

УДК 681.511

Синтез алгоритмического обеспечения навигационного комплекса, основанный на концепции динамического системного синтеза

Селезнева Мария Сергеевна

ms.selezneva@bmstu.ru

Филяков Михаил Дмитриевич

filyakovmd@bmstu.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Навигационные комплексы (НК) высокоманевренных летательных аппаратов (ЛА) снабжены сложным алгоритмическим обеспечением, за счет которого существенно повышается точность навигационных определений. Синтез алгоритмического обеспечения НК целесообразно проводить на основе подхода динамического системного синтеза (ДСС). В рамках подхода ДСС применяются алгоритмы комплексирования, оценивания, управления, параметрической идентификации, самоорганизации и др. Использование подхода ДСС позволяет повысить точность определения параметров ЛА в различных режимах полета.

Ключевые слова: навигационный комплекс, летательный аппарат, качественные критерии селекции, динамический системный синтез

Synthesis of algorithmic support for a navigation complex based on the concept of dynamic system synthesis

Selezneva Maria Sergeevna

ms.selezneva@bmstu.ru

Filyakov Mikhail Dmitrievich

filyakovmd@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Navigation systems (NC) of highly maneuverable aircraft (LA) are equipped with complex algorithmic support, which significantly increases the accuracy of navigation definitions. It is advisable to synthesize the algorithmic support for NC based on the dynamic system synthesis (DSS) approach. The DSS approach uses algorithms for integration, estimation, control, parametric identification, self-organization, etc. The use of the DSS approach allows increasing the accuracy of determining aircraft parameters in various flight modes.

Keywords: navigation complex, aircraft, qualitative selection criteria, dynamic system synthesis

Введение. Представлена функциональная схема алгоритма комплексирования, реализующая подход динамического системного синтеза с алгоритмом управления критериями (рис. 1).

В блоке АУК происходит определение степеней наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости. На основании чего в блоке БКС формируются измерения для хорошо наблюдаемых, управляемых и идентифицируемых компонент вектора состояния [1, 2]. Также в соответствии с информацией, полученной в блоке АУК, выделенные в блоке БКС1 сигналы поступают в БО, АУ и ПИ.

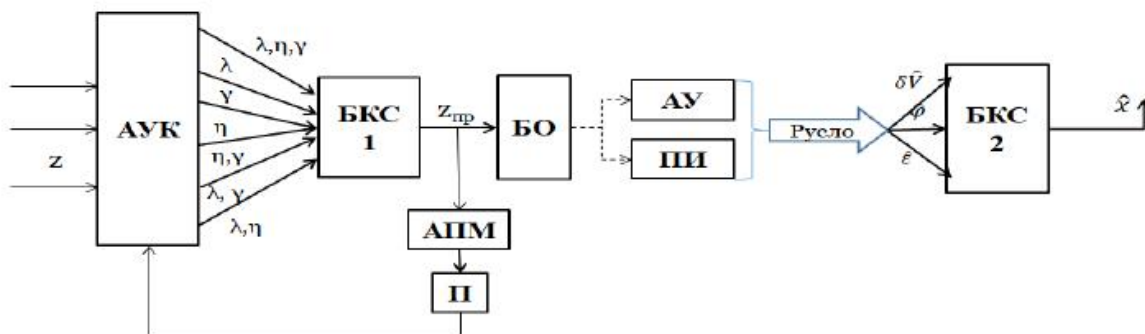


Рис. 1. Функциональная схема алгоритма комплексирования, реализующего подход динамического системного синтеза:

АУК — алгоритм управления критериями; БКС — блок комплексирования и сравнения; АПМ — алгоритм построения моделей; П — алгоритм прогноза; БО — блок оценивания; АУ — алгоритм управления; ПИ — процедура идентификации; z — измерения; λ, γ, η — степени наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости соответственно; x — погрешности НК

В блоке БКС2 происходит формирование русла, т.е. в зависимости от степеней наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости формируется итоговый вектор состояния, который включает в себя компоненты только с высокими качественными характеристиками, что дает возможность достигать высоких показателей точности.

Материалы и методы. При использовании в алгоритмическом обеспечении только БО, с помощью алгоритма оценивания происходит подавление измерительного шума и восстановление всего вектора погрешностей базовой системы НК инерциальной навигационной системы (ИНС) [3, 4].

Сигнал, пропорциональный оценке вектора состояния с ошибкой оценивания, вычитается из выходного сигнала ИНС, при этом повышается точность навигационных определений ЛА.

При использовании помимо БО еще и АУ после подавления измерительного шума и восстановления всего вектора погрешностей ИНС формируется управляющий сигнал, при помощи которого осуществляется коррекция в структуре ИНС. При необходимости помимо БО и АУ в алгоритмическом обеспечении также предусмотрено использование ПИ. Параметрическая идентификация используется для уточнения структуры и параметров математической модели, построенной при помощи алгоритма самоорганизации. Алгоритмы параметрической идентификации позволяют определить отдельные параметры матрицы модели исследуемого процесса.

Таким образом, предложен способ формирования алгоритмического обеспечения перспективного НК, основанный на концепции ДСС. Разработана структура и функциональные схемы алгоритмического обеспечения НК, позволяющие повысить точность навигационных определений за счет использования моделей с улучшенными характеристиками наблюдаемости, управляемости и параметрической идентифицируемости. Способ управления критериями селекции в процессе полета ЛА обеспечивает автоматическое целевое использование качественных критериев в алгоритмах самоорганизации моделей исследуемых процессов.

Предложенный концептуальный подход применим для отдельных измерительных систем, НК различных ЛА и в других практических приложениях.

При функционировании навигационных систем НК обычно используется компенсация погрешностей ИНС с помощью алгоритмов оценивания, с использованием регулятора, алгоритма прогноза, алгоритма идентификации.

Во всех схемах коррекции использован алгоритм самоорганизации. Применение априорных моделей в схемах коррекции навигационных систем высокоманевренного ЛА приводит к снижению точности коррекции. Характер погрешностей навигационных систем НК существенно меняется при совершении маневров ЛА.

Редуцированный алгоритм управления критериями ансамбля селекции алгоритма самоорганизации. В зависимости от целевого применения модели в рамках какой-либо схемы коррекции используется специфический набор критериев в алгоритме самоорганизации. Формирование ансамбля критериев в полете осуществляется с помощью релейного алгоритма управления.

Качественные критерии позволяют отбирать переменные состояния при формировании моделей, имеющие повышенные характеристики. Например, при формировании моделей погрешностей ИНС из вектора состояния исключаются слабонаблюдаемые компоненты. Азимутальный дрейф является слабонаблюдаемым и может быть эффективно оценен только на интервале времени 1,5–2,0 часа. Слабонаблюдаемые компоненты вектора состояния хоть и являются формально наблюдаемыми, на практике не подвергаются обработке посредством алгоритмов оценивания, так как их оценку возможно лишь на достаточно больших интервалах функционирования системы. Аналогичная ситуация складывается и с моделями при исследовании качества их управляемости, а также с параметрами моделей при их идентификации.

Результаты математического моделирования работы алгоритма самоорганизации с управлением критериями селекции представлены на рис. 2.

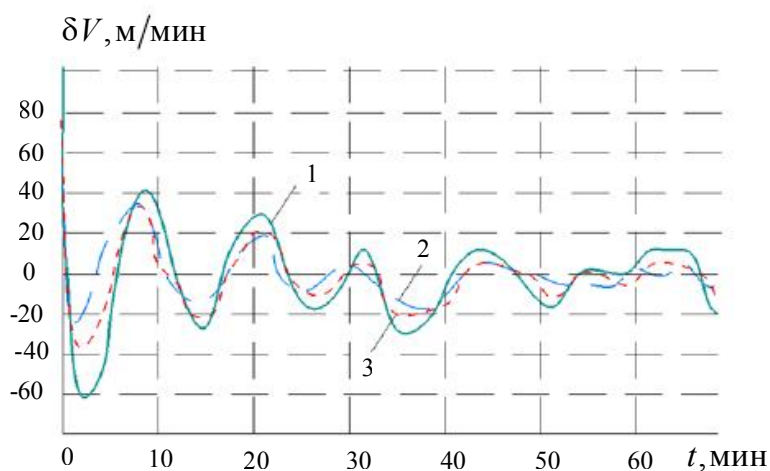


Рис. 2. Модель ошибок ИНС с компенсацией погрешностей при помощи алгоритма управления и ее оценка при помощи алгоритма самоорганизации:
1 — модель ошибок ИНС; 2 — оценка модели ошибок ИНС при помощи алгоритма самоорганизации; 3 — оценка модели ошибок ИНС при помощи алгоритма самоорганизации (в ансамбль критериев селекции в качестве специального критерия включен критерий степени управляемости)

На рис. 3 представлены результаты моделирования алгоритма оценивания погрешностей ИНС.

При изменении высоты полета ЛА ускорение свободного падения будет меняться. Характер изменения ускорения свободного падения при снижении ЛА представлен на рис. 4.

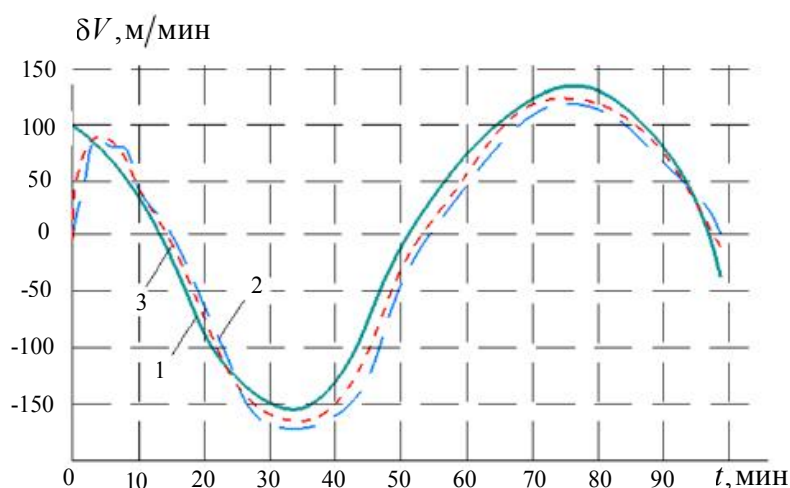


Рис. 3. Модель ошибок ИНС с компенсацией погрешностей при помощи алгоритма оценивания и ее оценка при помощи алгоритма самоорганизации:

1 — модель ошибок ИНС; 2 — оценка модели ошибок ИНС при помощи алгоритма самоорганизации; 3 — оценка модели ошибок ИНС при помощи алгоритма самоорганизации (в ансамбль критериев селекции в качестве специального критерия включен критерий степени наблюдаемости)

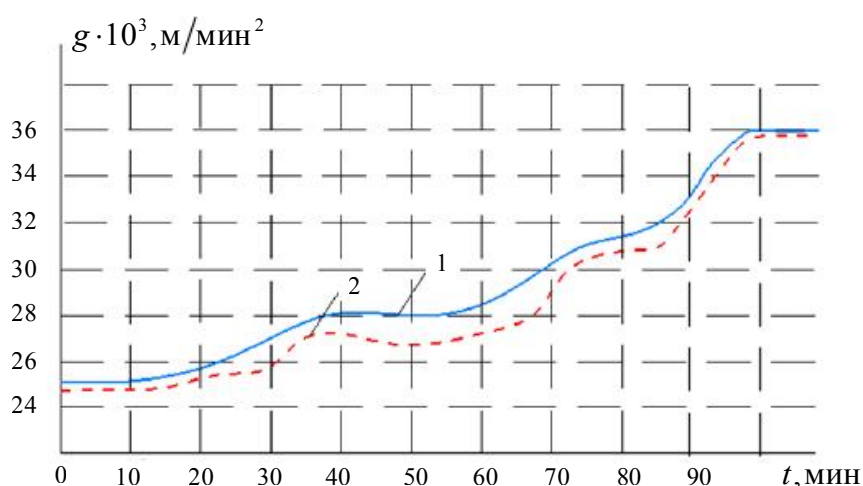


Рис. 4. Изменение ускорения свободного падения в зависимости от высоты полета ЛА:

1 — модель изменения ускорения свободного падения в зависимости от высоты полета ЛА; 2 — идентификация ускорения свободного падения

Для качественной оценки ошибок ИНС при разновысотном полете необходимо осуществлять прогноз изменения величины g . Поэтому необходимо построить модель с повышенной степенью идентифицируемости. Для более точной оценки ошибок ИНС при разновысотном полете в алгоритм самоорганизации в качестве специального критерия добавлен критерий степени па-

раметрической идентифицируемости. Результаты моделирования приведены на рис. 5. При изменении режима полета специальный критерий в ансамбле критериев селекции алгоритма самоорганизации может меняться.

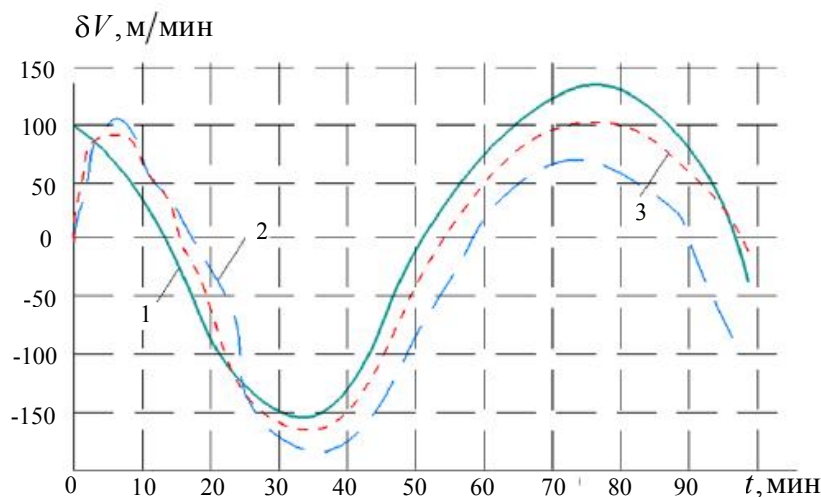


Рис. 5. Модель ошибок ИНС с компенсацией погрешностей при помощи алгоритма идентификации и ее оценка при помощи алгоритма самоорганизации: 1 — модель ошибок ИНС; 2 — оценка модели ошибок ИНС при помощи алгоритма самоорганизации; 3 — оценка модели ошибок ИНС при помощи алгоритма самоорганизации (в ансамбль критериев селекции в качестве специального критерия включен критерий степени идентифицируемости)

Закключение. Таким образом, предложена концепция формирования алгоритмического обеспечения НК, использующего модели с улучшенными качественными характеристиками. В рамках концепции ДСС предложен способ формирования моделей с избирательно улучшаемыми свойствами. Повышение точности алгоритмов коррекции НК с помощью использования апостериорных самоорганизующихся моделей с улучшенными качественными характеристиками позволяет повысить точность определения параметров ЛА в условиях интенсивного маневрирования.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 23-79-10028.*

Список источников

- [1] Селезнева М.С. Навигационный комплекс с интеллектуальной компонентой с использованием алгоритма управления качественными критериями селекции для высокоманевренного летательного аппарата. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2023, № 10, с. 61–71.
- [2] Селезнева М.С. Применение концепции динамического системного синтеза в схеме коррекции навигационных систем летательных аппаратов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, № 6, с. 87–96.
- [3] Цибизова Т.Ю., Шэнь К., Неусыпин К.А. Исследование алгоритмов оценивания в задаче коррекции навигационных систем летательных аппаратов. *Фундаментальные исследования*, 2015, № 6–2, с. 301–305.
- [4] Шахтарин Б.И., Шэнь К., Неусыпин К.А. Модификация нелинейного фильтра Калмана в схеме коррекции навигационных систем летательных аппаратов. *Радиотехника и электроника*, 2016, т. 61, № 11, с. 1065–1072.