

УДК 681.5.09

В.Ф. СИМОНОВ, И.В. АМЕЛИНА*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ Т-10**

Проведен синтез и анализ адаптивных систем управления беспилотным летательным аппаратом Т-10 в каналах продольного и бокового движения (управление углами тангажа и крена). Использовались следующие алгоритмы адаптации: включение эталонной модели параллельно основному контуру управления и градиентный метод адаптации. Исследование динамики адаптивных систем управления проводилось в среде графического моделирования Simulink пакета Matlab. На основании полученных результатов моделирования выбраны рациональные алгоритмы адаптивного управления для продольного и бокового каналов движения беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система управления, продольный канал, боковой канал, алгоритм адаптации, эталонная модель, градиентный метод адаптации.

Введение

Современное самолетостроение характеризуется широким использованием систем автоматического управления (САУ). Без них невозможно эффективное применение не только самолетов, но, прежде всего, таких специфических классов летательных аппаратов (ЛА), как космические станции и беспилотные ЛА, ведь при управлении этими ЛА необходимо оперативно и точно решать задачи пространственной ориентации и стабилизации.

Кроме того, для беспилотных ЛА важной задачей является выполнение программы полета, независимо от любых случайных возмущающих воздействий, которые могут возникать в полете.

Решение задач разработки беспилотных ЛА тесно связано с задачами автоматического управления полетом.

Проектируемая система управления ЛА должна отвечать заданным техническим требованиям: при изменении в широких пределах параметров объекта управления и элементов регулятора; характеристик управляющих и возмущающих воздействий; при жестких энергетических ограничениях некоторых элементов. Также система управления ЛА должна обеспечивать выполнение полетных задач в широком диапазоне режимов полета при наличии значительных внешних возмущений, поскольку скорости порывов ветра сравнимы по величине со скоростью полета ЛА [1].

Постановка проблемы. Обращение к вопросам адаптивности не является случайным. Для многих систем управления летательных аппаратов характерна большая неопределенность условий их

работы. Сведения о действительных значениях параметров объекта управления бывают весьма неточными, а законы их возможных изменений весьма приближительными, недостаточны сведения о начальном состоянии САУ, неопределенны сведения о возможных величинах входных сигналов и возмущающих воздействий.

При большой степени неопределенности и жестких энергетических ограничениях процедура синтеза системы управления ЛА должна предусматривать одновременное решение задач формирования максимально эффективного управляющего устройства и наилучшего алгоритма управления, использующего текущую информацию, получаемую в процессе функционирования системы [2].

Для уменьшения степени неопределенности и достижения заданных показателей качества процессов управления успешно применяют адаптивные системы управления.

Адаптивной называют такую систему, в которой обеспечивается приспособление к новым условиям функционирования и достижение заданных показателей качества путем изменения параметров и структуры управляющего устройства на основании текущей информации [3].

Теория адаптивных систем возникла в связи с необходимостью решения широкого класса прикладных задач, для которых неприемлемы традиционные методы, требующие знания адекватной математической модели объекта управления.

Эффект приспособления к условиям функционирования в адаптивных системах обеспечивается за счет накопления и обработки информации о поведении объекта в процессе его функционирования.

Это позволяет существенно снизить влияние неопределенности на качество управления, компенсируя недостаток априорной информации на этапе проектирования систем [4].

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время теории адаптивности и практическим вопросам построения адаптивных систем уделяется все большее внимание.

Основную часть литературы занимают источники по теории адаптивного и оптимального управления. Некоторые из них [5, 6, 7] дают лишь общее представление об адаптации, основываясь на научных трудах по теории вопроса.

Так, например, в сборнике статей [5] затрагиваются различные аспекты проблем адаптации, обсуждается связь между адаптацией и оптимизацией.

Авторами работы [6] изложены вопросы построения адаптивных систем идентификации реальных динамических объектов, подверженных воздействию как аддитивных, так и мультипликативных помех, уменьшения взаимного влияния настраиваемых параметров.

Коллективная монография [7] посвящена теории, конструированию и применению адаптивных фильтров в радиотехнических и электронных устройствах.

В работе [8] вводятся понятия и формулируются задачи оптимального и адаптивного управления, излагаются математические теории оптимизации и адаптации, на основании которых затем строятся методы расчета оптимальных и адаптивных систем.

Другие авторы рассматривают адаптивное управление применительно непосредственно к системам управления летательными аппаратами и предлагают различные методы расчета бесперебойных адаптивных систем автоматического управления [2, 9].

Так, авторами работы [9] рассматриваются примеры из практики создания беспилотных летательных аппаратов, показана практическая реализация адаптивных систем управления ЛА.

В [2] авторы изложили принципы формирования структуры и методы расчета параметров быстродействующих бесперебойных адаптивных систем автоматического управления летательными аппаратами.

Здесь приведены различные методы идентификации переменных параметров объекта управления, рассмотрены принципы построения бесперебойных адаптивных систем с медленно изменяющимися параметрами.

Адаптивные системы управления получили большое распространение в практике управления, именно поэтому многие авторы [10, 11] приводят в своих работах классификацию, общие принципы их

построения, анализа и использования.

В связи с разнообразием адаптивных систем управления, некоторые авторы в своих трудах сужают круг задач и более глубоко рассматривают только отдельные виды систем.

Так, например, в некоторых трудах рассматриваются вопросы, посвященные только бесперебойным системам [12] или следящим системам [13], а авторы [14 – 18] уделяют внимание еще более узкому классу адаптивных систем – системам с эталонными моделями.

Несмотря на обилие литературы, как в нашей стране, так и за рубежом по вопросам общей теории адаптивных систем, методы анализа таких систем требуют дальнейшего исследования.

Исследование динамики адаптивных систем управления беспилотным летательным аппаратом Т-10

Для исследования динамики беспилотного ЛА воспользуемся методом линейной теории в совокупности с методами математического и машинного моделирования, так как данные методы являются наиболее простыми и широко применяемыми на практике.

Для моделирования будем использовать среду графического моделирования Simulink пакета Matlab, которая позволяет произвести исследования данной системы автоматического управления в требуемом объеме.

Исследование динамики продольного канала системы управления

Построим машинную модель продольного канала адаптивной системы управления БПЛА с эталонной моделью параллельно основному контуру в пакете Simulink (рис. 1).

В канале продольного движения при приложении задающего воздействия система управления переходит в другое установившееся значение, поэтому в качестве эталонной модели можно выбирать обычное апериодическое звено.

Кроме того, в обратной связи системы управления (рис. 1) дополнительно было введено апериодическое звено – фильтр, гасящий колебательность.

Была выбрана следующая передаточная функция эталонной модели:

$$W_{ЭМ}^g(s) = \frac{U_M(s)}{U_3(s)} = \frac{a_1}{b_1s + b_2} = \frac{2,5}{0,8s + 1}, \quad (1)$$

где $W_{ЭМ}^g(s)$ – передаточная функция эталонной модели по углу тангажа;

$U_M(s)$ – напряжение эталонной модели;

$U_3(s)$ – заданное напряжение.

В данной схеме входной сигнал одновременно подается на объект управления и на его эталонную модель. При помощи сравнивающего устройства сравнивается поведение объекта управления и его идеальное представление, на основании чего формируется сигнал обратной связи. В свою очередь, на основании сигнала вырабатывается управляющее воздействие.

Переходные характеристики продольного канала адаптивной системы управления БПЛА приведены на рис. 2, а, б.

Как видно из рис. 2, б, время переходного процесса по компенсации возмущающего воздействия составляет 5 секунд, а также при использовании алгоритма адаптации уменьшается колебательность, перерегулирование при одновременном уменьшении времени переходного процесса.

Показатели качества адаптивной системы управления по углу тангажа удовлетворяют требованиям:

- время переходного процесса: 5 с;
- перерегулирование: 0,5%;
- установившаяся ошибка: 0;
- показатель колебательности: 1.

При этом влияние возмущающего воздействия не полностью компенсируется, однако установившееся значение находится в пределах $\pm 5\%$ от 30° .

Его можно уменьшить, используя другие алгоритмы и методы адаптации, например, градиентный метод адаптации, что и будет рассмотрено далее.

Градиентный метод по принципу работы похож на метод построения адаптивных систем управления с эталонными моделями, однако, при его использовании алгоритм адаптации является динамически настраиваемым, т.е. в процессе работы его параметры непрерывно изменяются.

Особенностью такой адаптивной системы управления является также то, что в ней отсутствует корректирующее устройство (например, пропорционально-дифференциальный регулятор).

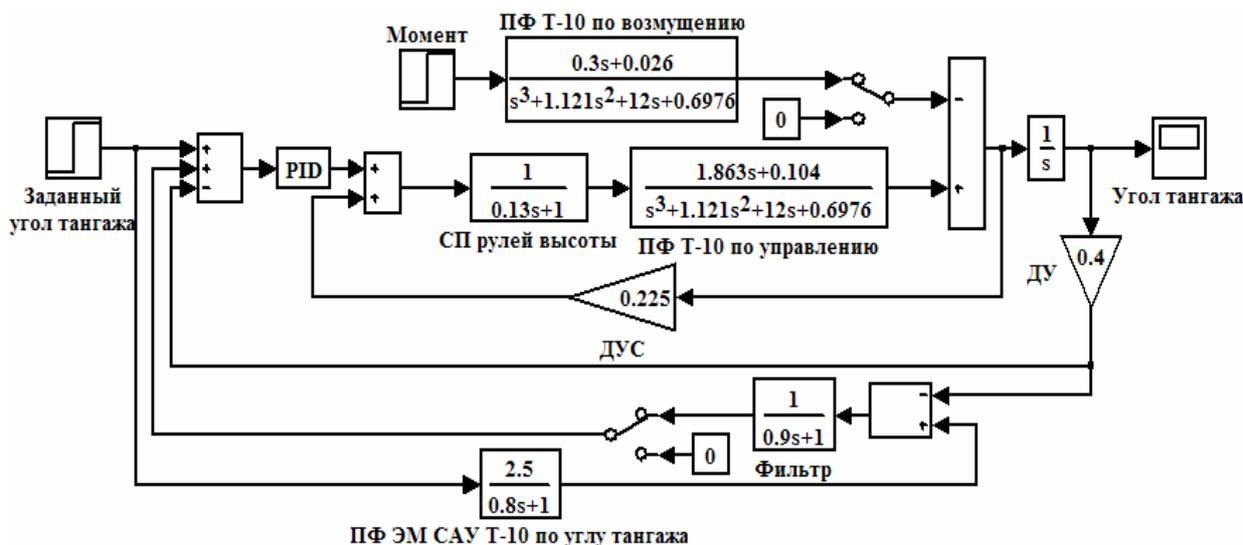


Рис. 1. Машинная модель продольного канала адаптивной системы управления БПЛА

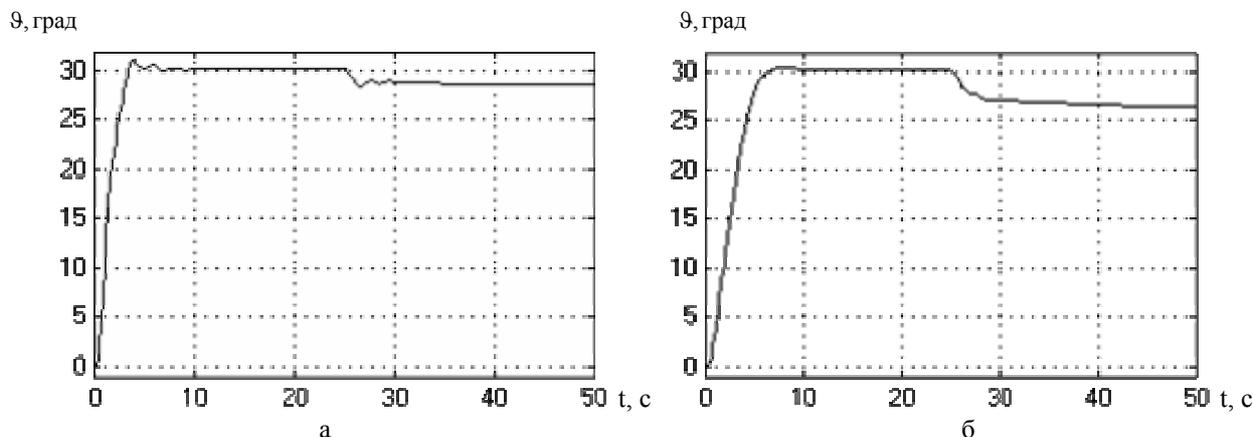


Рис.2. Переходные процессы замкнутой адаптивной системы управления по углу тангажа: а – без фильтра в ОС; б – с фильтром в ОС

Представим машинную модель продольного канала адаптивной системы управления, построенной по градиентному методу (рис. 3).

Как видно из рис. 3, в систему управления БПЛА были введены блоки умножения, блок дифференцирования, блоки интегрирования с настраиваемыми параметрами, модель эталонного поведения системы.

Графики переходных процессов по углу тангажа и угловой скорости тангажа при подаче возмущающего момента на 100-й секунде полета и при отключенном алгоритме адаптации, приведены на рис. 4, а и б соответственно.

Переходные процессы, наблюдаемые в системе при включении алгоритма адаптации по полной компенсации возмущающего воздействия, приведены на рис. 5, а и б.

Как видно из рис. 5, а были получены следующие показатели качества в канале тангажа:

- время переходного процесса 6 с;
- перерегулирование 9,7%;
- установившаяся ошибка 0;
- время полной компенсации возмущающего воздействия 6 с.

В результате исследования различных алгоритмов адаптации продольного канала БПЛА можно сделать вывод, что рациональнее для управления беспилотным летательным аппаратом в канале тангажа использовать адаптивную систему, синтезированную градиентным методом.

Такая адаптивная система обеспечивает требуемые показатели качества системы управления и обеспечивает полную компенсацию возмущающего воздействия за 4 с.

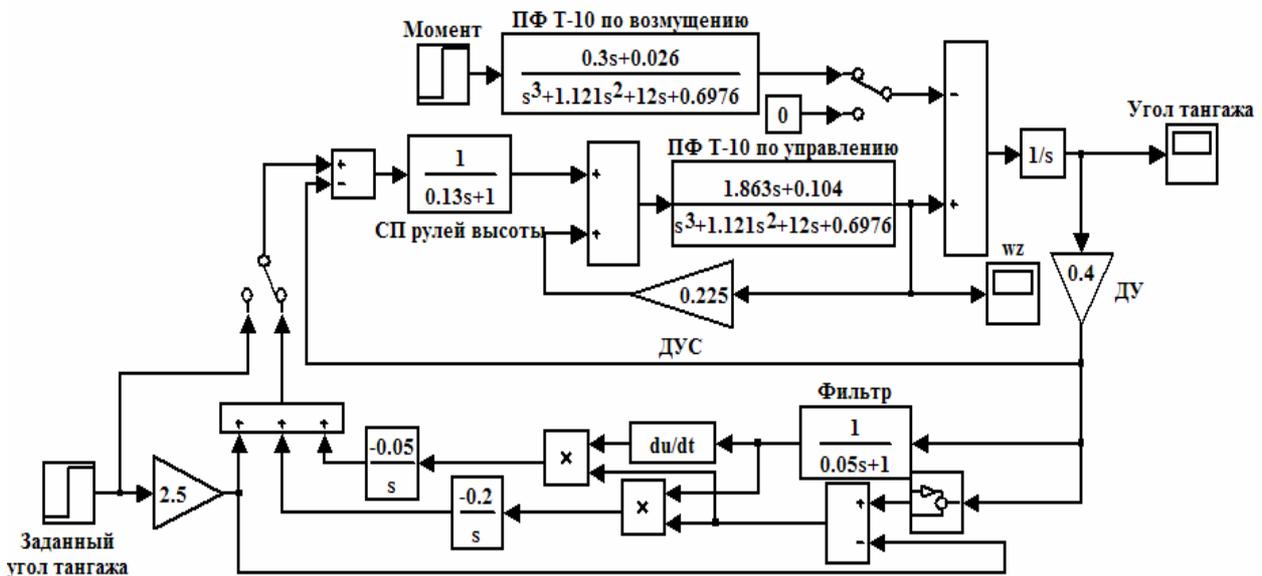


Рис. 3. Машинная модель адаптивной системы управления, построенной по градиентному методу

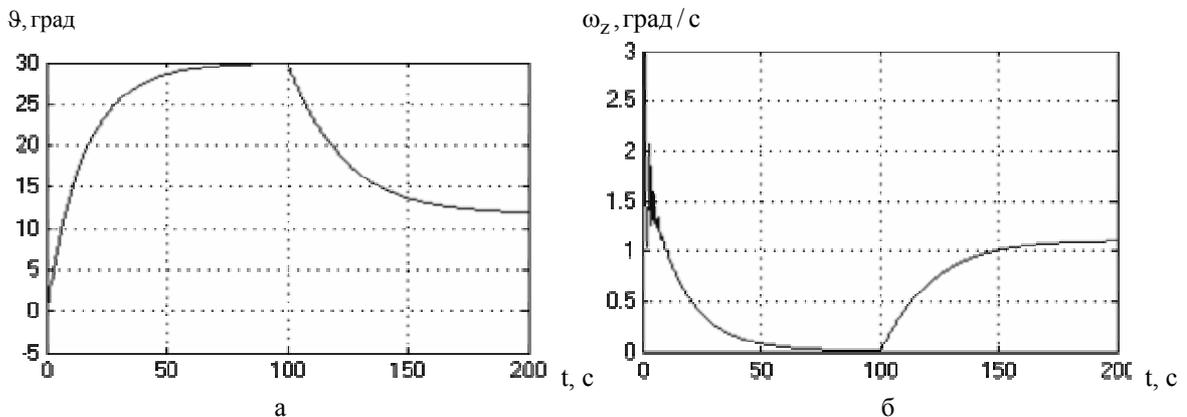


Рис. 4. Переходные процессы в системе с учетом возмущающего воздействия и при отключенной адаптации: а – угол тангажа; б – угловая скорость тангажа

Исследование динамики бокового канала системы управления

Построим машинную модель бокового канала адаптивной системы управления БПЛА с эталонной моделью параллельно основному контуру в пакете Simulink (рис. 6). В канале бокового движения в качестве эталонной модели с целью улучшения быстродействия системы была выбрана более сложная передаточная функция вида:

$$W_{ЭМ}^y(s) = \frac{U_M(s)}{U_3(s)} = \frac{a_1s+1}{b_1s^2+b_2s+b_3} = \frac{2,5s+0,003}{0,8s^2+s+0,001} \quad (2)$$

где $W_{ЭМ}^y(s)$ – передаточная функция эталонной модели по углу крена;

$U_M(s)$ – напряжение эталонной модели;

$U_3(s)$ – заданное напряжение.

Кроме того, в обратной связи системы управления (рис. 6) дополнительно было введено аperiо-

дическое звено – фильтр, гасящий колебательность:

$$W_{\Phi}(s) = \frac{U_{\Phi}(s)}{U_{Дy}(s)} = \frac{a_1}{b_1s+b_2} = \frac{1}{2s+1} \quad (3)$$

где $W_{\Phi}^y(s)$ – передаточная функция фильтра.

$U_{\Phi}(s)$ – напряжение фильтра;

$U_{Дy}(s)$ – напряжение датчика угла.

При подаче возмущающего момента на 15-й секунде полета БПЛА будем наблюдать переходный процесс, представленный на рис. 7, а и б.

Как видно из рис. 7, б при использовании алгоритма адаптации уменьшается перерегулирование при одновременном уменьшении времени переходного процесса.

Показатели качества адаптивной системы управления по углу крена удовлетворяют заявленным требованиям:

- время переходного процесса: 4 с;
- перерегулирование: 0,2%;
- установившаяся ошибка: 0;
- показатель колебательности: 1.

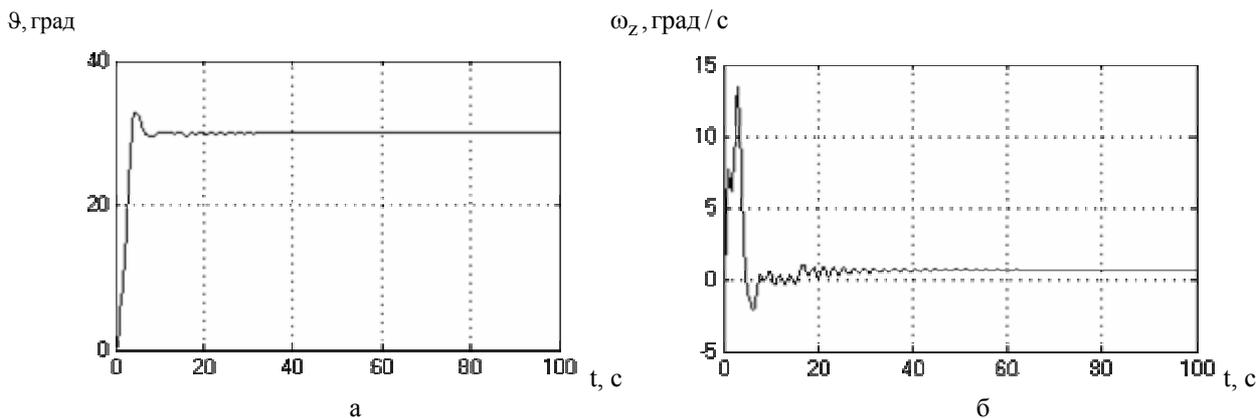


Рис. 5. Переходные процессы в системе с учетом возмущающего воздействия и при включенной адаптации: а – угол тангажа; б – угловая скорость тангажа

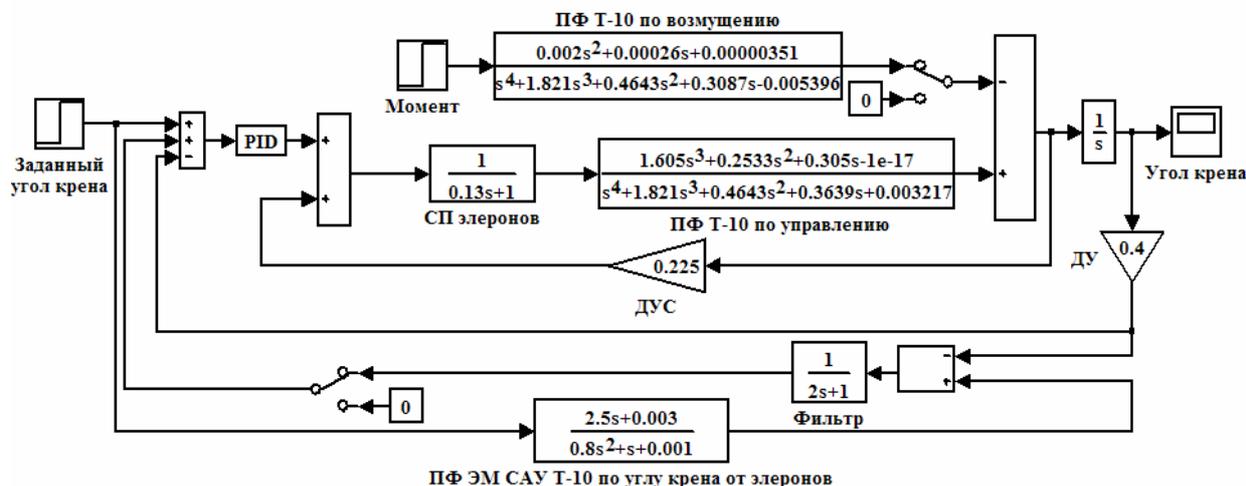


Рис.6. Машинная модель адаптивной системы управления БПЛА по углу крена

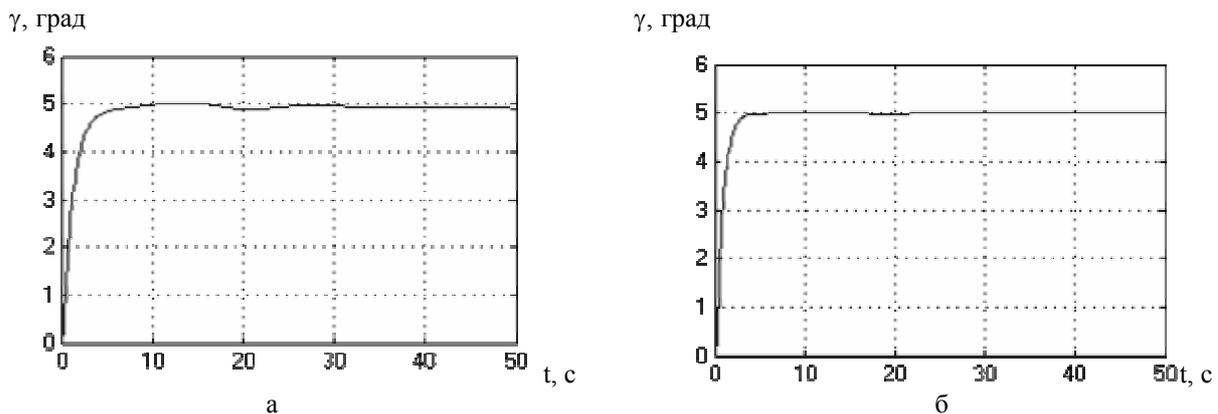


Рис.7. Переходные процессы замкнутой адаптивной системы управления по углу крена:
а – без фильтра в ОС; б – с фильтром в ОС

Как видно на рис. 7, б в боковом канале время полной компенсации возмущения составляет 5 секунд, поэтому для канала бокового движения можно не применять другой алгоритм адаптации.

Заключение

Таким образом, были синтезированы и исследованы адаптивные системы управления беспилотным летательным аппаратом с эталонными моделями, установленными параллельно основному контуру в каналах продольного (стабилизация угла тангажа) и бокового (стабилизация угла крена) движения, а также применен градиентный метод адаптации при управлении по углу тангажа.

В результате исследования различных алгоритмов адаптации можно сделать вывод, что для управления беспилотным летательным аппаратом в канале тангажа необходимо использовать адаптивную систему, синтезированную градиентным методом, которая обеспечивает требуемые показатели качества системы и обеспечивают полную компенсацию возмущающего воздействия за 6 с.

Для бокового канала рациональным алгоритмом является алгоритм адаптации с ЭМ, включенной параллельно основному контуру, который обеспечивает полную компенсацию возмущающего воздействия за 10 с и показатели качества, полностью удовлетворяющие заявленным требованиям.

Литература

1. Боднер В.А. Стабилизация летательных аппаратов и автопилот / В.А. Боднер, М.С. Козлов. – М.: Оборонгиз, 1961. – 573 с.
2. Соколов Н.И. Адаптивные системы автоматического управления летательными аппаратами: учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов / Н.И. Соколов, В.Ю. Рутковский, Н.Б. Судзиловский. – М.: Машиностроение, 1988. – 208 с.

3. Симонов В.Ф. Оптимальні й адаптивні системи автоматичного керування: навч. посібник до лабораторного практикуму / В.Ф. Симонов, І.Ю. Дибська. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т „Харк. авіац. ін-т”, 2007. – 50 с.
4. Кортунов В.И. Адаптивные системы автоматического управления: метод. указания к выполнению лабораторных работ / В.И. Кортунов, И.Ю. Дыбская, А.В. Калякин. – Х.: ХАИ, 2003. – 156 с.
5. Адаптивные автоматические системы: сборник статей / редкол.: Г.А. Медведева и др. – М.: Сов. радио, 1972. – 184 с.
6. Адаптивные системы идентификации / А.Г. Кикун, В.И. Костюк, В.Е. Краскевич, А.Н. Сильвестров, С.В. Шнит. – К.: Техника, 1975. – 288 с.
7. Адаптивные фильтры: пер. с англ. / К.Ф.Н. Коузэна, П.М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
8. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие для вузов по спец. «Автоматика и упр. в техн. системах» / А.Г. Александров. – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.
9. Системы адаптивного управления летательными аппаратами / А.С. Новоселов, В.Е. Болконин, П.И. Чинаев, А.Н. Юрьев. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.
10. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие для вузов / Е.П. Чураков. – М.: Энергоиздат, 1987. – 256 с.
11. Фомин В.Н. Адаптивное управление динамическими объектами / В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, В.А. Якубович. – М.: Наука, 1981. – 546 с.
12. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах (беспоисковые методы) / А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 1990. – 355 с.
13. Смирнова В.М. Основы проектирования и расчета следящих систем / В.М. Смирнова, Ю.А. Петров, В.И. Разинцев. – М.: Машиностроение, 1983. – 296 с.
14. Земляков С.Д. Выбор схемы и анализ беспилотной самонастраивающейся системы с эталонной моделью / С.Д. Земляков // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1965. – №3. – С. 157-168.

15. Земляков С.Д. О некоторых результатах развития теории и практического применения беспилотных адаптивных систем / С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский // Автоматика и телемеханика. – 2001. – №7. – С. 103-121.

16. Пат. 2109317 Российская Федерация, МПК⁷ G05B13/02. Адаптивная система управления / Еремин Е.Л., Плутенко А.Д., Шестаков Д.Ю.; Заявитель и патентообладатель Амурский государственный ун-т. – №96105750/09; заявл. 26.03.96; опубл. 20.04.98, Бюл.№31. – 3 с.

17. Пат. 2130635 Российская Федерация, МПК⁷ G05B13/00. Адаптивная система управления с пе-

ременной структурой / Жданов А.О., Чернов В.Ф., Максимов И.А., Назаров С.П., Фисенко Д.А. Заявитель и патентообладатель Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище. – №98106603/09; заявл. 30.03.98; опубл. 20.05.99, Бюл.№26. – 19 с.

18. Пат. 2155362 Российская Федерация, МПК⁷ G05B13/02. Адаптивная система управления / Еремин Е.Л., Акилова С.Г.; Заявитель и патентообладатель Амурский государственный ун-т. – №96105750/09; заявл. 13.07.99; опубл. 27.08.99, Бюл.№36. – 4 с.

Поступила в редакцию 23.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., советник генерального директора по науке В.М. Свищ, ГНПП «Коммунар», Харьков.

АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ Т-10

В.Ф. Симонов, І.В. Амеліна

Проведений синтез та аналіз адаптивних систем управління безпілотним літальним апаратом Т-10 у каналах поздовжнього та бокового руху (управління кутами тангажа та крену). Були використані наступні алгоритми адаптації: включення еталонної моделі паралельно основному контуру управління та градієнтний метод адаптації. Дослідження динаміки адаптивних систем управління проводилося у середовищі графічного моделювання Simulink пакета Matlab. На основі отриманих результатів моделювання обрані раціональні алгоритми адаптивного управління для поздовжнього та бокового каналів руху безпілотного літального апарата.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, система управління, поздовжній канал, боковий канал, алгоритм адаптації, еталонна модель, градієнтний метод адаптації.

ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF UNMANNED FLYING VEHICLE T-10

V.F. Symonov, I.V. Amelina

Synthesis and the analysis of adaptive control systems of unmanned flying vehicle T-10 in channels of longitudinal and lateral motion (control in pitch and roll angles) is carried out. The following adaptation algorithms were used: including of reference model in parallel to the main control loop and gradient adaptation method. Research of adaptive control systems dynamics was investigated in the environment of graphic modelling Simulink packet Matlab. On the basis of the received modelling results rational adaptive control algorithms for longitudinal and lateral motion channels of unmanned flying vehicle are chosen.

Key words: unmanned flying vehicle, control system, longitudinal channel, lateral channel, adaptation algorithm, reference model, gradient adaptation method.

Симонов Владимир Федорович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры систем управления летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Амелина Ирина Викторовна – студентка 6-го курса факультета систем управления летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: ixi2007@mail.ru.