

УДК 629.7.05 (075.8)

А. М. СУББОТА, В. Ф. СИМОНОВ, М. В. КУЛИШ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ САМОНАСТРОЙКИ КАК ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Рассмотрены вопросы, связанные с выбором и обоснованием схемы самонастраивающегося автопилота. Первая исследуемая схема автопилота имеет контур самонастройки, построенный на принципе поддержания заданного запаса устойчивости около ее границы. Вторая схема автопилота имеет контур самонастройки, построенный на принципе поддержания минимума интегральной среднеквадратической ошибки. Исследование указанных схем осуществляется на базе анализа изменений показателей качества в зависимости от изменения коэффициента усиления в цепи регулирования угловой скорости, что обусловлено деградацией характеристик отдельных элементов автопилота, вследствие, например, их старения.

Ключевые слова: самонастраивающийся автопилот, контур самонастройки, показатели качества, моделирование в среде MATLAB/SIMULINK.

Введение

Одним из недостатков систем автоматического управления (САУ) с жесткими, неизменными алгоритмами работы является изменение показателей качества в недопустимых пределах при изменении динамических характеристик функциональных элементов или самих объектов. В то же время внедрение в САУ специальных контуров подстройки может обеспечить в допустимых пределах поддержание показателей качества при изменении в процессе функционирования САУ коэффициентов усиления, постоянных времени инерционных звеньев и ряда других параметров. Особенно это важно при обеспечении безотказности функционирования САУ в условиях медленно изменяющихся параметров отдельных ее функциональных элементов, например, вследствие их старения и износа. При этом контуры подстройки или самонастройки могут быть внедрены в достаточно широкий класс САУ: в системы стабилизации, следящие системы, системы программного управления, а их эффективность определяется соответствующими показателями качества. В общем случае эффективность таких САУ может быть представлена в виде множества:

$$J = \{\sigma, \varepsilon, t_{\text{пн}}, A_3, \varphi_3 \dots\}, \quad (1)$$

где $\sigma, \varepsilon, t_{\text{пн}}, A_3, \varphi_3$ – показатели качества САУ, соответственно перерегулирование, ошибка в установившемся режиме, время переходного процесса, запасы устойчивости по амплитуде и по фазе и т.д.

В процессе работы самонастраивающихся сис-

тем управления (ССУ) можно выделить следующие задачи [1]:

а) получение информации о динамических характеристиках объекта управления и внешних возмущающих воздействиях;

б) формирование показателей качества системы – J ;

в) сравнение величины J с требуемым значением показателя качества $J_{\text{тр}}$ и выработка управляющего воздействия;

г) изменение (настройка) параметров управляющего устройства для обеспечения $J_{\text{тр}}$ или сохранение его в допустимых пределах.

Решение приведенных выше задач в конкретных ССУ может осуществляться разными способами:

- путем подачи на вход системы или объекта специальных пробных сигналов, например, в виде гармонических колебаний на разных частотах с целью получения АЧХ в различных точках;

- формированием параметров настройки по показателям качества ССУ на базе модели;

- путем экстремальной настройки параметров.

Проектирование таких систем как автопилоты, обеспечивающих в процессе износа и старения отдельных элементов такую самонастройку функционирования, что показатели качества остаются в допустимых пределах, является актуальной задачей. Кроме того схемные решения таких автопилотов позволяют исключить из своего состава блоки диагностики и парирования, что значительно упрощает их структуру и настройку.

Постановка задачи исследований

Наиболее распространенными схемами контуров самонастройки автопилотов являются схемы, построенные на принципах:

- поддержания заданного запаса устойчивости около границы устойчивости;
- поддержания минимума интегральной среднеквадратической ошибки, применительно к контурам управления угловой скоростью летательного аппарата.

В существующих литературных источниках [1, 2, 5, 6] отсутствуют рекомендации по выбору, обоснованию и сравнительным характеристикам автопилотов с различными контурами самонастройки, а имеющиеся некоторые теоретические исследования, в основном, носят обзорный характер. В связи с этим возникает практическая необходимость в проведении экспериментальных исследований эффективности самонастраивающихся автопилотов, построенных на указанных выше принципах, проведения анализа полученных результатов и выработки рекомендаций по их применению.

Исследование показателей качества автопилота с контуром самонастройки, построенного на принципе поддержания заданного запаса устойчивости около ее границы

В качестве базового варианта данной схемы самонастраивающегося автопилота (СНА) принята схема, приведенная в [4]. В основе функционирования такого СНА заложен принцип сравнения высокочастотной и низкочастотной составляющих выходных сигналов фильтров, входящих в контур самонастройки. Такого типа СНА обладают тем пре-

имуществом, что в них не требуется вводить пробные сигналы. При этом перестройка параметров может осуществляться как от управляющих воздействий, поступающих на вход основного контура, так и от возмущений и помех, действующих на систему [3]. Данная схема, преобразованная и дополненная необходимыми блоками и связями для обеспечения исследований в среде MATLAB/SIMULINK, приведена на рис. 1.

В схеме (рис. 1) введены следующие обозначения: Step – источник единичного ступенчатого воздействия; Sum – сумматор; Gain – усилитель; Product – умножитель; Integrator – интегратор; Abs – блок формирования сигналов по абсолютной величине; Transfer Fcn – передаточная функция динамического звена; Manual Switch – переключатель; Saturation – ограничитель по амплитуде; Scope – осциллограф; Input – входной сигнал; Output – выходной сигнал.

Результаты исследований во временной и частотной областях показателей качества схемы самонастраивающегося автопилота, представленной на рис. 1, показаны на рис. 2 – 5.

Исследование показателей качества автопилота с контуром самонастройки, построенного по принципу поддержания минимума интегральной среднеквадратической ошибки

Исследуемая схема данного автопилота приведена на рис. 6. На схеме (см. рис. 6) дополнительно введены: Math Function – квадратор, Derivative – дифференциатор.

Результаты исследований во временной и частотной областях показателей качества схемы самонастраивающегося автопилота, представленной на рис. 6, показаны на рис. 7 – 10.

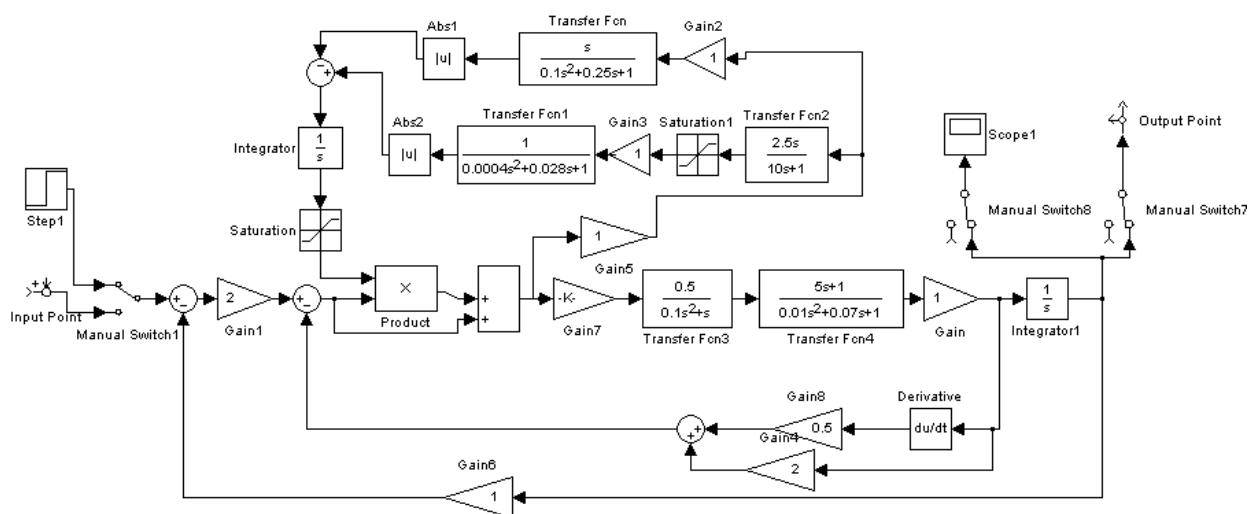


Рис. 1. Схема моделирования автопилота с контуром самонастройки, построенного на принципе поддержания заданного запаса устойчивости около ее границы

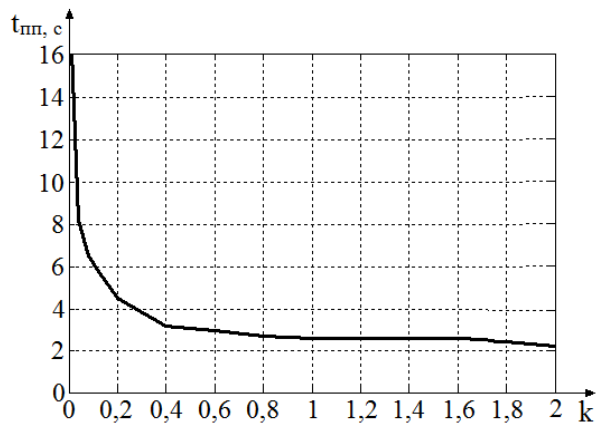


Рис. 2. График зависимости времени переходного процесса от коэффициента усиления

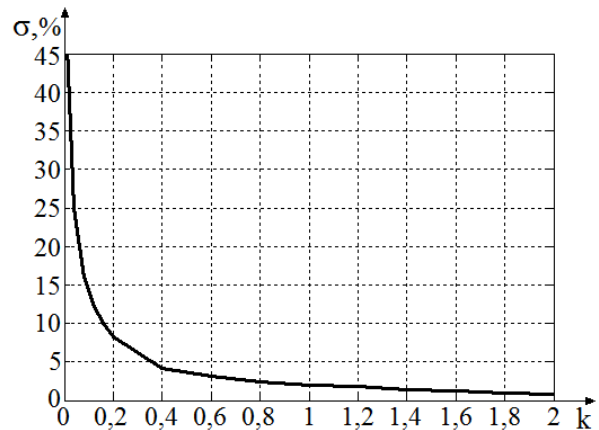


Рис. 3. График зависимости перерегулирования от коэффициента усиления

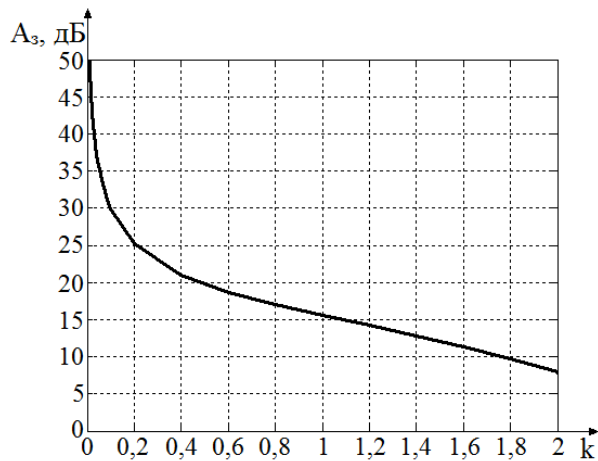


Рис. 4. График зависимости запаса устойчивости по амплитуде от коэффициента усиления

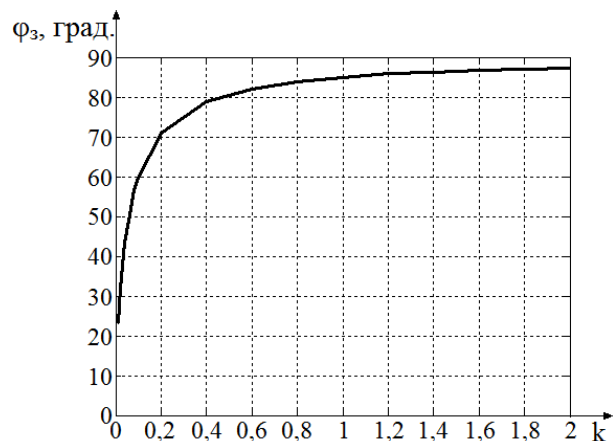


Рис. 5. График зависимости запаса устойчивости по фазе от коэффициента усиления

Заключение

Результаты исследований, прежде всего, показали, что компенсация изменений состояния отдельных элементов автопилота, обусловленных их постоянной деградацией, возможна за счет введения в автопилот контура самонастройки. Схема автопилота (см. рис. 1) с контуром самонастройки, построенного по принципу поддержания заданного запаса устойчивости около ее границы, имеет более сложную структуру, и обеспечивает поддержание показателей качества в допустимых пределах при изменении коэффициента усиления примерно в 10 раз. Схема автопилота (см. рис. 6) с контуром самонастройки, построенная по принципу поддержания

минимума интегральной среднеквадратической ошибки имеет более простую структуру и обеспечивает поддержание показателей качества в допустимых пределах при изменении коэффициента усиления примерно в 8-9 раз.

Таким образом, рассмотренные схемы практически обладают одними и теми же характеристиками. Однако из-за простоты настройки схема, представленная на рис. 6, является более предпочтительной при разработке самонастраивающихся автопилотов для летательных аппаратов, особенно в тех случаях, когда необходимо повысить безотказность их работы.

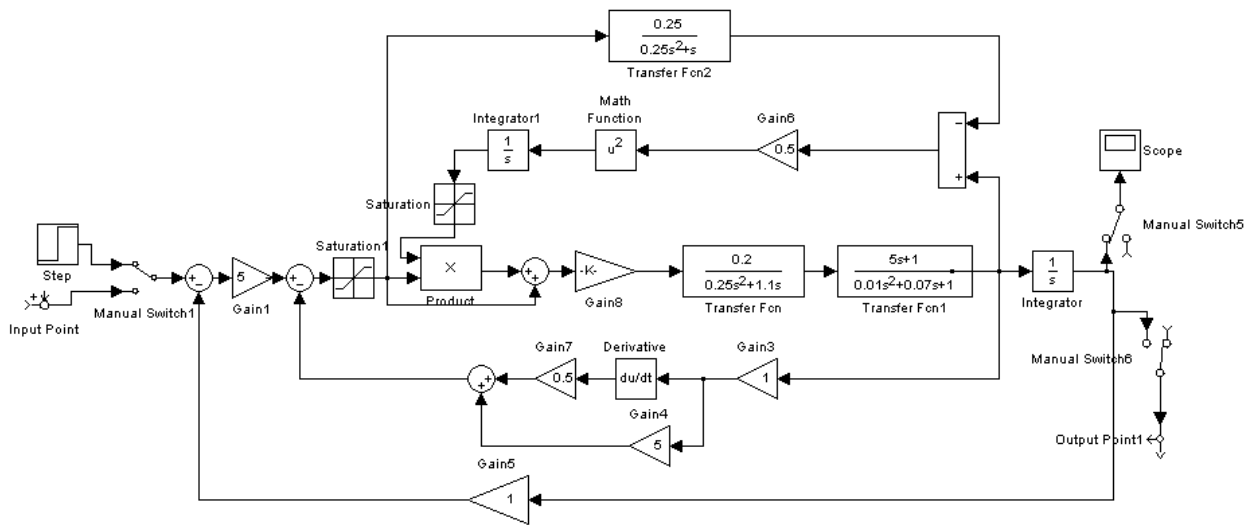


Рис. 6. Схема моделирования автопилота с контуром самонастройки, построенного на принципе поддержания минимума интегральной среднеквадратичной ошибки

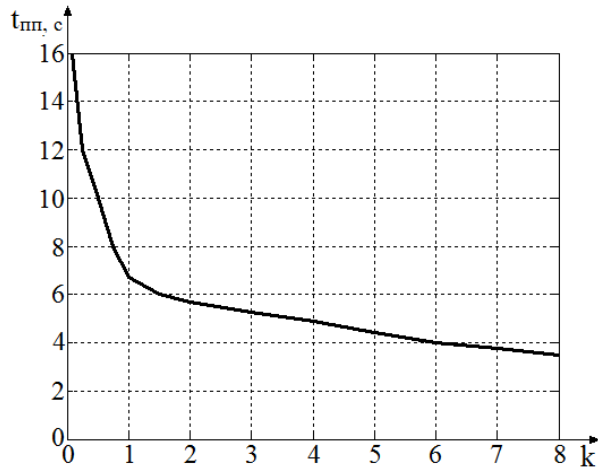


Рис. 7. График зависимости времени переходного процесса от коэффициента усиления

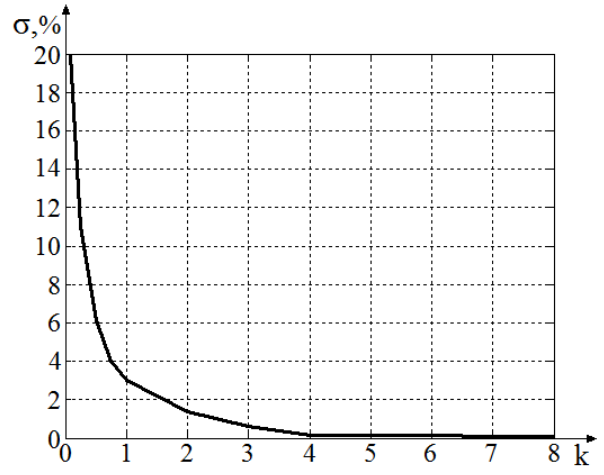


Рис. 8. График зависимости перерегулирования от коэффициента усиления

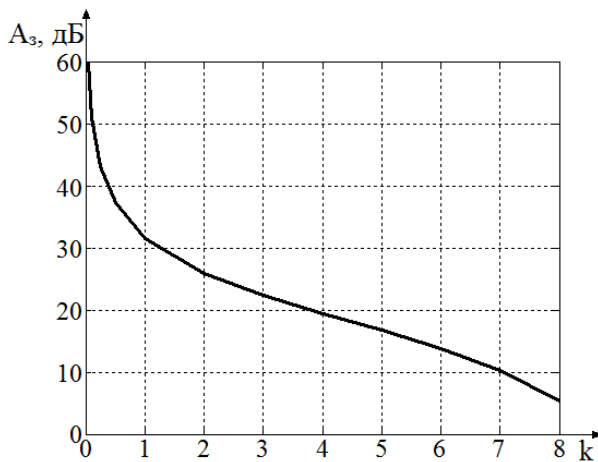


Рис. 9. График зависимости запаса устойчивости по амплитуде от коэффициента усиления

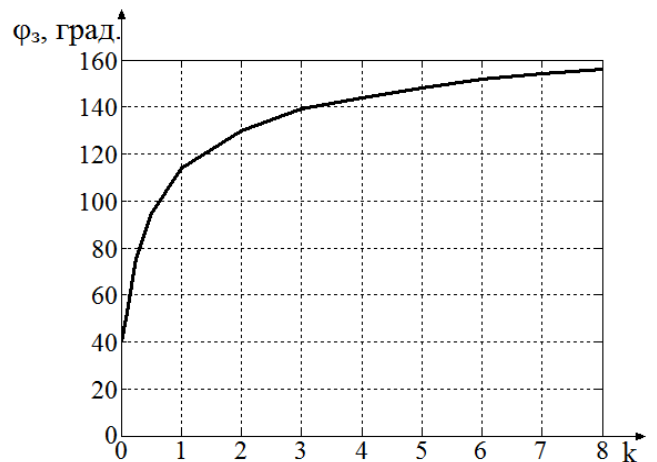


Рис. 10. График зависимости запаса устойчивости по фазе от коэффициента усиления

Литература

1. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления [Текст] / Б. Н. Петров, В. Ю. Рутковский, И. Н. Крутова, С. Д. Земляков. – М. : Машиностроение, 1972. – 260 с.
2. Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления. Часть 3. Оптимальные много-связные и адаптивные системы [Текст] / А. А. Воронов. – Л. : Ленинградское отделение «Энергия», 1970. – 328 с.
3. Боднер, В. А. Системы управления летательными аппаратами [Текст] / В. А. Боднер. – М. : Машиностроение, 1973. – 506 с.

4. Руководство к лабораторным работам по автоматическим системам управления полетом летательных аппаратов [Текст] / Ю. И. Кириленко, Ю. Н. Смирнов, Г. И. Федоренко, В. В. Павлов, О. А. Бабич. – М. : Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1962. – 176 с.

5. Высокоточные системы самонаведения [Текст] / К. А. Пупков, Н. Д. Егунов, Л. В. Колесников, Д. В. Мельников, А. И. Трофимов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 512 с.

6. Siouris, G. M. Missile guidance and control systems [Text] / G. M. Siouris. – N. Y. : Springer-Verlag Inc., 2004. – 680 p.

Поступила в редакцию 3.09.2014, рассмотрена на редколлегии 18.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий каф. авиационных приборов и измерений Н. Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ САМОНАЛАГОДЖУВАННЯ ЯК ОДИН З МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

А. М. Субота, В. Ф. Симонов, М. В. Куліш

Розглянуто питання, що зв'язані з вибором та обґрунтуванням схеми самоналагоджуваного автопілота. Перша схема автопілота, що досліджується, має контур самоналагоджування побудованого на принципі підтримки заданого запасу стійкості біля її границі. Друга схема автопілота має контур самоналагоджування, побудованого на принципі підтримки мінімуму інтегральної середньоквадратичної похибки. Дослідження вказаних схем виконується на базі аналізу зміни показників якості у залежності від зміни коефіцієнта підсилення у ланці регулювання кутової швидкості, що обумовлено деградацією характеристик окремих елементів автопілота, наприклад, із-за їх старіння.

Ключові слова: самоналагоджуваний автопілот, контур самоналагоджування, показники якості, моделювання в середовищі MATLAB/SIMULINK.

IMPLEMENTATION OF SELF-ADJUSTING ELEMENTS AS ONE OF POSSIBLE WAYS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS RATIONAL DESIGNING

A. M. Subbota, V. F. Symonov, M. V. Kulish

The problems connected with choice and grounding of the self-adjusting autopilot diagram are considered. The first researched autopilot diagram has self-adjusting loop, based on principle of supporting setting stability margin near its boundary. The second autopilot diagram has self-adjusting loop, based on principle of supporting minimum of integral standard deviation. Researching of appointed diagrams is realizing on the base of analysis changing quality indexes in depending on changing of the gain in circuit of the angular velocity adjusting, which caused degradation of separate autopilot elements characteristics owing to, for example, their ageing.

Key words: self-adjusting autopilot, loop of self-adjusting, quality indexes, simulating in environment MATLAB/SIMULINK.

Суббота Анатолий Максимович – канд. техн. наук, проф., проф. кафедри систем управління летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Симонов Владимир Федорович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри систем управління летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Кулиш Мария Валентиновна – специалист кафедри систем управління летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.