

10. *Bershtein L.S., Bozhenuk A.V.* Maghout Method for Determination of Fuzzy Independent, Dominating Vertex Sets and Fuzzy Graph Kernels // *Int. J. General Systems.* – 2001. – Vol. 30, № 1. – P. 45-52.
11. *Берштейн Л.С., Боженюк А.В.* Нечеткие графы и гиперграфы. – М.: Научный мир, 2005, – 256 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н, профессор Е.А. Башков.

Берштейн Леонид Самойлович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: lsb@tti.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: 88634371695; кафедра прикладной информатики; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор,

Боженюк Александр Витальевич – Научно-технический центр «Информационные технологии» федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: avb002@yandex.ru; 347922, г. Таганрог, Октябрьская пл., 4; тел.: 88634681937; зав. отдела; д.т.н.; профессор.

Bershtein Leonid Samoilovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: lsb@tti.sfedu.ru; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371695; department of applied information science; chief of department; dr. of eng. sc.; professor.

Bozhenyuk Alexander Vitalievich – Scientific and Technical Center "INTECH" of Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: avb002@yandex.ru; 4, Oktyabrskaya square, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634310866; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 629.78.05

Ю.А. Гелож, П.П. Клименко, А.В. Максимов

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ В НЕЛИНЕЙНОМ АВТОПИЛОТЕ

Исследованы процессы управления в нелинейной автоматической системе управления во время больших возмущений. Реализация в нелинейной модели автопилота принципа дополнительного управления позволила увеличить вероятность установления заданного угла крена и расширить диапазон установления углов вплоть до 2,8 радиан. Релейное управление позволяет уменьшить время переходных процессов. За счет применения пилообразной характеристики датчика угла крена, на её разрыве интегратор будет вносить существенные ошибки в систему. Этого можно избежать, если включать/выключать интегратор в нужное время. В работе показан принцип управления и обнуления интегратора, представляющий собой совместный процесс по приведению ЛА в устойчивое состояние.

Автопилот; управление; крен; нелинейная автоматическая система управления; релейное управление; интегратор; приведение ЛА в устойчивое состояние.

Y.A. Geloge, P.P. Klimenko, A.V. Maximov

RESEARCHING TRANSITIONAL PROCESSES IN NONLINER AUTOPILOT

The principles of processes control in automatic nonlinear systems are based. The research demonstrates that suggested principles of control are worth when applied in automatic systems during large indignations. The implementation of the principle of non-linear model of the autopilot controls an additional possible to increase the likelihood of establishing a given angle of heel and extend the range of setting angles of up to 2.8 radians. Relay control can reduce the time of

transition. Through the application of the sawtooth characteristics of the sensor angle of heel on her break integrator will make a significant error in the system. This can be avoided if the enable/disable the integrator at the right time. The paper shows the principle of control and reset the integrator, which is a collaborative process to bring the aircraft to a stable state.

Autopilot; control; roll; automatic nonlinear system; relay control; to bring the aircraft to a stable state.

В [1–3] были рассмотрены различные модификации моделей автопилотов. Исследование линейной схемы и схемы с нелинейным приводом автопилотов доказало невозможность вхождения ЛА в режим автоколебаний. При достаточно большой начальной угловой скорости вращения система с ограниченным углом закладки элеронов и линейной характеристикой датчика угла крена не успевает привести ЛА в состояние покоя, что приводит к совершению нескольких полных оборотов объекта. Однако после погашения угловой скорости такая система заставляет совершить такое же количество лишних оборотов в обратную сторону до установления угла крена γ_s . Этот факт говорит о значительном преимуществе автопилотов с пилообразной характеристикой датчика угла крена ЛА.

Кроме вышеуказанного преимущества автопилота с пилообразной характеристикой датчика угла крена, в такой модели существует существенный недостаток, а именно: возможность окончания переходного процесса одним из двух событий: либо в системе сразу или через несколько оборотов наступает состояние равновесия, либо в системе наступает кризис, и она входит в режим автоколебаний. Исход переходного процесса определяется его начальными условиями, в силу случайности которых нелинейная система становится статистически устойчивой, т.е. реализующей требуемый режим работы с некоторой вероятностью. С увеличением угла крена γ_s и уменьшением запаса по фазе системы вероятность вхождения в режим автоколебаний увеличивается.

Реализация в нелинейной модели автопилота принципа дополнительного управления позволила увеличить вероятность установления заданного угла крена и расширить диапазон установления углов вплоть до 2,8 радиан. Релейное управление позволяет уменьшить время переходных процессов.

Пусть на ЛА кратковременно действовало сильное возмущение. Тогда в начальный момент времени исследуемая система уже обладает некоторой энергией, полученной от импульса воздействия, а значит, начальными условиями являются не только некоторые угол крена и угловая скорость по крену, но и накопившаяся ошибка в памяти интегратора. Эта ошибка повлечёт за собой непредсказуемые последствия в работе системы.

Так как вход интегратора непосредственно подключен к выходу нелинейного датчика углов крена, то интегрируется пилообразная характеристика датчика угла крена, и на её разрыве интегратор будет вносить существенные ошибки в систему. Этого можно избежать, если включать/выключать интегратор в нужное время. На рис. 1 предложено такое включение/выключение.

Таким образом, отрезок фазовой кривой "bc" на рис. 1 является рабочим отрезком интегратора. Интегратор ставится в режим сброса в начале работы автопилота, т.е. до точки "a". В точке "a" включается релейное управление, согласно рассмотренному ранее принципу управления, и выключается в точке "b". В это же время интегратор снимается с режима сброса и плавно корректирует фазовую траекторию, направляя её в аттрактивную зону (затемненная область). В точке "c" снова включается релейное управление, а интегратор ставится в режим сброса. Таким образом, принцип управления и обнуления интегратора представляет собой совместный процесс по приведению ЛА в устойчивое состояние.

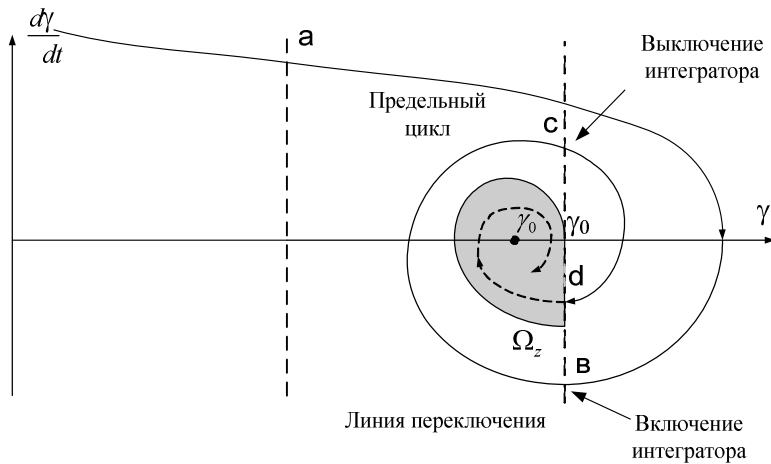


Рис. 1. Время включения/выключения интегратора

На рис. 2 представлена структурная схема нелинейной модели автопилота с реализацией сброса интегратора.

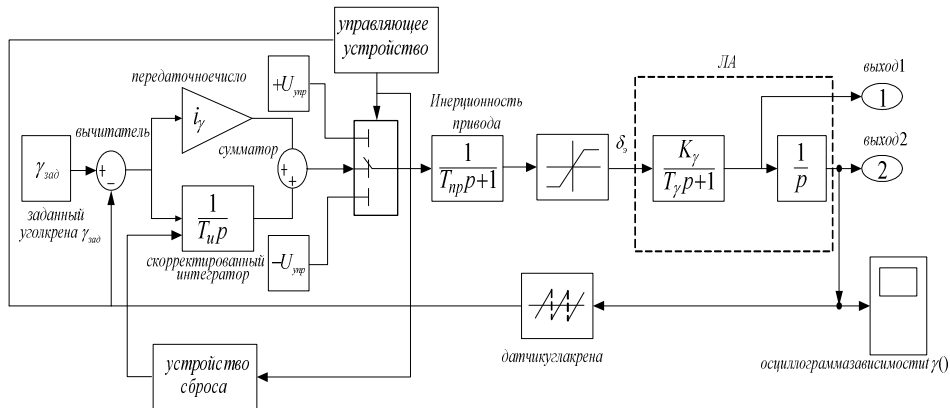


Рис. 2. Структурная схема нелинейной модели автопилота с реализацией сброса интегратора

Сравним переходные процессы в нелинейном автопилоте с дополнительным управлением и переходные процессы в нелинейном автопилоте с дополнительным управлением и сбросом интегратора (рис. 2). Рассмотрим пример установления заданного угла крена, равного 160 рад. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Из временных диаграмм переходных процессов (рис. 3) определим количество оборотов ЛА вокруг продольной оси и длительность переходных процессов:

1. Нелинейный автопилот срывается, входит в режим автоколебаний.
2. Нелинейный автопилот с принципом дополнительного управления – 7 оборотов; 4,5 секунды, но входит в режим автоколебаний.
3. Нелинейный автопилот с принципом дополнительного управления и сбросом интегратора – 7 оборотов; 4,2 секунды.

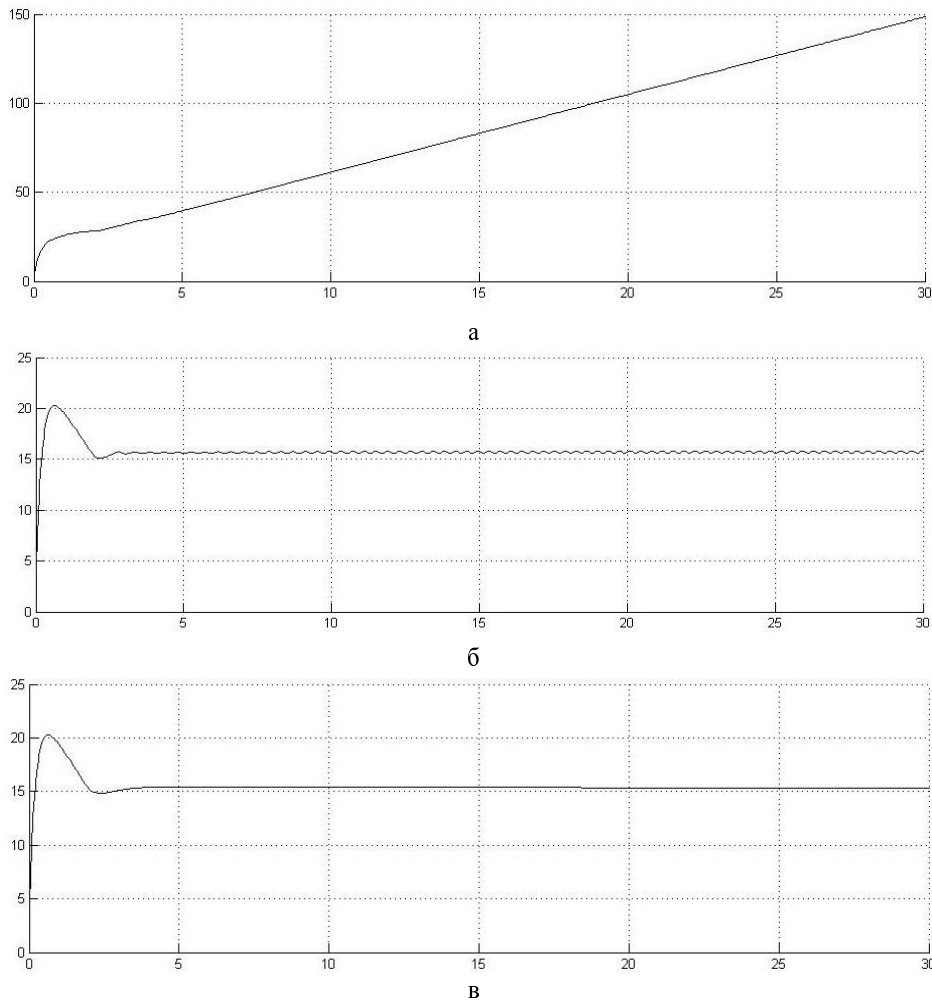


Рис.3. Временные диаграммы переходных процессов с параметрами: $k_{\gamma} = 10 \frac{1}{c}$; $\gamma_3 = 2,8 \text{ рад}$; $T_{np} = 0,02 \text{ с}$; а – нелинейный автопилот; б – дополнительное управление; в – дополнительное управление и сброс интегратора

В результате исследования и сравнения нелинейных автопилотов найдены и максимально возможные устанавливаемые углы крена для модальных условий:

1. Для нелинейного автопилота – от -140 до 140 градусов.
2. Для нелинейного автопилота с дополнительным управлением – от -165 до 165 градусов.
3. Для нелинейного автопилота с дополнительным управлением и сбросом интегратора – от -179 до 179 градусов.

Анализируя вышеуказанные результаты, видно, что лучшие показатели – у нелинейного автопилота с дополнительным управлением и сбросом интегратора.

Реализация сброса значения интегратора привела к тому, что диапазон установления углов крена расширился до $3,13 \text{ рад}$. Вероятность установления меньших углов существенно повысилась, и понизилось влияние запаса по фазе на переходные процессы системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гелозе Ю.А., Клименко П.П. Управление процессами в нелинейных системах. – М.: Радио и связь, 2006. – 264 с.
2. Гелозе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Исследование переходных процессов в нелинейном автопилоте // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 55-61.
3. Гелозе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Исследование переходных процессов в нелинейном автопилоте с гибкой обратной связью // Материалы Всероссийской научной конференции «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем». (Системотехника – 20112). – С. 96-102.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Тарарыкин.

Максимов Александр Викторович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: kafmps@tppark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328058; кафедра микропроцессорных систем; доцент.

Гелозе Юрий Андреевич – e-mail: rts@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: 88634371637; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

Клименко Павел Петрович – кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

Maksimov Aleksandr Viktorovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail:kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskay street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328058; the department of microprocessor systems; associate professor.

Ghelozhe Yury Andreevich – e-mail: rts@tsure.ru; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371637; the department of radio engineering and telecommunication systems; associate professor.

Klimenko Pavel Petrovich – the department of radio engineering and telecommunication systems; associate professor.

УДК 681.51

А.А. Колесников, А.А. Кузьменко

НЕЛИНЕЙНЫЙ СИНТЕЗ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОМ: ИНТЕГРАЛЬНАЯ АДАПТАЦИЯ

Наиболее распространенными генерирующими компонентами электроэнергетических систем являются турбогенераторы. Повышение требований к качеству вырабатываемой электроэнергии, устойчивости, расширению функциональных возможностей турбогенераторов электростанций обуславливают актуальность и необходимость поиска путей совершенствования процессов управления турбогенераторами. В статье рассмотрен нелинейный синтез к построению адаптивных законов управления турбогенератором энергосистемы, которые обеспечивают асимптотическую устойчивость в целом замкнутой системы <<турбогенератор-регулятор>>, параметрическую робастность и инвариантность к внешним возмущениям кусочно-постоянным возмущениям со стороны энергосистемы. На основе указанных законов построен принципиально новый класс автоматических регуляторов. Проведенное компьютерное моделирование полностью подтверждает полученные теоретические выводы.

Турбогенератор; синергетическое управление; инвариантное многообразие; наилучшее возмущение; интегральная адаптация.