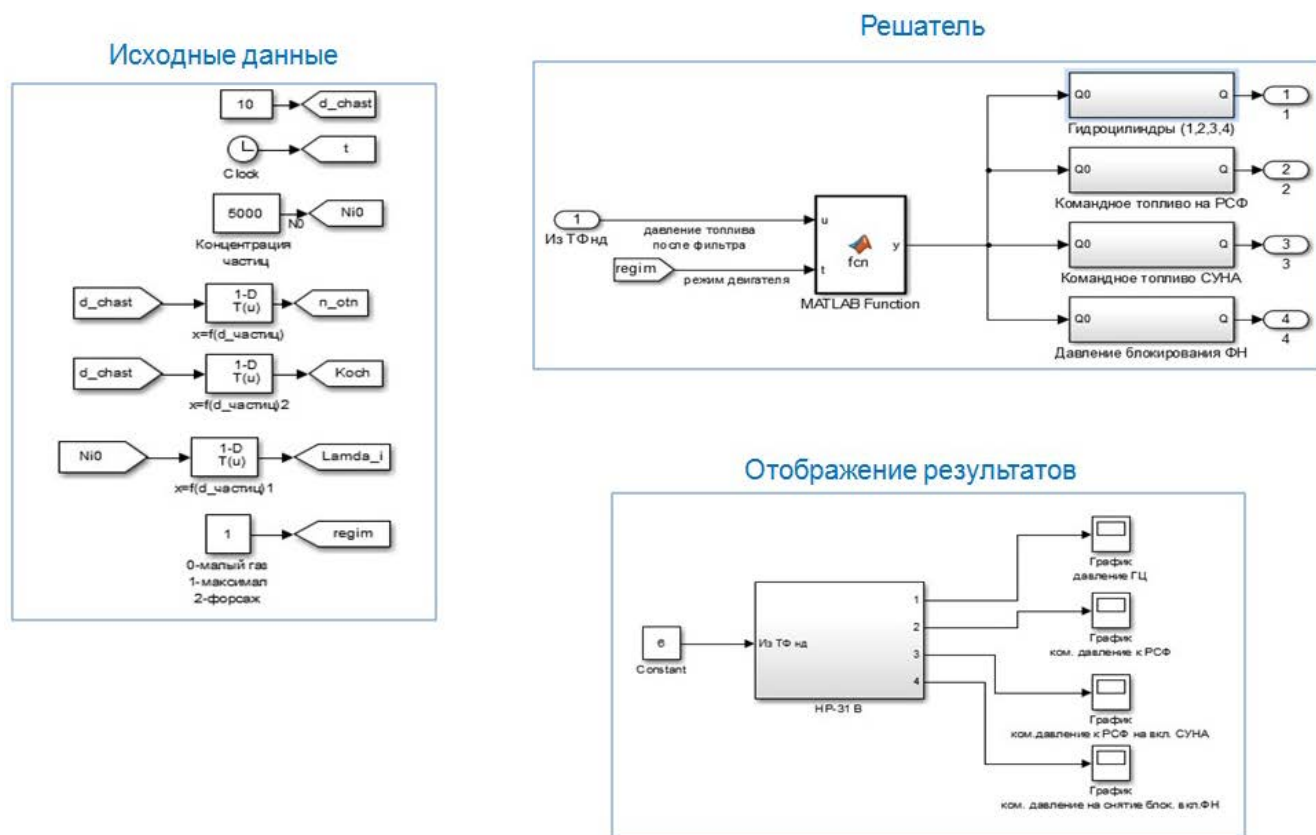


Рис. 2. Структура имитационного моделирования функционирования агрегата HP TC ГТД ЛА с учетом изменения качества авиационного топлива в среде MATLAB Simulink

Разработанный метод моделирования функционирования агрегата ТС ЛА с учетом изменения качества авиационного топлива включает следующее.

1. Блок исходных данных, в котором обеспечивается синтез модели, задаются и редактируются параметры, накладываются дополнительные условия и ограничения.

2. Решатель обеспечивает последовательную активацию моделей по заданным каналам агрегата НР, управление движением имитационной моделью от начальных условий к решению в соответствии с законом расчета.

3. Отображение и документирование результатов моделирования.

На рис. 3 приведены результаты моделирования (расчета процесса) функционирования агрегата НР по каналам управления в зависимости от изменения размера и концентрации частиц загрязнений, содержащихся в авиационном топливе.

Проверка адекватности модели функционирования агрегатов ТС осуществлялась на агрегате насос-регулятор (НР-31В) ГТД (АЛ-31Ф) при оценке изменения рабочих параметров по каналам управления в зависимости от времени при заданных параметрах загрязнения авиационного топлива.

Результат моделирования показал, что даже на незначительном временном интервале возможно изменение работоспособности агрегата ТС по некоторым каналам управления, что может привести к его отказу. Проведение исследований с используемой моделью надежности агрегатов ТС с расширением диапазонов значений входных параметров и внутренних параметров системы (агрегатов ГТД) позволит получить достоверную оценку технического состояния агрегатов ТС при изменении качества авиационного топлива.

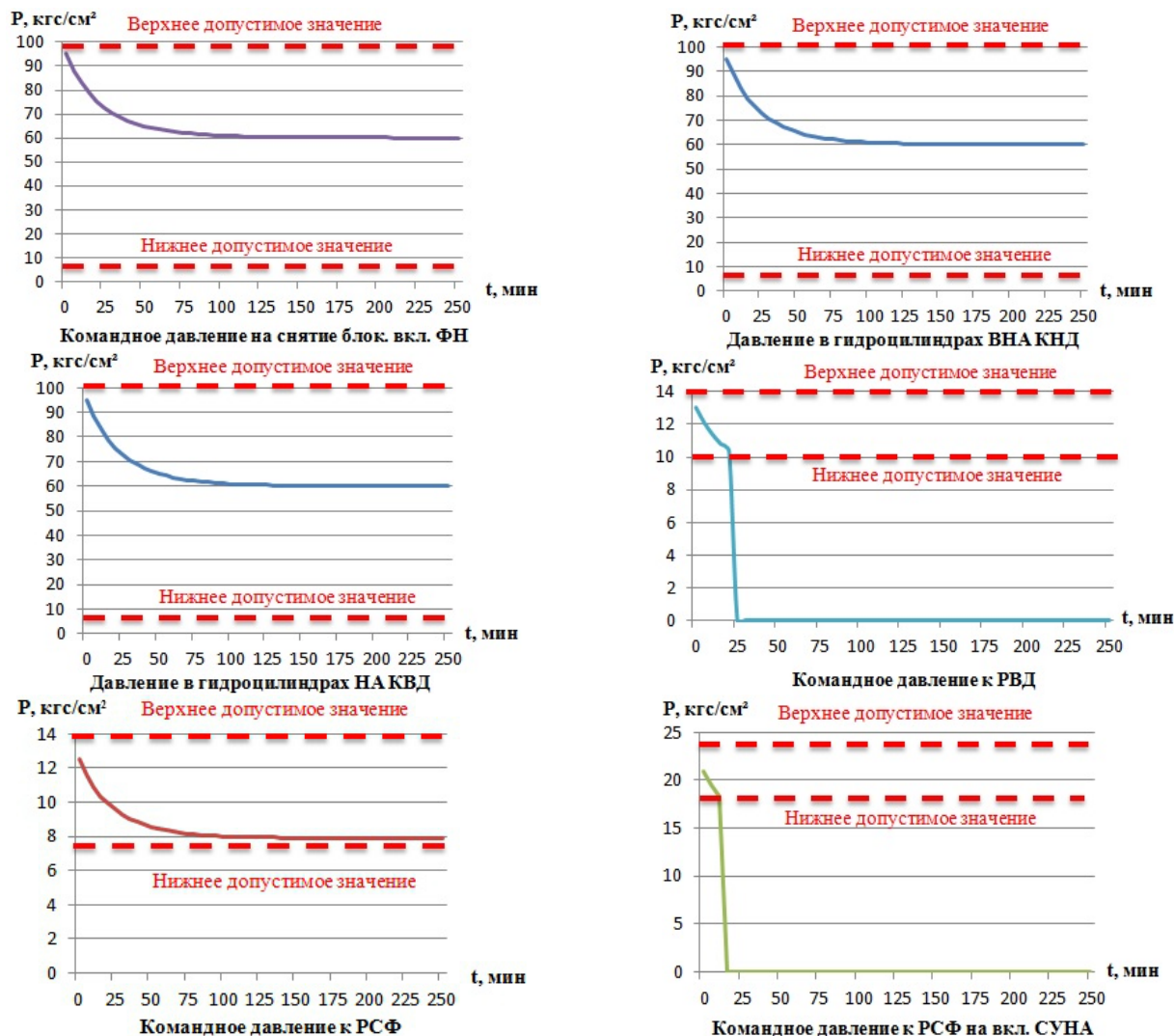


Рис. 3. Графические зависимости изменения давления на выходе из агрегата НР по каналам управления при диаметре частиц загрязнений $D = 10$ мкм и концентрации частиц загрязнений $N_i = 5000$ штук в 100 см^3 авиационного топлива

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование методического аппарата по оценке надежности топливной системы воздушного судна военного назначения / И.И. Завялик, А.Н. Стукалов, Е.С. Тютнев, Е.В. Фетисов. 13-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2014». 17–21 ноября 2014 года. Москва. Тезисы. СПб.: Мастерская печати, 2014. 710 с.
2. Тимеркеев Р.Г., Сапожников В.М. Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 152 с.

MODELING OF THE FUNCTIONING UNITS OF FUEL SYSTEM OF GAS TURBINE ENGINE AIRCRAFT IN VIEW OF AVIATION FUEL QUALITY CHANGES

Zavyalik I.I., Oleshko V.S., Samoylenko V.M., Fetisov E.V.

The article describes the developed modeling system in MATLAB Simulink which allows to simulate, explore and predict the technical condition of the units of the aircraft gas turbine engine fuel system depending on aviation fuel quality changes.

Key words: aircraft, gas turbine engine, fuel system.

REFERENCES

1. Zavjalik I.I., Stukalov A.N., Tjutnev E.S., Fetisov E.V. Sovershenstvovanie metodicheskogo apparata po ocenke nadezhnosti toplivnoj sistemy vozdushnogo sudna voennogo naznachenija. 13-ja Mezhdunarodnaja konferencija «Aviacija i kosmonavtika – 2014». 17–21 nojabrja 2014 goda. Moskva. Tezisy. SPb.: Masterskaja pečati, 2014. 710 s.

2. Timerkeev R.G., Sapozhnikov V.M. Promyshlennaja chistota i tonkaja fil'tracija rabochih zhidkostej letatel'nyh apparatov. M.: Mashinostroenie, 1986. 152 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Завялик Иван Иванович, адъюнкт 71 кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

Олешко Владимир Станиславович, к.т.н., профессор Военного института МАИ.

Самойленко Василий Михайлович, д.т.н., профессор, декан механического факультета МГТУ ГА, автор более 100 научных работ, v.samoilenko@mstuca.aero.

Фетисов Евгений Вячеславович, к.т.н., доцент, заместитель начальника 71 кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».