На правах рукописи

Шолохов Денис Олегович

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в технических системах), (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



_____/Шолохов Д. О./

МОСКВА - 2012

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель:

д.т.н., доцент, декан фак. ИУ
Пролетарский Андрей Викторович

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор Афанасьев Валерий Николаевич (зав. каф. Кибернетики МИЭМ)
к.т.н., доцент Егоров Сергей Александрович (нач. отдела НИИ СМ МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Ведущая организация:

ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н. А. Пилюгина»

Защита состоится 07 февраля 2012 г. в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н. Э. Баумана

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1988077
Шолохов Д.О.Разработка мет

Автореферат разослан 29 декабря 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент Муратов И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Объем задач, которые необходимо решать беспилотными летательными аппаратами (БЛА) в современных условиях, постоянно возрастает, поэтому требования по быстродействию, надежности, точности и др., предъявляемые к системам БЛА, неуклонно увеличиваются. Обеспечение требуемых характеристик систем БЛА может осуществляться двумя способами: конструкторским и алгоритмическим. Конструкторский способ предполагает наличие новой технологической базы, длительного времени и существенных финансовых затрат. Алгоритмический способ позволяет достичь требуемого результата за короткое время с минимальными финансовыми затратами.

Успешное решение задач управления БЛА во многом определяется уровнем развития измерительной техники. Эксплуатационные характеристики БЛА в большой степени определяются совершенством бортового оборудования, в частности, качеством информационно-измерительных сигналов, используемых для управления. Источником информационно-измерительных сигналов о местоположении, ориентации, скорости и других параметрах движения являются различные измерительные системы и навигационные комплексы (НК).

Измерительные сигналы этих систем имеют погрешности, обусловленные конструктивными особенностями и условиями функционирования БЛА. Повышение точности измерительной информации предполагает исследование причин возникновения погрешностей и последующую их компенсацию алгоритмическим путем.

БЛА функционируют в сложных условиях окружающей среды, пассивных и активных помех и активного противодействия. Поэтому их СУ должна обеспечивать высокую точность движения БЛА, эффективное маневрирование и др.

В современных СУ БЛА применяются подходы синтеза терминального управления с учетом априорной статистической информации, с учетом специфики многокритериальных задач, специфики управления объектами с перенастраиваемой в полете целью.

Существенный прогресс в области построения терминальных регуляторов связан с результатами разработки адаптивных алгоритмов управления, которые отличаются высокой точностью и позволяют эффективно решать поставленные задачи.

Адаптивный подход предполагает оперативное уточнение в полете априорной информации, которая используется при формировании терминального управления.

Алгоритмы управления реализуются в СУ БЛА, которые имеют разнообразные структуры. В современных СУ БЛА обычно используются самооптимизирующиеся регуляторы и регуляторы с эталонной моделью, в перспективных СУ БЛА применяются интеллектуальные структуры: интеллектуализированные СУ, СУ с интеллектуальными компонентами и

полностью интеллектуальные системы. Однако последние сложны в реализации и на современном этапе возможность их реализации в перспективных БЛА ограничена. Реализуемой интеллектуальной компонентой СУ является акцептор действия, в качестве базового элемента которого используется алгоритм построения прогнозирующих моделей. Построение прогнозирующих моделей осуществляется и для повышения точности измерительной информации в НК БЛА. Таким образом, задача построения прогнозирующих моделей является важной и актуальной.

Современные и перспективные БЛА решают целый комплекс задач, в частности определение (априорное и в процессе полета) достижимой точности выполнения поставленной задачи. Для возвращающихся в атмосферу БЛА одноразового действия актуальной является задача оценивания точности доставки полезного груза в район приземления, как перед пуском, так и в полете. Для атмосферных БЛА актуальна задача оценивания точности поражения цели из различных точек пространства.

Целью работы является разработка и исследование алгоритмов комплексирования, построения прогнозирующих моделей и способов оценки точности измерительных комплексов и систем управления БЛА.

Задачи, решаемые в диссертации. Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие основные задачи:

1. Проведена классификация современных БЛА, исследованы их структуры систем управления и алгоритмы управления;
2. Исследованы измерительные системы и комплексы современных БЛА;
3. Исследованы методы повышения точности измерительных комплексов БЛА различной конфигурации, функционирующие в разнообразных условиях;
4. Разработаны алгоритмы построения прогнозирующих моделей;
5. Модифицирована методика оценки рациональных требований к характеристикам интеллектуализированной СУ и измерительного комплекса БЛА для случая ее вычисления в процессе полета на основе текущих измерений и прогнозирующих моделей.

На защиту выносятся:

1. Каскадный метод комплексирования, предполагающий двухэтапную селекцию измерительной информации.
2. Компактный алгоритм самоорганизации, в ансамбль критериев селекции которого включены критерии простоты модели и критерий выделения трендов различного уровня подробности.
3. Генетический алгоритм с упрощенной процедурой построения модели.
4. Способ априорной оценки точности измерительных систем БЛА и определения конфигурации навигационного комплекса, обеспечивающего заданную точность.
5. Способ оценки точности поражения цели с помощью анализа прогноза ошибок ИНС и повышение точности поражения цели в процессе

движения БЛА с помощью изменения сценария полета в интеллектуализированной СУ БЛА на основе анализа погрешностей ИНС.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов заключается в проведенном системном анализе существующих СУ БЛА, выборе наиболее перспективной структуры СУ БЛА, анализе ошибок измерительных систем, НК БЛА и разработке каскадного метода комплексирования измерительных систем перспективного БЛА.

Первый этап комплексирования предполагает определение структуры комплекса на основе анализа трендов моделей погрешностей навигационных систем, а второй этап – прецизионное определение структуры комплекса на основе анализа нелинейных моделей ошибок навигационных систем, в результате которого подтверждается выбранная структура или синтезируется новая структура НК..

Компактные прогнозирующие модели получены с помощью алгоритма самоорганизации, в ансамбль селекции которого включены критерии простоты модели, позволяющие выбирать более компактные модели при близких значениях ансамбля критериев селекции, а также критерий выделения трендов, позволяющий выделять тренды различного уровня подробности.

Представлен генетический алгоритм с упрощенной процедурой построения модели, предусматривающей использование ограниченного базиса генов, а также мейоза, который заключается в сокращении числа хромосом при делении.

Разработан способ априорной оценки точности измерительных систем БЛА, на основе которого осуществляется вычисление точности поражения цели, а также решена обратная задача определения конфигурации НК, обеспечивающего заданную точность.

Разработан способ динамической оценки точности поражения цели. Предложенные способы оценки основаны на анализе прогноза ошибок измерительных систем.

Практическая ценность результатов диссертационной работы состоит в разработке модифицированных компактных быстродействующих алгоритмов построения прогнозирующих математических моделей погрешностей инерциальных навигационных систем, которые используются для определения структуры НК, в интеллектуализированных СУ БЛА и для априорного и динамического оценивания точности выполнения БЛА поставленных задач. Априорная и динамическая оценки точности выполнения задач БЛА позволяют выбрать рациональную структуру НК и принять решение об изменении сценария полета БЛА.

Разработанные алгоритм самоорганизации и генетический алгоритм позволяют существенно упростить их реализацию в спецвычислителе СУ БЛА за счёт использованных модификаций, что позволяет экономить вычислительные ресурсы и повысить быстродействие системы.

Материалы диссертации использованы в работах ФГУП «НПЦАП имени академика Н.А.Пилюгина» и в учебном процессе факультета ИУ МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов обеспечивается достаточной адекватностью полученных прогнозирующих моделей и известных математических моделей погрешностей ИНС, корректностью математических выводов при разработке алгоритмов, а также согласованностью полученных результатов с известными данными, опубликованными в открытой печати.

Для исследований применялись методы теории управления и теории случайных процессов, генетические подходы и методы самоорганизации, а также вычислительные методы и математическое моделирование.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на международных конференциях: "четвертой международной конференции «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика» (Рязань, 2003),XXIX, XXXII академических чтениях по космонавтике (Москва, 2005, 2009), Международной научно-практической конференции: электронные средства и системы управления, (Томск, 2005), 8-й международной конференции «Авиация и космонавтика», МАИ (Москва, 2009), Технические и программные средства управления, контроля и измерения УКИ» ИПУ РАН, 2008,2010, научных семинарах каф. Кибернетики МИЭМ и каф. Систем автоматического управления МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 4 статьи в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 144 страницы машинописного текста

В первой главе диссертации представлены различные способы классификации БЛА и приведены примеры наиболее популярных БЛА с некоторыми их характеристиками. В рамках приведенной классификации выделены типы БЛА, которые являются предметом исследования. Рассмотрены вопросы анализа и повышения точности возвращающихся в атмосферу БЛА одноразового действия (баллистические ракеты (БР)), а также атмосферных БЛА многоразового действия.

Исследованы алгоритмы управления современных БР и СУ перспективными БР. Выделен наиболее перспективный тип СУ - интеллектуализированные СУ или СУ с интеллектуальными компонентами, которые целесообразно применять для управления перспективными БР и атмосферными БЛА.

Вторая глава посвящена исследованию измерительных систем БЛА и НК. Проведен анализ ошибок навигационных систем: ИНС, ГЛОНАСС, ДИСС и НК с различной конфигурацией. Рассмотрены селективный НК и НК с изменяющейся конфигурацией.

Коррекцию базовой навигационной системы в автономном режиме (которому предшествовал режим коррекции от внешних измерителей) также целесообразно проводить каскадным способом. При исчезновении сигналов от внешних измерителей коррекция проводится с помощью линейного тренда, а затем, при построении высокоточной прогнозирующей модели, уже с помощью этой высокоточной модели.

Структурная схема измерительного комплекса, предусматривающего функционирование базовой системы в режиме коррекции и в автономном режиме, представлена на рис. 1.

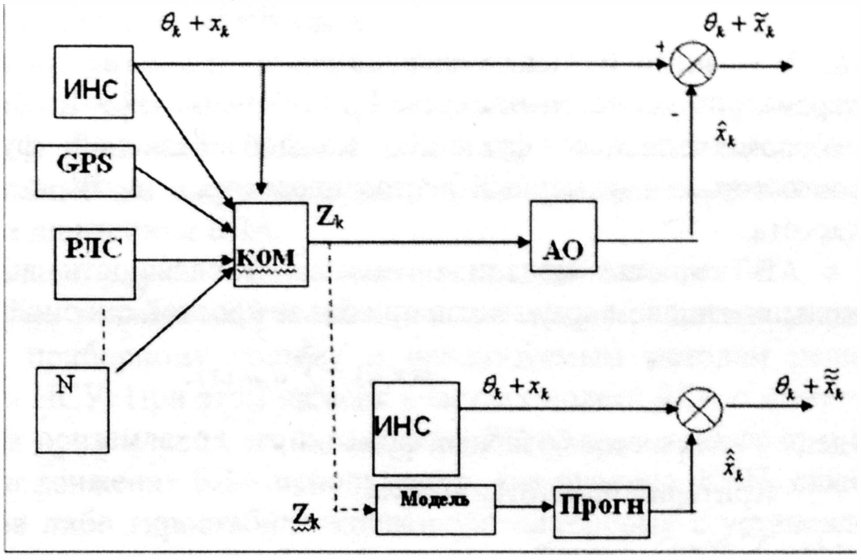


Рис. 1. Измерительный комплекс, функционирующий в режиме коррекции и в автономном режиме.

Здесь: θ_k – истинная навигационная информация; x_k – погрешности ИНС; $\hat{x}_k$ – оценки погрешностей ИНС; $\tilde{x}_k$ – ошибка оценивания; $\hat{\tilde{x}}_k$ – прогноз погрешностей ИНС; $\tilde{\tilde{x}}_k$ – ошибка прогноза; **АО** – алгоритм оценивания; **ком** – блок селекции и формирования измерений z_k.

В третьей главе представлен анализ наиболее популярных методов построения прогнозирующих моделей. Метод линейных трендов, метод Фурье, нейронные сети, метод самоорганизации, в частности МГУА, генетические алгоритмы. Сделан выбор типа алгоритмов, которые целесообразно использовать в НК и СУ БЛА: линейные тренды, алгоритм самоорганизации и генетический алгоритм.

В ансамбль критериев селекции алгоритма самоорганизации включен критерий выделения трендов, позволяющий выделять тренды различного уровня подробности.

Недостатком алгоритмов самоорганизации и генетических алгоритмов, который ограничивал их применение на практике, является существенные требования вычислительных ресурсов при реализации на борту БЛА. Исследуемые БЛА являются дорогостоящими, поэтому снабжены достаточно мощными спецвычислителями. Имеющиеся вычислительные ресурсы

позволяют реализовать компактные алгоритмы самоорганизации и генетические алгоритмы.

Упрощение алгоритма самоорганизации может быть проведено с помощью сокращения количества базисных функций, ужесточением отбора и путем включения в ансамбль критериев селекции какого-либо критерия простоты модели.

При использовании метода самоорганизации прогнозирующая модель имеет вид:

$$\phi(x) = \sum_{i=1}^{N} a_i \mu_{ni}(f_i x), \qquad (1)$$

где N – число базисных функций в модели; μ_{ni} – базисные функции из параметризованного множества F_p. $F_p = \{a_i\mu_i(f_i x) \mid i=1, L\}$, с соответствующим набором базисных функций. Каждой базисной функции ставится в соответствие двухмерный вектор параметров $(a, f)^T$, где a – амплитуда, f – частота.

В качестве модели оптимальной сложности выбирается модель с меньшим числом аргументов при более простой опорной функции.

$$\phi(x, a) = \sum_{i=1}^{N} a_i \mu_i(x), \qquad (2)$$

где N – количество базисных функций, $a_i \neq 0$;

Критерий простоты модели:

$$\tau(\phi) = \sum_{i=1}^{N} \delta(a_i) \ , \ \tau \to \min \ ,$$

где τ - функция критерия,

$$\delta(a_i) = \begin{cases} 1, a_i > \varepsilon \\ 0, a_i \leq \varepsilon \end{cases},$$

ε - бесконечно малая (выбирается из практических соображений).

Критерий простоты модели позволяет существенно упростить реализацию алгоритма самоорганизации в спецвычислителе на борту БЛА.

Для сокращения вычислительных затрат и получения компактных моделей в алгоритме самоорганизации в ансамбль критериев селекции включен оригинальный критерий простоты модели, представляющий собой предпочтение более компактной модели при близких значениях ансамбля критериев селекции.

Сокращение вычислительных затрат при реализации в спецвычислителе БЛА генетического алгоритма предложено осуществить с помощью организации процедуры кроссинговера, копирующей мейоз. Мейоз - это способ сокращения числа хромосом при делении. Использование мейоза предусматривает скрещивание особей с сокращением числа хромосом. Такой подход позволяет сделать процедуру построения моделей более компактной по сравнению с классическим генетическим алгоритмом.

Разработан генетический алгоритм для построения модели ошибок ИНС. В генетическом алгоритме для упрощения процедуры построения

модели использован ограниченный базис генов и способ сокращения числа хромосом при делении, аналогичный процедуре мейоза.

Четвертая глава посвящена разработке способов априорной и динамической оценок точности измерительных систем БЛА. На основе предложенных способов осуществляется:

- вычисление априорной (до пуска) точности поражения цели;
- определение априорной конфигурации НК, обеспечивающего заданную точность;
- вычисление точности поражения цели в полете с последующим принятием решения о целеуказании;
- изменение конфигурации НК в полете.

Точность выполнения концевых условий на участках выведения БЛА на орбиту и приведения БЛА в заданный РП определяется, в основном, инструментальными погрешностями ИСУ и используемыми методами управления движением БЛА.

В общем случае задача управления движением БЛА с требуемой точностью на различных участках полета может решаться различными по структуре, приборному составу и используемым методам решения задач управления ИСУ. При этом на всех участках полета БЛА с момента старта и до момента приземления его в заданный РП в качестве базового измерителя параметров движения БЛА используется, как правило, ККП, включающий в свой состав либо гиростабилизированную платформу с установленными на ней акселерометрами, либо БИНС. Для оценки рациональных требований к точностным характеристикам ИСУ обозначим вектор инструментальных погрешностей рассматриваемого ККП, входящего в ИСУ, через

$$\xi^{и} = \left(\xi_1^{и}, \xi_2^{и}, \ldots, \xi_s^{и}\right)^{\mathrm{T}} \qquad (3)$$

На участках выведения или приведения БЛА в заданный РП возможно комплексирование измерителей внешних систем навигационной информации с измерителями инерциальной (базовой) навигационной системы.

Инструментальные ошибки измерителей внешних навигационных систем будут определяться конструкционными и технологическими погрешностями, допущенными соответственно при проектировании и изготовлении приборов. Методические погрешности обусловлены, в основном, несовершенством алгоритмов съема и обработки измерительной информации.

Суммарный вектор погрешностей навигационной системы, обусловленный ошибками измерителей внешних навигационных систем, имеет вид:

$$\varsigma = B_{\varsigma} q, \qquad (4)$$

где $q=(q_1, q_2, \ldots, q_{k-1}, q_k)^{\mathrm{T}}$ - вектор погрешностей СНС,

$\varsigma = \left(\varsigma_1, \varsigma_2, \ldots, \varsigma_l\right)^{\mathrm{T}}$ - вектор отклонения концевых условий,

$B_{\varsigma} = \left(B_{\varsigma}^{и} \vdots B_{\varsigma}^{и},\right)$ - матрица размерности l x k.

Вектор погрешностей ИСУ с комплексированными бортовыми измерителями представлен в виде

$$\hat{\hat{\Psi}} = B_{\varsigma} q + A\xi, \qquad (5)$$

где $\hat{\hat{\Psi}}$ - случайный вектор.

После подстановки (3) и (4) в (5) получим

$$\hat{\hat{\Psi}} = X_{\varphi}\varphi. \qquad (6)$$

Здесь $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_{z-1}, \varphi_z)^{\mathrm{T}}$ - вектор погрешностей ИСУ с комплексированными бортовыми измерительными приборами, где первые z-1 компоненты которого представляют собой погрешности инерциальных измерительных систем и внешних навигационных систем, а компонента φ_z - методическую погрешность совместной обработки их измерений, z=k+s+r;

$\hat{\hat{\Psi}}$ - вектор отклонения концевых условий в заданной области фазовых координат центра масс БЛА из-за погрешностей комплексированной НС;

$X_{\varphi} = (B_{\varphi} \vdots A)$ - матрица размерности $\mu \times z$.

Базовая методика определения рациональных требований к ИСУ БЛА и измерительному комплексу разработана д.т.н. Пролетарским А.В. с учетом условий удовлетворения техническим возможностям, связанным с изготовлением бортовых измерителей параметров движения БЛА и реализацией в БЦВК алгоритмов совместной обработки измерений при комплексировании приборов, работающих на разных физических принципах.

Получены рациональные значения точностных характеристик ИСУ, обеспечивающие заданную точность выполнения концевых условий на основе комплексирования измерителей параметров движения БЛА. Известная методика оценки точности выполнения БЛА поставленных задач и определения рациональных требований к измерительному комплексу применяется в условиях предполетной подготовки и в полете при использовании априорных моделей, статистических данных, полученных при предшествующих испытаниях.

Разработана модифицированная методика, позволяющая проводить оценку рациональных требований, предъявляемых к ИСУ и измерительному комплексу БЛА, в процессе полета с учетом субъективных особенностей используемых приборов и конкретных условий полета. Для прогнозирования параметров, на основе которых осуществляется оценка рациональных требований, использованы компактные модифицированные алгоритмы самоорганизации и генетический алгоритм, разработанные в главе 3.

Повышение точности поражения цели в процессе движения БЛА предложено осуществлять с помощью изменения сценария полета в интеллектуализированной СУ БЛА на основе периодического анализа прогноза погрешностей навигационных систем БЛА.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям.

Проведено моделирование тестовой математической модели ошибок ИНС, ошибок ИНС, комплексированной с внешними по отношению к ИНС системами (ДИСС, ГЛОНАСС).

Тестовая математическая модель погрешностей ИНС имеет следующий вид:

$$x_k = \Phi x_{k-1} + W_{k-1}, \tag{7}$$

где

$$x_k = \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \varphi_k \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} 1 & -gT & 0 \\ \frac{T}{R} & 1 & T \\ 0 & 0 & 1-\beta T \end{bmatrix}$$

$$W_{k-1} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ \omega_{k-1} \end{bmatrix}$$

Здесь: g – ускорение свободного падения; B – смещение нуля акселерометра; R – радиус Земли; T – период дискретизации; β - средняя частота случайного изменения дрейфа; W_{k-1} – дискретный аналог белого гауссового шума; δV_k – ошибки ИНС в определении скорости, φ_k – углы отклонения ГСП от сопровождающего трехгранника, ε_k – скорость дрейфа ГСП.

В качестве методов обработки информации измерительных систем использованы линейный тренд, МГУА, классический ГА, модифицированные алгоритм самоорганизации и генетический алгоритм.

Представлены результаты моделирования линейного тренда, МГУА и модифицированного алгоритма самоорганизации. На рис. 2 представлены графики краткосрочного прогноза погрешностей ИНС, полученные различными способами. В таб. 1 - 3 приведены среднеквадратические отклонения ошибки при краткосрочном и долгосрочном прогнозе, а также временные затраты на получение модели различными алгоритмами.

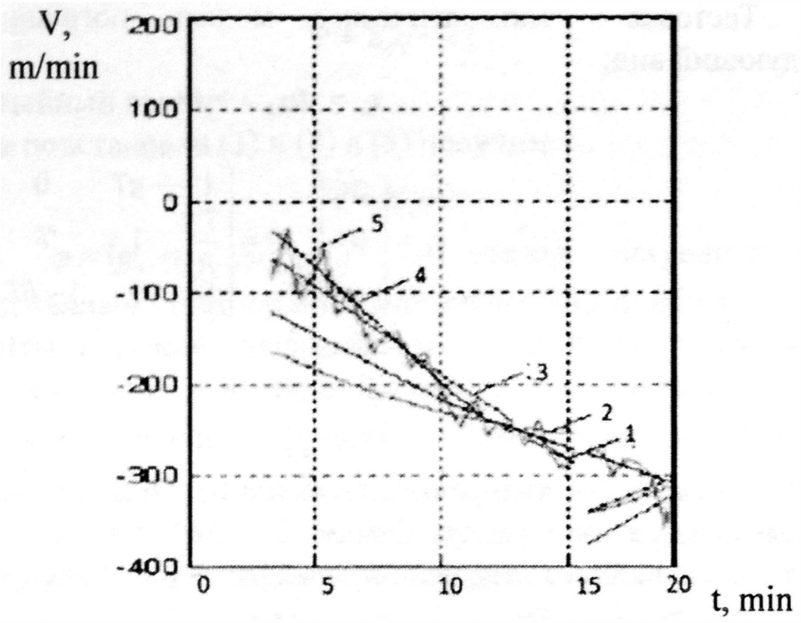


Рис. 2. Сравнение ошибок краткосрочного прогноза погрешностей ИНС, полученных с помощью линейного тренда, МГУА и модифицированного алгоритма самоорганизации

На графике введены следующие обозначения:

1 – погрешности ИНС, полученные с помощью модифицированного алгоритма самоорганизации; 2 – погрешности ИНС, полученные с помощью МГУА; 3 – погрешности ИНС, полученные с помощью линейного тренда; 4 – тестовая модель; 5 – модель измерительного сигнала.

Таблица 1.

Сравнение точности краткосрочного прогноза погрешностей ИНС, полученных с помощью линейного тренда, МГУА и модифицированного алгоритма самоорганизации

Точность / Модели	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_2 (%)	Время расчёта (s)
Модифиц. Модель	8.4	15	12.6	8.9	12.6	12	11
Линейная модель	12.3	20.5	18.7	19.2%	21.2	18	1.54
Модель МГУА	10.7	12.7	10.6	12.2%	12.3	12	11,5

Таблица 2.

Сравнение точности долгосрочного прогноза погрешностей ИНС, полученных с помощью линейного тренда, МГУА и модифицированного алгоритма самоорганизации

Точность / Модели	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_2 (%)	Время расчёта (s)
Модифиц. Модель	11.2	10	11.3	12.5	11	11	12
Линейная Модель	20	22	22	24.4	24.4	22	1.68
Модель МГУА	16	13	14.1	16	16	15	13

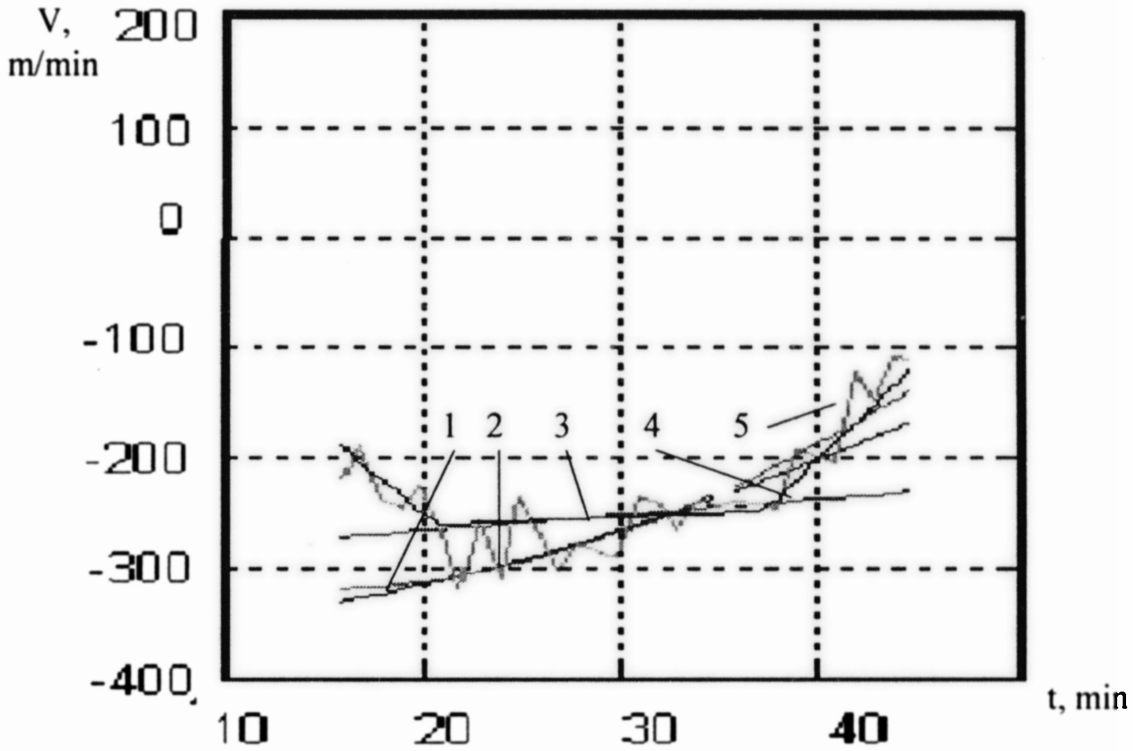


Рис. 3. Сравнение ошибок долгосрочного прогноза погрешностей ИНС, полученных с помощью ГА, модифицированного ГА и МГУА

На графике введены следующие обозначения:
1 – погрешности ИНС, полученные с помощью модифицированного алгоритма самоорганизации; 2 – погрешности ИНС, полученные с помощью МГУА; 3 – погрешности ИНС, полученные с помощью линейного тренда; 4 – тестовая модель; 5 – модель измерительного сигнала.

Таблица 3.

Сравнение точности долгосрочного прогноза погрешностей ИНС, полученных с помощью ГА, модифицированного ГА и МГУА

Точность / Модели	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_1 (%)	Δ_2 (%)	Время расчёта (s)
Модифиц. ГА	8.4	15	12.6	8.9	12.6	12	12.5
ГА	12.3	20.5	18.7	19.2	21.2	18	15.3
МГУА	16	13	14.1	16	16	15	13

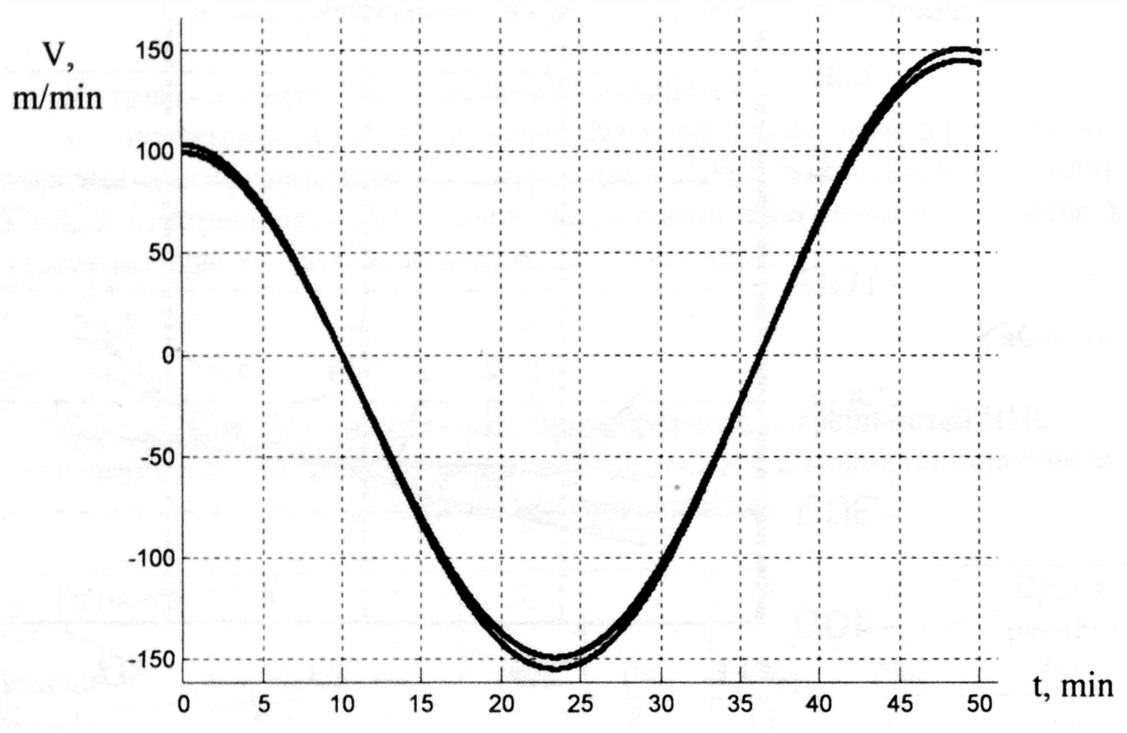


Рис. 4. Результаты моделирования погрешности ИНС в определении скорости и ее модель, построенная генетическим алгоритмом

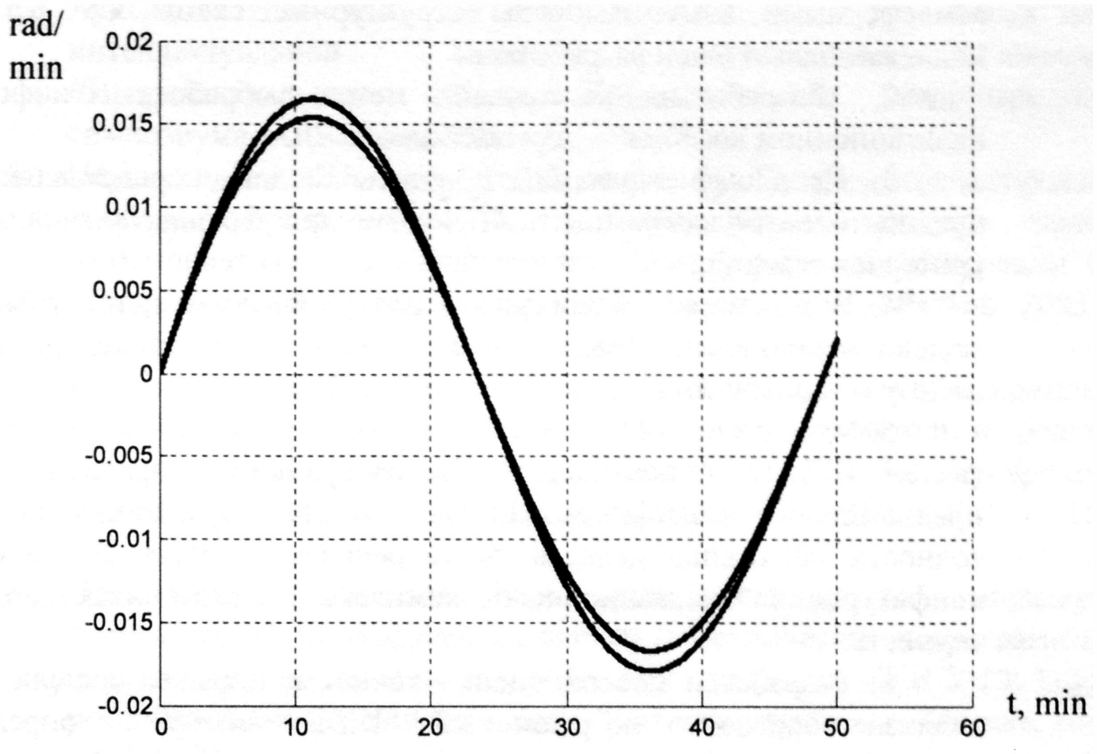


Рис. 5. Результаты моделирования угла отклонения ГСП от плоскости горизонта и его модель, полученная ГА

Результаты математического моделирования продемонстрировали работоспособность разработанных алгоритмов, которые являются составляющими алгоритмического обеспечения НК и интеллектуализированных СУ БЛА, а также подтвердили теоретические рекомендации по их использованию. Для определения конфигурации НК целесообразно на первом этапе использовать линейные тренды, а затем модифицированный алгоритм самоорганизации. В методике оценки точности выполнения поставленных задач рекомендовано использовать модифицированный ГА.

Анализ результатов математического моделирования показал, что разработанные алгоритмические способы позволяют повысить эффективность перспективных СУ БЛА и обеспечить выполнение поставленных задач.

Заключение содержит перечень основных новых результатов диссертационной работы.

Работа содержит Акты об использовании результатов работы: ФГУП «НИИАП им. Академика Н.А. Пилюгина»; МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Основные результаты и выводы

1. Выделен наиболее перспективный тип СУ - интеллектуализированные СУ или СУ с интеллектуальными компонентами, которые целесообразно применять для управления перспективными БР и

атмосферными БЛА. Выбраны структурные схемы СУ БЛА, которые подлежат дальнейшей разработке.

2. Разработан каскадный метод обработки информации в навигационном комплексе перспективного БЛА.

3. Предложен критерий простоты модели, представляющий собой предпочтение более компактной модели при близких значениях ансамбля критериев селекции.

4. В генетическом алгоритме для упрощения процедуры построения модели использован ограниченный базис генов и процедура, аналогичная мейозу – способу сокращения числа хромосом при делении.

5. Модифицирован способ априорной оценки точности измерительных систем БЛА с помощью прогнозирующих морделей. На основе предложенного модифицированного способа осуществляется вычисление точности поражения цели, а также решена обратная задача определения конфигурации навигационного комплекса, обеспечивающего заданную точность.

6. Разработан способ оценки точности поражения цели с помощью анализа прогноза погрешностей ИНС, который определяется с использованием модифицированных алгоритма самоорганизации и генетического алгоритма.

Повышение точности поражения цели в процессе движения БЛА предложено осуществлять с помощью изменения сценария полета в интеллектуализированной СУ БЛА на основе периодического анализа прогноза погрешностей навигационных систем БЛА.

7. Результаты математического моделирования продемонстрировали работоспособность разработанных алгоритмов, которые являются составляющими алгоритмического обеспечения интеллектуализированных СУ БЛА.

Основные результаты диссертации представлены в следующих работах:

1. Вайс Ю.Л., Шолохов Д.О., Фам Суан Фанг. Использование гибридных нейросетей для коррекции навигационного комплекса // XXX академические чтения по космонавтике. – Москва, 2006. – С.378 – 379.
2. Вайс Ю.Л., Шолохов Д.О. Модифицированный генетический алгоритм системы управления КЛА // XXXIII академические чтения по космонавтике. – Москва, 2009. – С.458 – 459.
3. Ким Дже Су, Шолохов Д.О. Разработка структуры и алгоритма прогноза псевдоинтеллектуальной системы управления БЛА //Интеллектуальные системы: Труды восьмого международного симпозиума. – Москва,2008. – С.335.
4. Лукьянова Н.В., Шолохов Д.О., Ким Дже Су. Некоторые особенности принятия решений в интеллектуальных системах // Интеллектуальные системы: Труды шестого международного симпозиума. – Москва,2004. – С.271-272.

5. Лукьянова Н.В., Шолохов Д.О. Один способ синтеза блока цели интеллектуальной системы летательного аппарата //Интеллектуальные системы: Труды седьмого международного симпозиума. – Москва,2006. – С.227 - 228.
6. Неусыпин К.А., Шолохов Д.О., Ким Дже Су. Псевдоинтеллектуальная система управления КЛА на атмосферном участке полета //Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика: Материалы 4-й международной научно-технической конференции. – Рязань, 2003. – С.107.
7. Неусыпин К.А., Кэ Фан, Шолохов Д. О. Измерительный комплекс необитаемого подводного аппарата // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы VIII Международной научно-технической конференции. – Москва, 2003. Часть II. – С. 187-188.
8. Неусыпин К.А., Шолохов Д.О. Алгоритмические методы компенсации погрешностей навигационных систем // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения. УКИ 2010: Труды российской конференции с международным участием. – Москва, 2010. – С.225-226.
9. Неусыпин К.А., Федорова В.А., Шолохов Д.О. Разработка алгоритмов прогноза для информационной системы электроснабжения железной дороги // Автоматизация и современные технологии. – Москва, 2011. – №7. – С.10-13.
10. Неусыпин К.А., Шолохов Д.О. Некоторые алгоритмические методы компенсации погрешностей систем навигации // Авиация и космонавтика – 2010: Тезисы докладов 9-й Международной конференции. – Москва, 2010. – С.245-246.
11. Пролетарский А.В., Шолохов Д.О. Оценки рациональных требований к точностным характеристикам СУ БЛА // Информационные системы и технологии: Труды XVII международной научно-технической конференции ИСТ-2011 IV международного форума информационных технологий. – Нижний Новгород, 2011. – С.25-27.
12. Синтез ансамбля критериев селекции компактного алгоритма самоорганизации для коррекции бесплатформенных навигационных систем / Д.О. Шолохов [и др.] // Труды ФГУП «НПЦ АП». – 2011. – №3. – С.49-56.
13. Шолохов Д. О., Чи Циан Нам, Нгуен Мань Хунг. Система управления транспортными потоками в мегаполисах // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы IX Международной научно-технической конференции. – Москва, 2005. Часть II. – С. 87-88.
14. Шолохов Д.О. Алгоритм построения прогнозирующих моделей интенсивно маневрирующего объекта // XXIX академические чтения по космонавтике. – Москва, 2005. – С.388 – 389.

15. Шолохов Д.О., Чи Циан Нам, Нгуен Мань Хунг. Алгоритмические методы компенсации погрешностей навигационных систем //Электронные средства и системы управления: Сборник докладов третьей международной научно-практической конференции. – Томск, 2005. Часть 2. – С.215-216.
16. Шолохов Д.О. Модификация нейронной сети с помощью метода самоорганизации // Студенческая научная весна – 2007: Сборник тезисов докладов общеуниверситетской научной конференции студенческого научного вестника. – Москва, 2007. Том IV, часть 1. – С.195-196.
17. Шолохов Д.О. Один из способов реализации акцептора действия интеллектуальной системы управления летательным аппаратом //Авиация и космонавтика – 2009: Тезисы 8-й Международной конференции. – Москва, 2009. – С.8.
18. Шолохов Д.О. Синтез акцептора действия системы управления летательным аппаратом // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование. – Санкт-Петербург, 2009: Том 2. – С.235-236.
19. Шолохов Д.О. Один из методов построения моделей для алгоритмов оценивания системы управления беспилотным летательным аппаратом // Инженерные системы – 2010: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. – 2010. – С.125-126.
20. Шолохов Д.О., Худорожков П.А. Методы построения моделей для алгоритмов оценивания и прогнозирования системы управления БЛА // Интеллектуальные системы: Труды девятого международного симпозиума. – Москва, 2010. - С.392-393.
21. Шолохов Д.О., Шумова Т.Р. Компактная модификация генетического алгоритма // Информационные системы и технологии: Труды XVII международной научно-технической конференции ИСТ-2011 IV международного форума информационных технологий. – Нижний Новгород, 2011. – С.31-32.
22. Neusipin K.A., Sholohov D.O. Modification of Neural Network by the Self-Organization Method // International Siberian Conference on Control and Communications. SIBCON-2009: Proceedings. – Tomsk, 2009. – P.121-123.
23. Неусыпин К.А., Кэ Фан, Шолохов Д. О. Разработка алгоритма построения моделей с помощью метода самоорганизации для коррекции навигационных систем // Вестник Московского Государственного Технического Университета имени Н. Э. Баумана. Приборостроение. – 2010. – №3. – С. 57-67.
24. Управление ракетами с использованием теории дифференциальной геометрии / Д.О. Шолохов [и др.] // Труды ФГУП «НПЦ АП». – 2011. – №3. – С.56-67.