

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО СУДНА ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА

И. И. Завялик¹, Е. В. Фетисов²

¹zavyalik26@yandex.ru, ²mr_907@mail.ru

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени
профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Поступила в редакцию 29.02.2016

Аннотация. В статье описана разработанная система имитационного моделирования в среде MATLAB Simulink, позволяющая моделировать, исследовать и прогнозировать техническое состояние агрегатов топливной системы воздушного судна военного назначения в зависимости от изменения качества авиационного топлива.

Ключевые слова: надежность, топливная система, агрегат, параметр, техническое состояние.

В процессе совершенствования авиационных комплексов (АК) и функциональных систем воздушных судов военного назначения (ВС ВН), направленном на повышение уровня боеготовности и эффективности их применения, ужесточаются требования к эксплуатационным свойствам воздушных судов (ВС). 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 ВС, так как эта система предназначена для размещения на борту ВС 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 ТС ВС ВН и создания новых, более совершенных методик ее оценки.

В то же время, ТС ВС 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, это позволяет говорить о том, что агрегаты, которые входят в топливо-регулирующую аппаратуру (ТРА), обеспечивают функционирование авиационного двигателя (АД) не по одному, а по нескольким каналам управления, что существенно снижает вероятность достоверности в оценке надежности ТС ВС.

2. ТС является жизненно важной системой, потому что проявление отказа может привести к потере ВС. 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,

характеризуемой 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 ВС ВН.

3. Надежность ТС ВС 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, позволяющие выявлять конкретные изделия, которые в ближайшем будущем должны отказать.

Авторами в программном продукте MATLAB Simulink разработана система имитационного моделирования функционирования ТС ВС, 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].

Суть 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).

НР состоит из скомпонованных в одном агрегате:

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

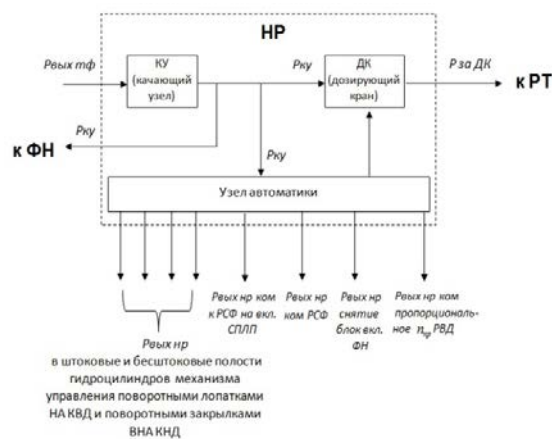


Рис. 1. Графическое изображение агрегата НР в виде А-схемы

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:

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

где $X_{(t)}$ – фактическое значение параметра; X_0 – паспортное значение параметра; σ_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) в решении поставленной задачи и исходя из многоканальности работы НР для определения параметров агрегата, составим систему дифференциальных уравнений, описывающих процесс функционирования агрегата ТС ВС НР при изменении качества авиационного топлива:

$$\left\{ \begin{aligned} P_{ку}(t) &= P_{вых}^{mf} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{за ДК}(t) &= P_{ку} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{гц на}^{квд}(t) &= P_{гц на}^{квд} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{гц на}^{кнд}(t) &= P_{гц на}^{кнд} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{ком}^{рсф}(t) &= P_{ком}^{рсф} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{блок}^{фн}(t) &= P_{блок}^{фн} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{вкл}^{сплн}(t) &= P_{вкл}^{сплн} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}; \\ P_{нр}^{рвд}(t) &= P_{нр}^{рвд} \exp \left\{ -\delta_i T_\lambda N_{io}^2 \left[1 - \exp \left(-\frac{2t}{T_\lambda} \right) \right] \right\}. \end{aligned} \right.$$

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

Разработанный метод моделирования функционирования агрегата ТС ВС ВН с учетом изменения качества авиационного топлива включает:

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 модели от начальных условий к решению в соответствии с законом расчета.

3. Отображение и документирование результатов моделирования.

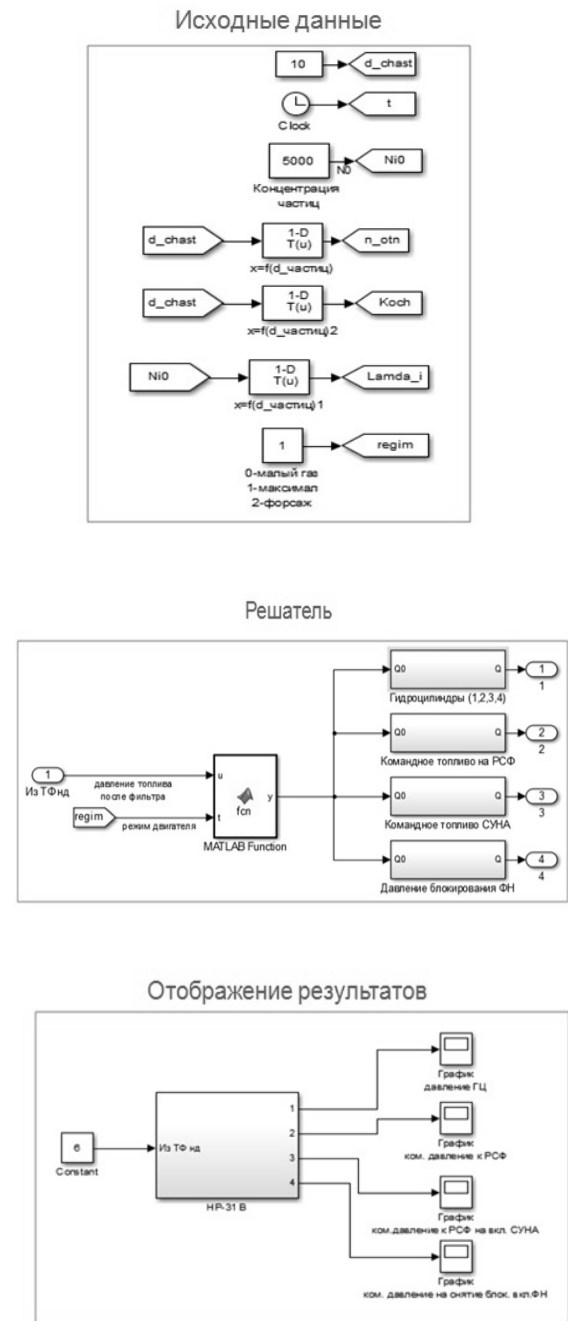


Рис. 2. Структура имитационного моделирования функционирования агрегата НР ТС ВС ВН с учетом изменения качества авиационного топлива в среде MATLAB Simulink

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.

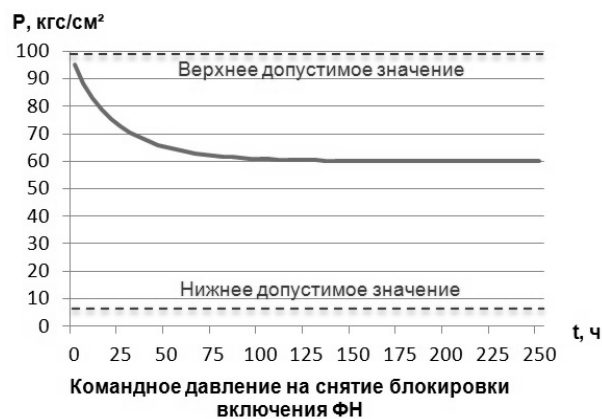
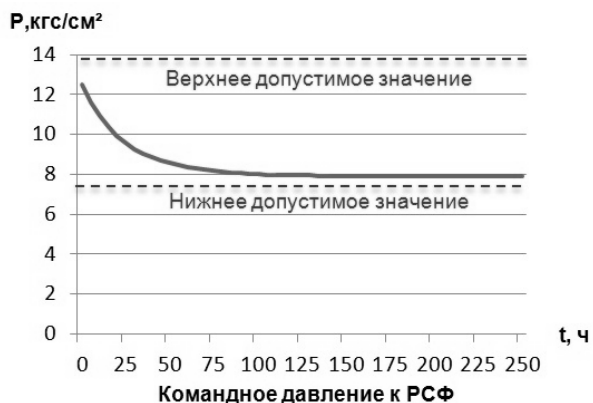
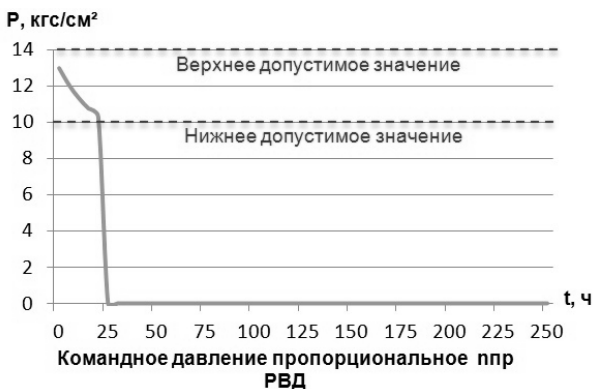
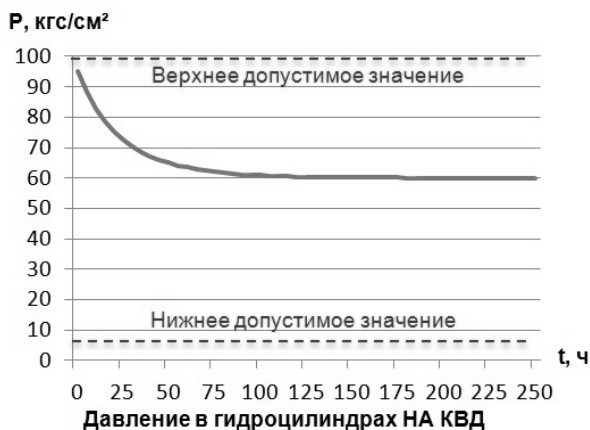
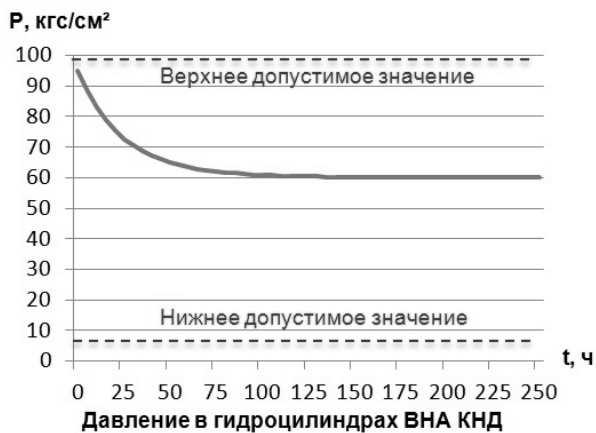


Рис. 3. Графические зависимости изменения давления на выходе из агрегата НР по каналам управления при диаметре частиц загрязнений $D = 10$ мкм и концентрации частиц загрязнений $N_i = 5000$ штук в 100 см^3 авиационного топлива

Проверка адекватности модели функционирования агрегатов ТС осуществлялась на агрегате насос-регулятор (НР-31В) АД (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 появлению отказа агрегата ТС. Проведение исследований с используемой моделью надежности агрегатов ТС с расширением диапазонов значений входных параметров и внутренних параметров системы (агрегатов АД) позволит получить достоверную оценку технического состояния агрегатов ТС при изменении качества 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. С. 39–41. [I. I. Zavyalik, A. N. Stukalov, E. S. Tyutnev, E. V. Fetisov, Improving the methodological apparatus for assessing the reliability of the fuel system of the aircraft for military purposes. 13th international conference "Aviation and cosmonautics – 2014", (in Russian). 17-21 November 2014 Moscow. Theses. SPb.: Workshop press, 2014, pp. 39-41.]

2. **Тимеркеев Р. Г., Сапожников В. М.** Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 152 с. [R. G. Timerkeev., V. M. Sapozhnikov, Industrial purity and fine filtration of working fluids for aircraft, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1986.]

ОБ АВТОРАХ

ЗАВЯЛИК Иван Иванович, адъюнкт каф. инж.-авиационного обеспечения (технической эксплуатации и восстановления авиационной техники) ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Дипл. инж.-мех. (ФВВИА, 2003). Готовит дис. о надежности топливной системы воздушного судна военного назначения.

ФЕТИСОВ Евгений Вячеславович, зам. нач. каф. инж.-авиационного обеспечения (технической эксплуатации и восстановления авиационной техники) ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Дипл. инж.-мех. (СВВАИУ, 1999), канд. техн. наук по спец. «Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения» (ВВИА, 2007). Доц. (ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2015). Иссл. в обл. надежности жидкостно-газовых систем воздушных судов военного назначения.

METADATA

Title: Simulation of the functioning of the units the fuel system of the aircraft for military purposes taking into account changes in the quality of aviation fuel.

Authors: I. I. Zavyalik¹, E. V. Fetisov².

Affiliation:

Air Force Education and Research Center «The Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy», Russia.

Email: ¹zavyalik26@yandex.ru, ²mr_907@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 1 (71), pp. 81–85, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The article describes the developed simulation system in MATLAB Simulink which allows to simulate, explore and predict the technical condition of the units of the fuel system of the aircraft for military purposes, depending on changes in the quality of aviation fuel.

Key words: Reliability, fuel system, unit, parameter, technical condition.

About authors:

ZAVYALIK, Ivan Ivanovich, Postgrad Student, Dept. of Engineering and Aviation Security (technical exploitation and reconstruction of aviation technology). Dipl. Mech. Eng. (FVVIA, 2003).

FETISOV, Evgeny Vyacheslavovich, Deputy Head of the Department of Engineering and Aviation Security (technical exploitation and reconstruction of aviation technology), Dipl. Mech. Eng. (SVVAU, 1999). Cand. of Tech. Sci. (VVIA, 2007).