

УДК 621.7396

М.А. Калашник, Д.Н. Обидин

Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОТДЕЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ПОЛЕТА

Рассмотрены существующие научно-методические подходы по обеспечению функциональной устойчивости сложных технических систем летательного аппарата. Проанализированы основные причины возможных отказов пилотажно-навигационного комплекса на разных этапах полета летательного аппарата. Определена нерешенная ранее задача по обеспечению функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета, предложены новые подходы по разработке эффективной методики обеспечения функциональной устойчивости.

Ключевые слова: пилотажно-навигационный комплекс, функциональная устойчивость, отдельные режимы полета.

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями

При различных режимах полета на работу пилотажно-навигационного оборудования могут воздействовать внутренние и внешние неблагоприятные факторы, способные вывести его из строя или привести к возникновению ошибок в показаниях приборов и позиционирования ЛА в пространстве.

Пилотирование в обычных условиях полетов вырабатывает у летчика определенный стереотип распределения внимания. При отказе каких-либо приборов этот стереотип нарушается, что затрудняет своевременное считывание показаний приборов и может вызвать ошибки в технике пилотирования [1]. Иными словами, если в полете возникла ситуация отказа бортового пилотажно-навигационного оборудования, то пилоту необходимо уделить много времени на настройку или проверку работы данных приборов, оценку ситуации и возможный перезапуск оборудования или устранение неполадки, что негативно отражается на качестве выполнения и безопасности полета.

Основными путями решения проблемы обеспечения заданного уровня безопасности полета в условиях отказа ПНК являются уменьшение влияния человеческого фактора при пилотировании ЛА за счет автоматизации управления и обеспечения минимально необходимого уровня работоспособности систем ЛА путем перераспределения аппаратных, программных и вычислительных ресурсов.

Таким образом, частью проблемы обеспечения безопасности полетов является обеспечение функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата при воздей-

ствии на него внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. В последние годы по мере значительного повышения сложности технических систем и расширения класса задач, решаемых ими, возникла острая необходимость в обеспечении высокого уровня их надежности (безотказности), отказоустойчивости и живучести. Но повышение этих свойств влечет за собой необходимость использования разного рода «избыточности» системы, что значительно ее усложняет.

Для решения этой проблемы Машковым О.А. впервые введено понятие функциональной устойчивости динамической системы [2], «как свойства системы, заключающейся в способности выполнять хотя бы установленный минимальный объем своих функций при отказах в информационной, вычислительной и энергетической частях системы, а также воздействии внешних возмущений, предусмотренных условиями эксплуатации». Кроме того, это понятие включает в себя понятия надежности, отказоустойчивости и живучести.

Дальнейшее развитие понятийный аппарат функциональной устойчивости получил при решении ряда проблем обеспечения функциональной устойчивости для конкретных технических систем.

Так Барабаш О.В. рассмотрел решение проблемы обеспечения функциональной устойчивости распределенных информационных систем [3, 4],

Кравченко Ю.В. была решена проблема ФУ псевдоспутниковых радионавигационных систем [5].

В работах Неделько С.Н. [6] была рассмотрена проблема обеспечения функциональной устойчивости автоматизированной системы управления воздушным движением.

Обидиним Д.Н. была решена проблема обеспечения свойством функциональной устойчивости интеллектуальной системы автоматического управления ЛА [7].

Также отдельные задачи обеспечения функциональной устойчивости отражены в работах Авижиениса А., Пархоменко П.П., Гуляева В.А., Коростиля Ю.М., Демьянчука В.С., Баранова Г.Л., Тоценко В.Г., Кононова А.А., Савченко В.А. и др. отечественных и зарубежных ученых.

Обеспечение функциональной устойчивости достигается применением в сложной системе различных, уже существующих видов избыточности (аппаратурной, структурной, временной, информационной, функциональной, погрузочной и др.) путем перераспределения ресурсов с целью парирования последствий нештатных ситуаций. Особое внимание в теории функциональной устойчивости обращено на то, что на этапе проектирования не должна вводиться дополнительная избыточность, а парирования последствий нештатных ситуаций осуществляются перераспределением уже существующих ресурсов.

Задача состоит в выявлении уже существующей избыточности и формировании сигналов в нужный момент на ее перераспределение. В этом принципиальное отличие задачи обеспечения функциональной устойчивости от задачи построения структурно-избыточных систем.

Одним из актуальных направлений исследований стала разработка интеллектуальных многофункциональных оптимальных систем управления движением летательного аппарата, имеющих развитые свойства адаптации к меняющимся в широких диапазонах условий полета, возникновению нештатных ситуаций.

Особого внимания приобретают меры по обеспечению функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) летательного аппарата (ЛА) на отдельных режимах полета.

Таким образом, теория функциональной устойчивости находится в стадии развития и формирование показателей функциональной устойчивости как показателей эффективности сложных технических систем, включая ПНК ЛА, является важным направлением научных исследований. Задача обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата является одной из наиболее актуальных научных задач навигации и управления воздушным движением.

Целью статьи является разработка новых подходов для решения задач обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета.

Основная часть

К основным задачам, решаемым ПНК ЛА можно отнести задачи построения навигационной программы полета, навигационные задачи, пилотажные задачи и задачи контроля работы ПНК и режимов полета [8]. В зависимости от назначения ЛА, формируется основная целевая задача каждого полета ЛА, которая количественно, как правило, выражается вероятностными параметрами выполнения ЛА задачи в каждом конкретном условиях. Так, полную вероятность выполнения целевой задачи можно представить произведением вероятностей выполнения всех задач ПНК с учетом ограничений, от которых зависит основная целевая задача.

При полете по маршруту вероятность выполнения полной целевой задачи описывается выражением:

$$P = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (1)$$

где $P_1 = P(\Delta x_1 < \Delta_{1\text{пред}})$;

$$P_2 = P(t_{\text{ф}} < t_3);$$

$$P_i = P(a_i < a_{i\text{пред}}), \quad i = \overline{1, n},$$

где под a_i будем понимать некоторые параметры ПНК, такие как масса, стоимость или другие, под параметром $a_{i\text{пред}}$ – предельно допустимые значения параметров, под Δx_i – отклонение i -й координаты вектора состояния, под $\Delta x_{i\text{пред}}$ – предельно допустимые отклонения по i -й координате, – фактическое и заданное время достижения требуемой дальности полета.

Тогда условия, соответствующие выполнению основной задачи можно представить в виде:

$$\Delta x_i(t) < \Delta x_{i\text{гнт}}(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\Delta x_i(t) = x_{i\text{зад}}(t) - x_i(t)$ – отклонение координат вектора состояния $x_i(t)$ от программных $x_{i\text{зад}}(t)$.

Для рассмотрения подходов по обеспечению функциональной устойчивости ПНК проанализируем виды отказов ПНК на отдельных режимах полета.

Под функциональной устойчивостью ПНК ЛА будем понимать его свойство находиться в состоянии работоспособности, т.е. выполнять необходимую, полную целевую задачу в течение заданного интервала времени или наработки в условиях потока отказов из-за воздействия внешних и внутренних факторов.

Анализ исследований отказов и повреждений элементов сложных систем, проведенный различными авторами в работах [7 – 10], позволяет сделать вывод, что отказы в работе ПНК или его мо-

дулей приводят к ошибкам позиционирования ЛА в пространстве и отклонениям ЛА от линии заданного пути, что значительно влияет на уровень безопасности полетов. Основными причинами данных ошибок являются:

программные ошибки, связанные с точностью считывания координат с навигационных карт и некорректным вводом программы полета в устройства памяти ПНК;

ошибки определения координат ЛА, связанные с точностью навигационных приборов и внешними возмущающими воздействиями (тип навигационной системы, ионосферные возмущения, потеря сигнала, радиационное влияние и т.д.);

ошибки стабилизации ЛА относительно линии заданного пути, которые определяются качеством работы контуров траекторного управления в условиях действия внешних возмущений.

Таким образом, учитывая структуру ПНК и основные причины отказов, можно сделать вывод, что система имеет значительную аппаратную и программную избыточность.

Основные отказы и ошибки при работе ПНК можно парировать программным способом. Для этого рассмотрим пилотажно-навигационный комплекс как как распределенную интеллектуальную систему вида:

$$G(V,L), \quad V=\{v_i\}, \quad L=\{l_{ij}\}, \quad i,j = 1,2,\dots,n, \quad (3)$$

где множество вершин V соответствует множеству информационных модулей ПНК размерностью n . Множество ребер L соответствует множеству связей между информационными модулями.

Поскольку обеспечение функциональной устойчивости включает в себя 3 этапа:

этап определения;

этап верификации распределенной базы знаний;

этап парирования отказов ПНК [6],

то введем допущение, что отказ ПНК определен. Тогда для обеспечения функциональной устойчивости ПНК необходимо определить значение функций принадлежности μ_i для отдельных модулей v_i , $i = 1..n$, распределенных информационных модулей ПНК V на основе операций с булевыми векторами корректности модуля X_i , полученного в результате верификации распределенных информационных модулей:

$$\forall i \mid v_i \in V, \quad i = 1, \dots, |V|, \\ \exists \mu_i \mid \mu_i \in M, \quad (4)$$

$$M = \left\{ \mu_i \mid \mu_i = |X_i|^{-1} \cdot \sum_{j=1}^{|X_i|} x_{ij}, \quad i = \overline{1,n} \right\}.$$

После определения достаточной верификационной информации, на основании ее формируется

восстанавливающее управление, которое и завершает этап парирования отказов ПНК.

В общем виде задача этапа парирования заключается в определении нечеткого логического вывода вида:

$$Y = f(x_1, \dots, x_n). \quad (5)$$

На основе верификации (4) информационных модулей ПНК (3) формируется восстанавливающее управление (5) и на основании условий удовлетворения основной задачи (2) определяется вероятность выполнения полной целевой задачи при полете по маршруту или на других отдельных режимах полета.

По данным экспертов [3, 5, 7], такой подход позволит повысить эффективность применения летательного аппарата для различного рода задач, повысить точность пилотирования и безопасность полетов на 15-20%.

Выводы

При различных режимах полета на работу пилотажно-навигационного оборудования могут воздействовать внутренние неблагоприятные факторы, способные вывести из строя или привести к серьезным ошибкам в показаниях приборов.

Кроме того, во время полета на приборное оборудование самолета также влияют различные внешние факторы, что также ухудшает их работоспособность.

При отказах какого-либо оборудования на грузка на пилота увеличивается во много раз, поэтому необходимо принимать меры, которые бы способствовали разгрузке пилотов, тем самым способствуя комфортному, устойчивому и что более важно – безопасному выполнению полета.

Для снижения влияния человеческого фактора и как следствие снижения вероятности ошибки пилота необходимо развить подходы по обеспечению заданного уровня работоспособности систем самолета и автоматизации пилотирования не только в штатных режимах, но и при возникновении внештатных ситуаций на борту ЛА.

Для решения такого рода задач необходимо применять теорию функциональной устойчивости. Методы обеспечения функциональной устойчивости должны быть направлены на более полное использование имеющихся технических ресурсов сложной технической системы. Они должны базироваться на концептуальном принципе активного перераспределения имеющихся ресурсов для достижения поставленных целей, а не на пассивном автоматическом выполнении четкой программы действий.

В традиционных системах автоматического управления автономными объектами, разделен-

ных на отдельные каналы в составе датчиков, вычислителей и исполнительных механизмов, ресурсы (энергетические, вычислительные, информационные), выделяемые на управление, жестко закреплены между соответствующими каналами. При этом невозможность перераспределения ресурсов между каналами ограничивает возможности формирования функционально устойчивого управления [2].

Технологической основой обеспечения функциональной устойчивости стало создание бортовых информационно-управляющих комплексов, которые позволили комплексировать ресурсы системы и осуществлять их перераспределение.

При внедрении новых интеллектуальных систем в авиационной сфере теория функциональной устойчивости получила быстрое развитие.

Системное решение рассматриваемого вида задач управления, состоит в изменении принципа управления – в использовании для управления внутренней структуры и энергоинформационных процессов объекта управления в виде различных эффектов самоорганизации (принципа «синергетического» управления).

Список литературы

1. Выполнение полёта при отказе пилотажно-навигационных приборов на многоместных самолетах [Видеозапись]: Учебный документальный фильм / реж. О. Ананьев, А. Егоров: 1983.
2. Машков О.А. Применение теории функционально устойчивых систем для решения задач навигации и управления объектами вида «макросистема» / О.А. Машков, О.А. Кононов // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ УіН, 2007. – Вип 3. – С. 15 – 19.

3. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

4. Барабаш О.В. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем / О.В. Барабаш, Н.М. Берназ // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2015. – Вип. 12 (137). – С. 97 – 100.

5. Кравченко Ю.В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах / Ю.В. Кравченко, С.В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – К.: ДУТ, 2014. – №1. – С. 12– 18.

6. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 220 с.

7. Обідін Д.М. Аналіз теперішніх та перспективних науково-методичних підходів щодо побудови авіаційних комплексів та систем / Д.М. Обідін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХУПС, 2014. – № 2 (15). – С. 32-34.

8. Рогожин В.О. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. Підручник / В.О. Рогожин, В.М. Сингелазов, М.К. Філяшкін. – К.: НАУ, 2005. – 316 с.

9. Анцелиович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л.Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.

10. Когге Ю.К. Основы надежности авиационной техники / Ю.К. Когге. – М.: Машиностроение, 1993. – 175 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА НА ОКРЕМИХ РЕЖИМАХ ПОЛЬОТУ

М.А. Калашник, Д.М. Обідін

Розглянуті існуючі науково-методичні підходи із забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем літального апарата, теоретичні та практичні напрацювання у цій області. Проаналізовані основні причини можливих відмов пилотажно-навігаційних приладів на різних етапах польоту літального апарату. Визначена невирішена раніше задача по створенню ефективної методики із забезпечення функціональної стійкості пилотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту, запропоновані нові підходи її вирішення.

Ключові слова: пилотажно-навігаційний комплекс, функціональна стійкість, окремі режими польоту.

THE FORMULATION OF THE PROBLEM OF PROVISION OF FUNCTIONAL STABILITY FOR FLIGHT AND NAVIGATION SYSTEM OF AIRCRAFT AT DIFFERENT FLIGHT MODES

M.A. Kalashnyk, D.M. Obidin

There were considered existing scientific and methodological sides of provision of functional stability for complicated technical systems of aircraft, theoretical and practical works in this area. There were analyzed the main reasons of possible failures of flight control and navigation equipment at different flight phases of aircraft, crew actions during some failures of flight control and navigation system. There was defined the part that has been unsolved before, it is creation of effective methods of provision of functional stability for flight and navigation system at different flight modes and there were offered new sides in order to solve it.

Keywords: flight control and navigation system, functional stability, different flight modes.