

На правах рукописи

Селезнева Мария Сергеевна

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и
обработка информации (в технических системах)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный
руководитель:

Неусыпин Константин Авенирович
Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры систем автоматического
управления МГТУ им. Н.Э.Баумана

Официальные
оппоненты:

Афанасьев Валерий Николаевич
Доктор технических наук, профессор
ВШЭ-МИЭМ

Пошехонов Василий Ильич
Кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, НИИ «Фотон»

Ведущая
организация:

Акционерное общество Раменское
приборостроительное конструкторское бюро

Защита состоится «24» октября 2017 года в 14 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, Госпитальный переулок, д. 10, факультет Специального машиностроения МГТУ им Н.Э. Баумана, ауд. 613м.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.bmstu.ru МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан «__»_____2017 г.

Отзывы, заверенные гербовой печатью, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр. 1, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.02.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент

И.В. Муратов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Эффективность применения современных высокоманевренных и сверхманевренных многофункциональных летательных аппаратов (ЛА) определяется не только их летно-техническими характеристиками и вооружением, но и возможностями бортового оборудования по информационному обеспечению боевых действий, управлению оружием и защите ЛА.

Точность измерений параметров ЛА, зависит от условий эксплуатации, конструктивных особенностей измерительных систем и их алгоритмического обеспечения. Алгоритмическое обеспечение измерительных систем ЛА включает алгоритмы оценивания, управления, прогнозирования и комплексирования. Наиболее точную информацию удаётся получить при комплексировании измерительных систем, основанных на разных физических принципах. Например, навигационные комплексы комплексы (НК) малогабаритных беспилотных ЛА состоят из инерциальных навигационных систем (ИНС) и приёмников спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, а возвращающиеся в атмосферу аппараты многоразового действия снабжены ИНС, ГЛОНАСС, радиолокационными, лазерными измерительными системами, астрокорректорами, сигналы которых подвергаются совместной обработке.

Другим примером, являются прицельно-навигационные комплексы (ПНК) ряда боевых самолетов, в частности – Су-27СМ, Су-30СМ, Су-34, МиГ-29К, которые построены по принципу комплексирования измерительных систем вокруг бортовой цифровой вычислительной системы (БЦВС) для решения комплексных задач, задач навигации, управления и взаимодействия с сохранением независимости работы отдельных входящих в комплекс систем.

Большой вклад в создание современных ПНК и их алгоритмического обеспечения внесли Агеев В.М., Джанджгава Г.И., Парусников Н.А., Салычев О.С., Сотников В.И., Степанов О.А., Харин Е.Г., John W. Gichton, Lance Sherry, Giarratano Joseph C., Piley Gary D. Требования, предъявляемые к точности, помехо- и отказоустойчивости, диапазону применения измерительных систем и НК в целом, постоянно возрастают, поэтому разработка новых подходов, алгоритмов обработки информации измерительных систем является актуальным и важным комплексом задач. Одним из перспективных направлений модернизации алгоритмического обеспечения НК является использование интеллектуальных технологий, которые базируются на трудах Васильева В.И., Макарова И.М., Поспелова Д.А., Пупкова К.А., Федосова Е.А., Ke Fang, Alan S. Morris, Reza Langari, Chin L., Grewal S.M., Weill L.R., Andrews A.P. и других ученых. При

реализации алгоритмического обеспечения одной из актуальных задач является определение оптимальных структур моделей исследуемых процессов. Решению задачи построения модели системы с неопределенным порядком посвящены труды Красовского А.А., Микрина Е.А., Зубова Н.Е., Ивахненко А.Г., Курдюмова, Копысова О.Ю., Лайона П.М., Крайссельмайера и др. Разработка структур НК, алгоритмического обеспечения с интеллектуальными компонентами для НК представляет собой сложный комплекс задач, решение которого позволит повысить точность навигационных определений современных и перспективных ЛА.

Объект исследования. В качестве основного объекта исследования в диссертации рассматривается НК атмосферных ЛА.

Предметом исследования служат структуры НК, алгоритмы обработки информации навигационных систем на борту ЛА.

Целью работы является разработка и исследование перспективных структур НК ЛА, а также алгоритмов комплексирования на борту ЛА.

Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

1. Исследование особенностей структур НК современных и перспективных ЛА.
2. Разработка алгоритмов комплексирования измерительных систем ЛА.
3. Разработка алгоритмов обработки информации НК, функционирующих длительное время в условиях отсутствия коррекции от РСБН, РСДН.
4. Разработка структуры и алгоритмов обработки информации перспективных НК высокоточных ЛА.

Методы исследования. При решении сформулированных задач использовались методы теории автоматического управления, навигационных систем, интеллектуальных систем, методы системного синтеза и самоорганизации, математического и полунатурного моделирования и программный пакет MATLAB.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Результаты системного анализа существующих структур НК ЛА. Выявлены недостатки и намечены пути совершенствования структур алгоритмическим путем.
2. Разработана структура НК с интеллектуальной компонентой для ЛА, способная изменять свой рабочий контур в зависимости от уровня помех и условий полета ЛА. Алгоритмическое обеспечение НК ЛА дополнительно включает алгоритм самоорганизации, алгоритм прогноза, критерий сравнения прогноза и текущего состояния комплекса.

3. Разработан алгоритм комплексирования, включающий расширенный ансамбль критериев селекции, позволяющий формировать оптимальную структуру НК, а также строить модели с желаемыми характеристиками наблюдаемости и управляемости.

4. Разработан комплекс алгоритмов для НК, функционирующего длительное время без коррекции от стационарных навигационных станций, включающий алгоритм управления, который использован для компенсации погрешностей в структуре ИНС.

5. Предложен и разработан подход динамического системного синтеза алгоритмов обработки информации НК перспективного ЛА, позволяющий изменять конфигурацию НК, алгоритмов и моделей в полете.

Практическая значимость результатов исследования.

Использование разработанного алгоритма комплексирования позволило выбирать наилучшую структуру НК на всех интервалах полета.

В условиях длительных полетов без коррекции от стационарных наземных станций модели погрешностей платформенных ИНС становятся неадекватны реальному процессу (углы отклонения ГСП увеличиваются), поэтому разработан алгоритм коррекции в структуре ИНС, обеспечивающий сохранение малости углов отклонения ГСП относительно выбранной системы координат.

Разработанный подход динамического системного синтеза позволяет использовать в алгоритмическом обеспечении НК компактные модели, что существенно упрощает реализацию алгоритмов в БЦВС.

Результаты диссертации использованы в учебном процессе кафедр «Системы автоматического управления» и «Технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов подтверждены корректным использованием методов и алгоритмов теории управления, результатов теории интеллектуальных систем, достаточным объемом математического и полунатурного моделирования, а также полученными непротиворечивыми результатами, которые согласуются с известными данными, опубликованными в открытой печати.

Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту. Комплекс алгоритмов обработки информации НК ЛА, реализующий подход динамического системного синтеза и включающий алгоритм комплексирования с ансамблем критериев селекции, адаптивный фильтр Калмана, алгоритм самоорганизации, алгоритм управления для компенсации погрешностей в структуре ИНС.

Комплекс алгоритмов перспективного НК ЛА, позволяющий изменять конфигурацию комплекса, основанный на элементах теории интеллектуальных систем.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждены на: второй международной научно-практической конференции «Теоретические и практические исследования XXI века» (Дедовск, 2016г.); второй международной научно-практической конференции «Достижения вузовской науки» (Дедовск, 2016г.); международной научно-практической конференции «Наука сегодня: проблемы и пути решения» (Вологда, 2016г.); Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2015); втором международном симпозиуме «Современные аспекты фундаментальных наук» (Дедовск, 2015); международной научной конференции «Актуальные вопросы фундаментальных наук» (Дедовск, 2014); первом международном симпозиуме «Современные аспекты фундаментальных наук» (Дедовск, 2013); международной конференции. «Будущие исследования» (София, 2014); международной конференции. ИСТ-2014 (Нижний Новгород, 2014); международной конференции. ИСТ-2015 (Нижний Новгород, 2015).

научном семинаре кафедры «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 научных работы, из них 4 статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ, 2 статьи в журналах, входящих в перечень Scopus, общий объемом 4.5 п.л.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Текст диссертации изложен на 143 машинописных страницах, содержит 43 рисунка. Список литературы содержит 102 источника.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации рассмотрены НК современных и перспективных ЛА, выявлены их недостатки и достоинства.

Для управления современными высокоточными ЛА используются НК, состоящие из максимально возможного количества измерительных систем и датчиков, а также алгоритмического обеспечения.

В НК в качестве базового источника информации используют ИНС. Погрешности ИНС обусловленные дрейфом гироскопов, акселерометров и другими возмущающими факторами с течением времени эксплуатации достигают значительных величин. Поэтому для повышения точности измеряемой информации используют алгоритмы коррекции ИНС. Коррекция ИНС предусматривает использование внешних по отношению к ИНС источников информации. Алгоритмы обработки информации НК обычно используют математические модели, в частности модели погрешностей ИНС. Как правило, это линейные модели погрешностей

ИНС, которые с течением времени становятся неадекватными реальному процессу.

Перспективным способом повышения точности навигационных определений является использование селективных НК. Во время функционирования ЛА постоянно происходит изменение конфигурации НК с целью получения наиболее достоверной измерительной информации, т.е. на разных интервалах работы, с ИНС комплексируют различные внешние измерительные системы. Переключение на одну или другую структуру проводится с использованием какого-либо критерия степени наблюдаемости (Кузовков Н.Т., Парусников, Неусыпин К.А.), который определяется по текущей информации.

В условиях отключения внешних измерительных систем используется коррекция автономной ИНС с помощью прогноза погрешностей и их компенсации в выходном сигнале. Прогнозирующая модель погрешностей ИНС строится в полете.

Структурная схема НК, предусматривающего функционирование базовой ИНС в автономном режиме, представлена на Рис. 1.

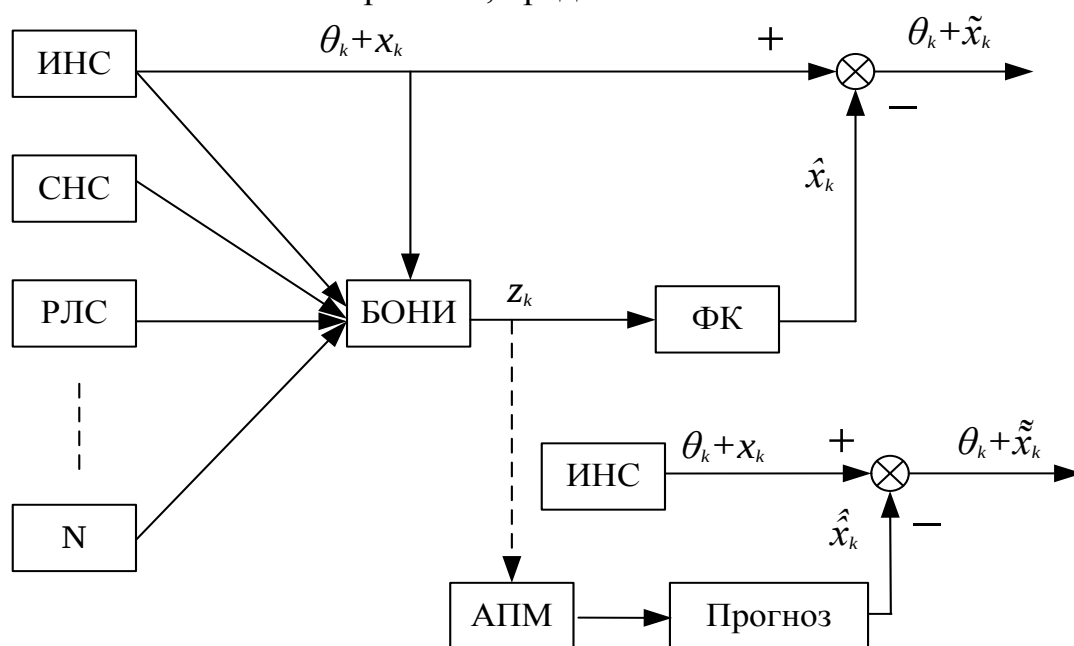


Рис. 1. Навигационный комплекс, функционирующий в режиме коррекции и в автономном режиме

Здесь введены следующие обозначения: БОНИ – блок определения степеней наблюдаемости и формирования измерений; ФК – фильтр Калмана; АПМ – алгоритм построения модели; θ_k – истинная информация о навигационных параметрах ЛА; x_k – вектор погрешностей ИНС; z_k – вектор измерений; $\hat{x}_k$ – вектор оценки погрешностей ИНС; $\tilde{x}_k$ – вектор ошибок оценивания; $\hat{\tilde{x}}_k$ – вектор прогноза погрешностей ИНС; $\tilde{\tilde{x}}_k$ – вектор ошибок прогноза.

При использовании селективного НК сказывается влияние эффекта

старения измерений, не учитываются нелинейные составляющие используемых моделей погрешностей ИНС, что приводит к снижению точности навигационных определений.

Сформулирована постановка задачи диссертационного исследования. Для повышения точности алгоритмов обработки информации НК предлагается разработать структуру НК на основе использования интеллектуальных технологий, применять в алгоритмическом обеспечении модели с улучшенными характеристиками.

Во второй главе разработан перспективный НК высокоточных ЛА представляет собой НК с интеллектуальной компонентой. В качестве интеллектуальной компоненты использован акцептор действия, который включает алгоритм построения прогнозирующей модели погрешностей ИНС, алгоритмы прогноза и сравнения текущих измерений с прогнозом.

Структура НК с интеллектуальной компонентой представлена на Рис. 2.

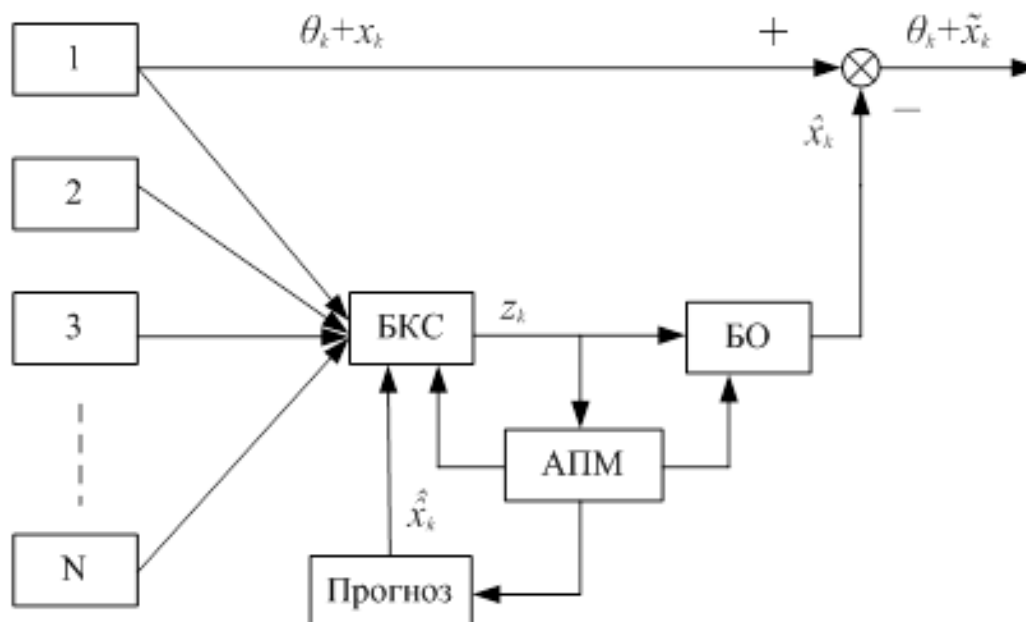


Рис. 2. Структура навигационного комплекса с интеллектуальной компонентой

На Рис. 2 введены следующие обозначения: 1 – базовая навигационная система, обычно ИНС; 2, ..., N – датчики и измерительные системы внешней информации; БКС – блок комплексирования и сравнения; БО – блок оценивания; АПМ – алгоритм построения модели; θ_k – истинная навигационная информация; x_k – погрешности ИНС; z_k – измерения; $\hat{x}_k$ – оценки погрешностей ИНС; $\tilde{x}_k$ – ошибка оценивания; $\hat{\hat{x}}_k$ – прогноз погрешностей ИНС.

В БКС определяются степени наблюдаемости, формируются измерения для алгоритма оценивания (БО) и построения прогнозирующих

моделей (АПМ), а также проводится сравнение текущей апостериорной информации с результатами прогноза.

Полученная в АПМ математическая модель погрешностей ИНС используется в БО для оценки погрешностей ИНС, а также для их прогноза на некотором интервале времени, который выбирается в соответствии с режимом функционирования ЛА.

Степени наблюдаемости вычисляются для погрешностей ИНС при комплексировании с каждым внешним датчиком и по максимальному значению степени наблюдаемости выбирается наилучшая структура НК. В критерии степени наблюдаемости используются информация о прогнозных значениях погрешностей ИНС и параметры математической модели погрешностей ИНС.

Блок БО реализован в виде адаптивной модификации нелинейного фильтра Калмана, который вычисляет оценки погрешностей ИНС. А блок АПМ – представляет собой алгоритм самоорганизации, на выходе которого получаем нелинейную прогнозирующую модель погрешностей ИНС.

Третья глава посвящена разработке НК с нелинейным регулятором. При функционировании ЛА на длительных временных интервалах для предотвращения нарастания погрешностей ИНС применяется коррекция в структуре ИНС с помощью линейного редуцированного регулятора. НК с коррекцией ИНС в структуре представлен на Рис.3.

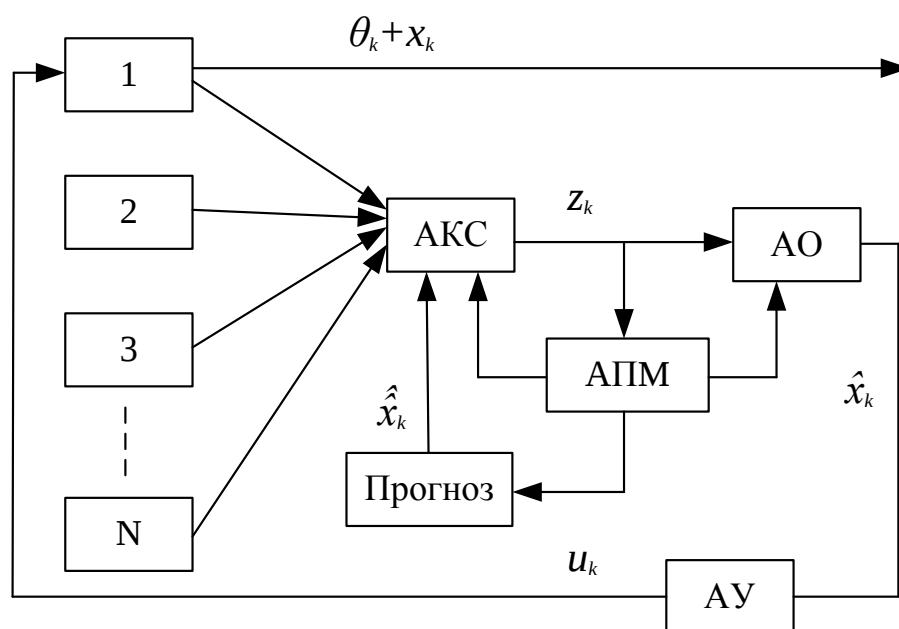


Рис. 3. Структура навигационного комплекса с интеллектуальной компонентой и коррекцией в структуре ИНС

На Рис. 3 введены следующие обозначения: АКС – блок, включающий ансамбль критериев селекции; АО – алгоритм оценивания; АПМ – алгоритм построения модели; АУ – алгоритм управления; θ_k –

истинная навигационная информация; x_k – вектор погрешностей ИНС; z_k – вектор измерений; $\hat{x}_k$ – вектор оценки погрешностей ИНС; $\hat{\hat{x}}_k$ – вектор прогноза погрешностей ИНС; u_k – вектор управления.

Блок АКС содержит критерии селекции, в частности критерии степени наблюдаемости и управляемости. С помощью этих критериев выбираются измерительные системы, которые позволяют строить модели с максимальными степенями наблюдаемости и управляемости.

В блоке АУ осуществляется реализация алгоритма управления и на выходе получаем вектор управления u_k .

В известном алгоритме управления используется линейная математическая модель погрешностей ИНС, поэтому при реализации известного НК в АПМ применяется алгоритм самоорганизации с резервированием линейных трендов. Для получения более высокой точности НК целесообразно использовать нелинейные модели погрешностей ИНС.

Разработан нелинейный алгоритм управления для коррекции ИНС. Нелинейные погрешности ИНС описываются векторным дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x(t) &= f(t, x) + g_1(t, x)w(t) + g_2(t, x)u(t), \quad x(t_0) = x_0, \\ y(t) &= h(t, x). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $f(t, x)$, $g_1(t, x)$, $g_2(t, x)$, $h(t, x)$ действительны и непрерывны.

Чтобы формировать управление $u(t)$ для коррекции в структуре ИНС, представим систему (1) в эквивалентном виде: модель имеет структуру линейных дифференциальных уравнений с параметрами, зависящими от состояния (State Dependent Coefficient, SDC), и функционалами, матрицы штрафа которых также могут зависеть от состояния объекта.

После применения метода SDC-представления, система (1) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x(t) &= A(t, x)x(t) + g_1(t, x)w(t) + g_2(t, x)u(t), \quad x(0) = x_0, \\ y(t) &= H(t, x)x(t). \end{aligned} \quad (2)$$

SDC-представление нелинейной системы (2) является управляемым т.е. существуют положительно определенные матрицы $P_{C1}(x)$ и $P_{C2}(x)$ (грамианы управляемости), являющиеся решениями уравнений Ляпунова

$$\begin{aligned} A(t, x)P_{C_1}(t, x) + P_{C_1}(t, x)A^T(t, x) + g_1(t, x)g_1^T(t, x) &= 0, \\ A(t, x)P_{C_2}(t, x) + P_{C_2}(t, x)A^T(t, x) + g_2(t, x)g_2^T(t, x) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Оптимальные управления определяются соотношениями

$$\begin{aligned} w(t) &= P^{-1}g_1^T(x) [\hat{S}(x)x(t) + \hat{q}(x)], \\ u(t) &= -R^{-1}g_2^T(x) [\hat{S}(x)x(t) + \hat{q}(x)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Для определения матрицы $S(x)$ и $q(x)$ использован метод обратной прогонки. В результате матрицы $\hat{S}(x)$ и $\hat{q}(x)$ определяются решениями уравнений

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \hat{S}(x) + A^T(x)\hat{S}(x) + \hat{S}(x)A^T(x) - \hat{S}(x)\Pi(x)\hat{S}(x) + C^TQC &= 0, \hat{S}_0 = \hat{S}(x_0), \\ \frac{d}{dt} \hat{q}(x) + [A^T(x) - \hat{S}(x)\Pi(x)]\hat{q}(x) &= 0, \hat{q}(x_0) = q_0, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\Pi(x) = g_2(x)R^{-1}g_2^T(x) - g_1(x)P^{-1}g_1^T(x)$.

Объект (1) с управлениями (4) принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x(t) &= f(t, x) - \Pi(x) [\hat{S}(x)x(t) + \hat{q}(x)], x(t_0) = x_0, \\ y(t) &= H(t, x)x(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Управление системой осуществляется в соответствии с алгоритмом

$$u(t) = -R^{-1}B(\hat{x})^T S_0 \hat{x}(t), \quad (7)$$

где положительно определенная матрица S_0 является решением уравнения

$$S_0 A_0 + A_0^T S_0 - S_0 B_0 R^{-1} B_0^T S_0 + H^T Q H = 0. \quad (8)$$

Управления с использованием линейной модели и квадратичным критерием качества обеспечивают устойчивость этой модели при любых начальных условиях. Таким образом, в частной постановке задачи синтеза решена задача управления нелинейной системой с использованием SDC-метода и получен нелинейный алгоритм управления для коррекции ИНС.

Четвертая глава посвящена разработке способа формирования алгоритмического обеспечения НК на основе подхода динамического системного синтеза. Рассмотрен способ формирования алгоритмического обеспечения НК с переменной структурой, основанный на концепции системного синтеза. В процессе функционирования НК выбирается его приборный состав, в алгоритмах коррекции используются математические модели, построенные для наиболее эффективных переменных состояния

на каждом интервале работы НК. Выявление используемых переменных состояния моделей проводится с помощью ансамбля критериев селекции в полете. Системный синтез моделей осуществляется в динамике в зависимости от режима полета ЛА. В алгоритмах обработки информации НК использованы модели с максимально возможными степенями наблюдаемости и управляемости переменных состояния (Кузовков Н.Т., Парусников, Неусыпин К.А., Фам Суан Фанг, Шэнь Кай).

В случае потери информационного контакта с внешними измерительными системами для коррекции используются прогнозирующие модели погрешностей ИНС, построенные с помощью алгоритма самоорганизации. Каждой базисной функции поставим в соответствие вектор параметров. Рассмотрим случай двухмерного вектора $(a, f)^T$, где a – амплитуда, f – частота. Тогда имеем параметризованное множество базисных функций

$$F_n = \{a_{ii}(f_i x) | i = 1, \dots, N\}. \quad (9)$$

Набор базисных функций определяется с учётом априорной информации об исследуемом процессе. Модель имеет вид:

$$M(x) = \sum_{i=1}^N a_i \mu_{ni}(f_i x), \quad (10)$$

где N – число базисных функций в модели; μ_{ni} – базисные функции из F_n .

В БКС определяются степени наблюдаемости, формируются измерения для алгоритмов оценивания и построения прогнозирующих моделей.

Полученная на основе проведенных измерений математическая модель используется в алгоритме оценивания, в критерии селекции измерительных сигналов, а также с помощью математической модели осуществляется прогноз состояния системы и по результатам прогноза определяют состав НК. Если на первом этапе функционирования НК некоторые компоненты вектора состояния были слабонаблюдаемыми и не подвергались оцениванию, то с течением времени появляется возможность использовать более подробную модель исследуемого процесса и степень наблюдаемости этих компонент может увеличиться. В этом случае слабонаблюдаемые компоненты переходят в разряд оцениваемых компонент вектора состояния.

Если использование более подробной модели приводит к тому, что степень наблюдаемости конкретного параметра увеличивается, то оцениваемый вектор состояния расширяется и в конечном итоге (в случае, когда все параметры НК становятся «хорошо» наблюдаемыми) осуществляется переход от редуцированного к обычному полному вектору состояния.

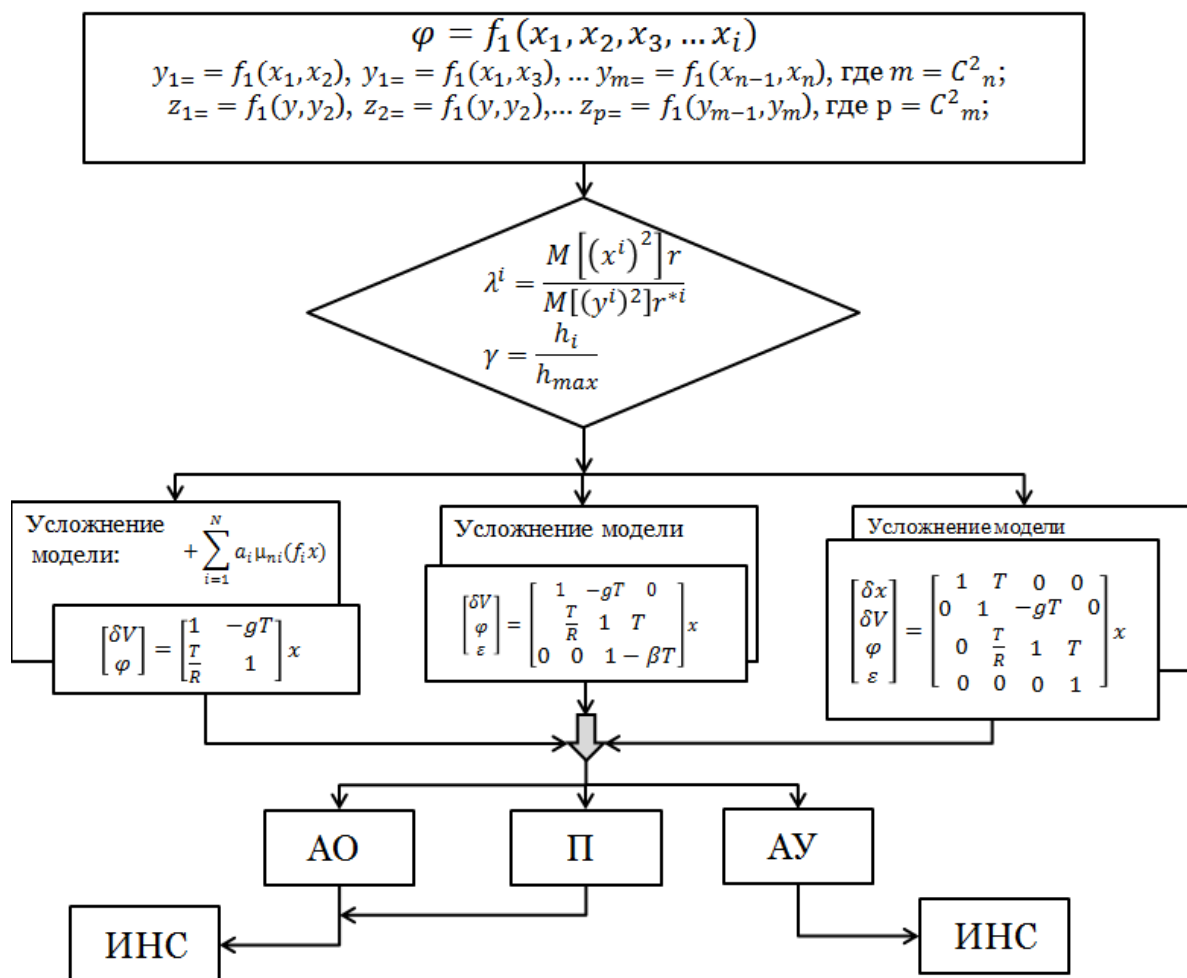


Рис. 4. Структурная схема алгоритма построения модели погрешностей ИНС с использованием динамического системного синтеза

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов.

Результаты математического моделирования работы НК с использованием тестовых моделей погрешностей ИНС представлены на Рис. 5-7.

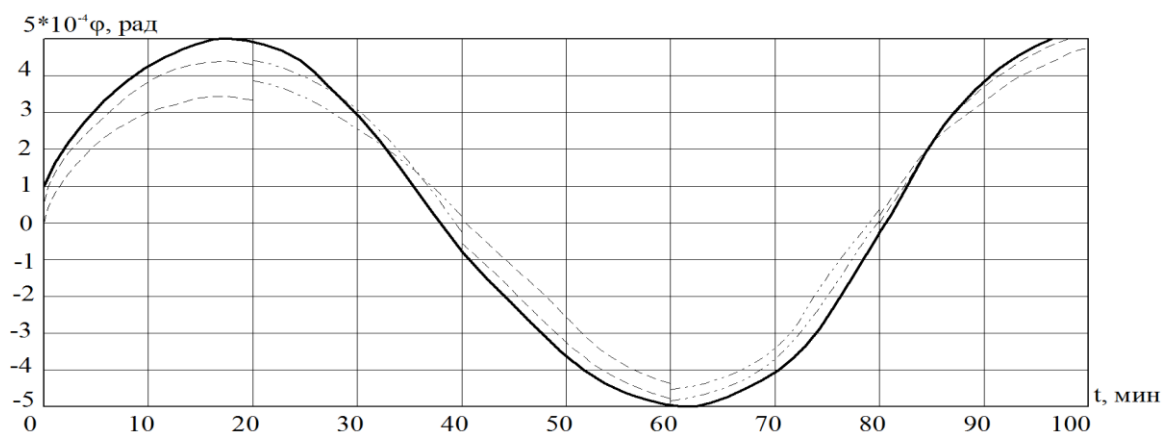


Рис. 5. Погрешность ИНС в определении скорости и ее оценки селективным НК и НК с интеллектуальной компонентой.

По результатам математического моделирования точность определения углов отклонения ГСП с помощью разработанного НК с интеллектуальной компонентой повышается в среднем на 7%.

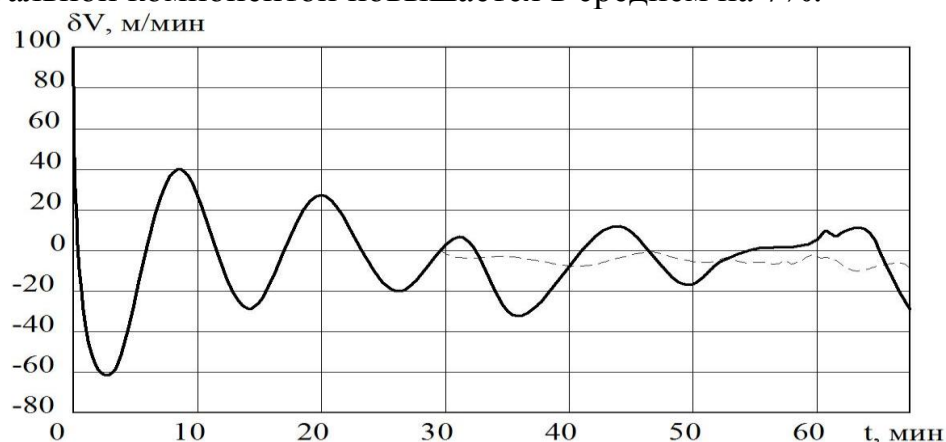


Рис. 6. НК с интеллектуальной компонентой при коррекции в структуре ИНС (ошибки в определении скорости)

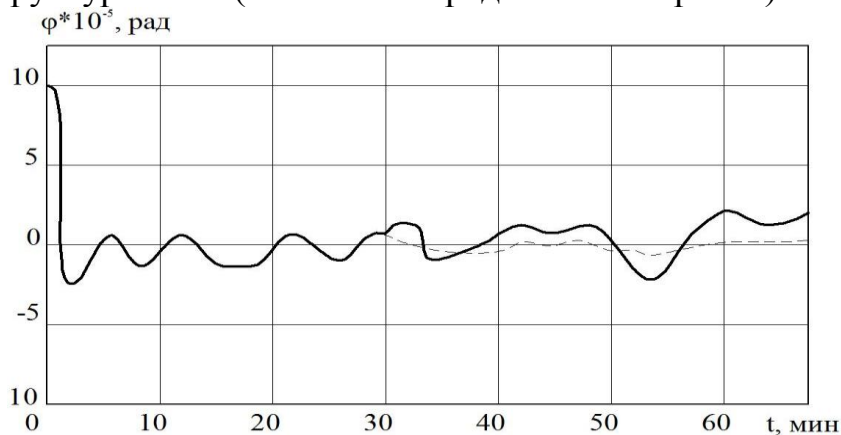


Рис. 7. НК с интеллектуальной компонентой при коррекции в структуре ИНС (ошибки в определении углов отклонения ГСП)

По результатам математического моделирования точность вычисления ошибок в определении скорости с помощью разработанного НК с коррекцией в структуре ИНС повышается в среднем на 7%, ошибок в определении углов отклонения ГСП повышается на 10%

Результаты моделирования по данным лабораторного эксперимента продемонстрировали высокую эффективность разработанного подхода динамического системного синтеза КОИ. Точность навигационных определений скорости ЛА в среднем повышается на 8%; угла отклонения ГСП – 10-12%; скорости дрейфа ГСП – 15%.

Результаты моделирования по реальным данным ИНС Ц060 продемонстрировали работоспособность использованного нелинейного алгоритма управления, базирующегося на SDC-представлении нелинейной модели погрешностей ИНС. С помощью разработанного алгоритма управления удастся существенно повысить точность навигационных

определений ЛА.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Проведен системный анализ существующих структур НК ЛА. Выявлены недостатки и намечены пути совершенствования структур алгоритмическим путем с использованием элементов теории интеллектуальных систем, концепции системного синтеза и методов комплексирования с использованием в ансамбле селекции критериев степени наблюдаемости и управляемости.

2. Разработана структура НК с интеллектуальной компонентой, способная изменять свой рабочий контур в зависимости от уровня помех и условий полета ЛА. Алгоритмическое обеспечение НК ЛА дополнительно включает алгоритм самоорганизации, алгоритм прогноза и критерий сравнения прогноза и текущего состояния комплекса.

3. Разработан алгоритм комплексирования, включающий расширенный ансамбль критериев селекции, включающий критерии степени наблюдаемости и управляемости, позволяющий формировать оптимальную структуру, а также строить модели с желаемыми характеристиками наблюдаемости и управляемости.

4. Разработан комплекс алгоритмов для НК, функционирующего длительное время без коррекции от стационарных навигационных станций, включающий нелинейный алгоритм управления, который использован для компенсации погрешностей в структуре ИНС. При синтезе алгоритма управления использован метод SDC-представления нелинейной модели.

5. Предложен и разработан подход динамического системного синтеза алгоритмов обработки информации НК перспективного ЛА, позволяющий изменять конфигурацию НК, алгоритмов и моделей в полете.

Перспективы дальнейшей разработки связаны с исследованием других качественных характеристик моделей алгоритмического обеспечения НК ЛА, а также с расширением применения концепции динамического системного синтеза.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка измерительного комплекса с интеллектуальной компонентой // Измерительная техника. 2016. №9. С. 10-14 (1,06 п.л./0,53 п.л.)

2. Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Измерительный комплекс с интеллектуальной компонентой для летательного аппарата //

Автоматизация. Современные технологии. 2016. №9. С. 27-30 (1 п.л./ 0,5 п.л.)

3. Навигационный комплекс с повышенными характеристиками наблюдаемости и управляемости / Селезнева М.С. [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. 2016. №6. С. 18-24 (1,2 п.л./ 0,24 п.л.)

4. Динамический системный синтез алгоритмического обеспечения навигационного комплекса летательного аппарата / Селезнева М.С. [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. №2 С. 36-42 (1 п.л./ 0,25 п.л.)

5. Фам С.Ф., Селезнева М.С. Система управления летательными аппаратами с использованием концепции системного синтеза // Теоретические и практические исследования XXI века. Труды II международной научно-практической конференции. 2016. С. 104-106. (0,3 п.л./ 0,15 п.л.)

6. Нгуен Д.Т., Селезнева М.С. Выбор приоритетной ИНС в составе бортового комплекса для решения целевых задач ЛА // Достижения вузовской науки. Труды II международной научно-практической конференции. 2016. С. 127-130 (0,2 п.л./ 0,1 п.л.)

7. Фам С.Ф., Неусыпин К.А., Селезнева М.С. Разработка компактного алгоритма самоорганизации // Наука сегодня: проблемы и пути решения. Материалы международной научно-практической конференции в 2 частях. 2016. №6. С.64-65. (0,3 п.л./ 0,1 п.л.)

8. Селезнева М.С. Селективный измерительный комплекс для летательного аппарата // Наука сегодня: проблемы и пути решения. Материалы международной научно-практической конференции в 2 частях. 2016. №6. С.66-67. (0,2 п.л./ 0,2 п.л.)

9. Селезнева М.С., Пролетарский А.В. Система управления летательными аппаратами с использованием концепции системного синтеза // Технические науки – от теории к практике. 2016. №54. С. 73-77. (0,4 п.л./ 0,2 п.л.)

10. Селезнева М.С. Применение интеллектуальных технологий при проектировании систем управления и измерительных комплексов // Технические науки – от теории к практике. 2016. №58-1. С. 93-98. (0,4 п.л./ 0,4 п.л.)

11. Неусыпин К.А., Селезнева М.С. Разработка навигационного комплекса с интеллектуальной компонентой // Будущее машиностроения России. Сборник докладов восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. 2015. С. 1115-1118. (0,4 п.л./ 0,2 п.л.)

12. Пролетарский А.В., Селезнева М.С. Измерительный комплекс с интеллектуальной компонентой для летательного аппарата // Современные аспекты фундаментальных наук. Труды второго международного симпозиума. 2015. С. 196-199. (0,3 п.л./ 0,15 п.л.)

13. Селезнева М.С., Оглоблина Ю.С. Построение самоорганизующейся модели с высокой степенью наблюдаемости // Научный взгляд. Труды международной научно-практической конференции. 2015. С. 250-253. (0,2 п.л./ 0,1 п.л.)
14. Высокова М.С., Кабакова А.С., Чан Н.Х. Методы коррекции навигационных систем летательных аппаратов // Молодежный научно-технический вестник. 2015. №2. С. 18. (0,2 п.л./ 0,06 п.л.)
15. Высокова М.С., Чан Н.Х. Разработка алгоритмов коррекции навигационных систем // Актуальные вопросы фундаментальных наук. Труды международной научной конференции. 2014. С. 155-158. (0,2 п.л./ 0,1 п.л.)
16. Задача коррекции инерциальных навигационных систем с использованием самоорганизующейся прогнозирующей модели / Селезнева М.С. [и др.] // Технические науки – от теории к практике. 2016. №12. С. 28-33. (0,4 п.л./ 0,1 п.л.)
17. Селезнева М.С. Разработка селективного измерительного комплекса КЛА // Труды первого международного симпозиума «Современные аспекты фундаментальных наук». 2013. С.262-263. (0,1 п.л./ 0,1 п.л.)
18. Чан Н.Х., Высокова М.С. Коррекция навигационной системы КОМПАНАВ-2 с помощью алгоритма прогноза // Труды международной конференции. ИСТ-2014. С.283. (0,2 п.л./ 0,1 п.л.)
19. Селезнева М.С. Разработка высокоточных навигационных комплексов космических летательных аппаратов // Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXXIX академических чтений по космонавтике. 2015. С.420 (0,1 п.л./ 0,1 п.л.)
20. Селезнева М.С., Кабакова А.С. Использование концепции системного синтеза в алгоритмах построения моделей летательного аппарата // Труды международной конференции. ИСТ-2015. С.258. (0,2 п.л./ 0,1 п.л.)
21. Селезнева М.С. Разработка навигационного комплекса летательного аппарата на основе концепции системного синтеза // Технические науки – от теории к практике. 2017. №2(62). С. 12-16. (0,4 п.л./ 0,4 п.л.)
22. Novel variable structure measurement system with intelligent components for flight vehicles / Maria S. Selezneva [and others] // Metrology and measurement systems. Vol. 24 (2017), No. 2, pp. 347–356. (1 п.л./ 0,25 п.л.)
23. Selezneva M.S., Neusypin K.A. Development of a measurement complex with intelligent component // Measurement Techniques, Vol. 59, №9, December 2016. pp. 916-922. (1,06 п.л./ 0,53 п.л.)