

- 2) важно верно задавать вопрос при каждом попарном сравнении. В данном случае вопрос, скорее всего, будет иметь форму «Какая из уязвимостей опаснее относительно данного критерия?»;
- 3) необходимо как можно более полно составить перечень значащих критериев для данного списка, которые будут использоваться при оценке;
- 4) при построении иерархии следует особое внимание уделять группе технических критериев и особенностям эксплуатации существующих в системе уязвимостей. Данный подход позволит провести оценку с учетом большего числа характерных черт IP-телефонии;
- 5) чем полнее информация об уязвимостях, тем лучше результат оценки будет описывать текущее состояние системы.

Таким образом, использование метода анализа иерархий при оценке уязвимостей позволяет:

- ◆ получить более специфичную и точную оценку, в частности для рассматриваемой области IP-телефонии;
- ◆ вследствие субъективности процесса получить оценку, более соответствующую приоритетам и требованиям организации, осуществляющей контроль и управление системой IP-телефонии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mell P., Scarfone K., Romanosky S.* CVSS. A Complete Guide to the Common Vulnerability Scoring System. Version 2.0. [Электронный ресурс]/ P. Mell, K. Scarfone, S. Romanosky – Режим доступа: <http://www.first.org/cvss/cvss-guide.html>. Дата обращения: 11.12.2009.
2. *Caamu T.G.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Г. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. *Rosenberg J., Schulzrinne H., Camarillo G., Johnston A., Peterson J., Sparks R., Handley M., Schooler E.* RFC 3261. SIP: Session Initiation Protocol [Электронный ресурс]/ J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler – Режим доступа: <http://tools.ietf.org/html/rfc3261>. Дата обращения 11.12.2009.

**Рубцов Никита Вячеславович**

Ижевский государственный технический университет.

E-mail: [nikizzzz@gmail.com](mailto:nikizzzz@gmail.com).

426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7.

Тел.: 83412585358.

**Rubtsov Nikita Vyacheslavovich**

Izhevsk State Technical University.

E-mail: [nikizzzz@gmail.com](mailto:nikizzzz@gmail.com).

7, Studencheskaya street, Ijevsk, 426069, Russia.

Phone: +73412585358.

УДК 629.78.05

**Ю.А. Геложе, П.П. Клименко, А.В. Максимов**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНОМ АВТОПИЛОТЕ**

*Настоящая работа посвящена исследованию процессов управления в нелинейной автоматической системе управления во время больших возмущений.*

*Автопилот; управление; крен.*

Yu.A. Ghelozhe, P.P. Klimenko, A.V. Maksimov

**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.*

*Autopilot; control; roll.*

Из всего многообразия пространственных движений ЛА будет рассматриваться только его вращательное движение относительно продольной оси. Характерным практически для всех аппаратов является сравнительно малый момент инерции корпуса ЛА относительно этой оси, что приводит к быстрой переориентации по крену при практически неизменных других ориентационных углах и неизменных траекториях за время переходного процесса в канале крена. Это позволяет вращение ЛА по крену рассматривать отдельно от других компонентов его пространственного движения.

Структурная схема построенной традиционно системы автоматического управления ориентацией объекта по крену приведена на рис. 1.

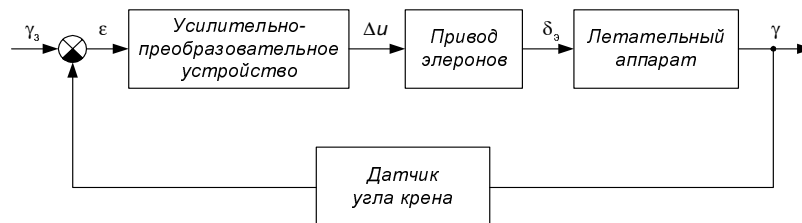


Рис. 1. Структурная схема построенной традиционно системы автоматического управления ориентацией объекта по крену

На структурной схеме приняты следующие обозначения:  $\gamma_3$  – сигнал, определяющий заданное значение угла крена,  $\varepsilon$  – сигнал рассогласования,  $\Delta u$  – управляющий сигнал,  $\delta_3$  – угол закладки элеронов (управляющих органов),  $\gamma$  – значение угла крена, отработанное системой автоматического управления.

Усилительно-преобразовательное устройство, также называемое регулятором, является пропорционально-интегрирующим (ПИ-типа).

Привод элеронов можно представить в виде последовательно соединенных линейного апериодического звена и нелинейного безынерционного звена типа «двусторонний ограничитель». Линейное апериодическое звено характеризует инерционность привода и имеет передаточную функцию:

$$W_{np}(p) = \frac{1}{T_{np}p + 1}, \quad (1)$$

где  $T_{np}$  – постоянная времени привода.

Введение нелинейного звена связано с тем, что формируемая приводом закладка элеронов не может превышать некоторое максимальное значение  $\delta_{эм}$ , т.е. ресурс управления системы ограничен. Коэффициент наклона линейной части нелинейного звена равен единице, поэтому функция, описывающая это звено, имеет вид

$$\delta_3 = f(u) = \begin{cases} u, & \text{при } |u| \leq \delta_{эм}; \\ \delta_{эм}, & \text{при } |u| > \delta_{эм}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $u$  – воздействие на входе нелинейного звена.

Передаточная функция ЛА по крену, устанавливающая зависимость между углом закладки элеронов и углом крена, имеет следующее выражение:

$$W_{ЛА}(p) = \frac{K_\gamma}{p(T_\gamma p + 1)}, \quad (3)$$

где  $K_\gamma$  – коэффициент усиления ЛА для канала крена;

$T_\gamma$  – постоянная времени ЛА для канала крена.

Датчик угла крена в общем случае может быть описан некоторой функцией текущего угла крена  $F(\gamma)$ .

С учетом приведенных выше соотношений построим математическую модель системы автоматического управления по крену с ПИ-регулятором (рис. 2).

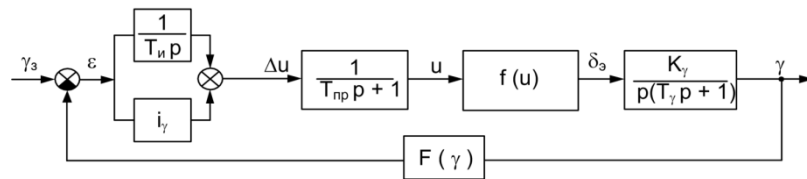


Рис. 2. Математическая модель системы автоматического управления по крену с ПИ-регулятором

Математическую модель системы стабилизации угла крена можно также представить в виде нелинейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ) третьего порядка, которая имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{u} = -u/T_{np} + i_\gamma[\gamma_3 - F(\gamma)]/T_{np}, \\ \dot{\omega} = -\omega/T_\gamma + K_\gamma f(u)/T_\gamma, \\ \dot{\gamma} = \omega, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения по крену.

Показания идеального датчика точно равны измеряемому углу, следовательно, аналитическое выражение характеристики этого датчика для измерения любого угла крена имеет вид

$$F_{ид}(\gamma) = \gamma, \quad (-\infty < \gamma < \infty). \quad (5)$$

Реальный датчик, позволяющий измерить угол крена ЛА, представляет собой гироскопический прибор с тремя степенями свободы (гировертикант). Если ЛА вращается вокруг своей продольной оси, одна и та же ориентационная ситуация будет повторяться после каждого полного его оборота. Следовательно, характеристика реального датчика угла (гировертиканта) будет иметь вид периодической функции угла крена с периодом  $2\pi$ .

В предположении, что численные значения его показаний точно равны измеряемому углу, аналитическое выражение характеристики реального датчика для изменения угла крена в пределах от  $-\pi$  до  $\pi$  имеет вид

$$F_p(\gamma) = \gamma, \quad (-\pi < \gamma < \pi). \quad (6)$$

Для любых углов крена с учетом периодичности характеристики имеем

$$F_p(\gamma) = \gamma \mp 2\pi m, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (7)$$

Характеристика реального датчика угла крена приведена на рис. 3.

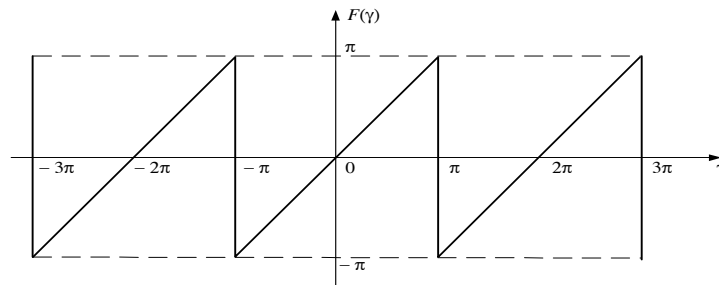


Рис. 3. Характеристика реального датчика угла крена

Таким образом, автоматическая система управления по крену, как с идеальным, так и с реальными датчиками, может быть описана СОДУ (4), где вместо  $F(\gamma)$  необходимо подставить выражение для характеристики соответствующего датчика (формулы (5) или (7)).

Решение СОДУ (4) позволяет исследовать поведение автопилота с учетом нелинейности его элементов. Для решения СОДУ (4) целесообразно использовать численные методы, что позволяет исследовать систему стабилизации заданного угла крена при различных ее параметрах, различных заданных углах крена и аномальных возмущениях, определяемых начальными условиями для системы (4).

Для автопилота, эффективно функционирующего в условиях больших внешних возмущений, возможно приводящих к потере управления, в [1] предложено использовать дополнительное управление.

Структурная схема автопилота, реализующего дополнительное управление, будет отличаться от структурной схемы автопилота, построенного традиционно (рис. 1), наличием блока управления, осуществляющего анализ показаний датчика угла крена, коммутацию датчика и, если необходимо, включение дополнительного управляющего воздействия.

Структурная схема системы автоматического управления ориентацией объекта по крену, реализующая дополнительное управление, приведена на рис. 4.

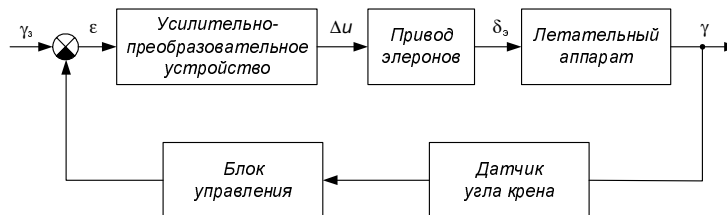


Рис. 4. Структурная схема автопилота, реализующая дополнительное управление

Для автоматической системы управления ЛА по крену можно записать закон управления, обеспечивающий выведение ее из кризисного режима. При этом будем полагать, что начальные условия могут быть значительно удалены от требуемого состояния покоя так, что при управлении в соответствии с рассматриваемым принципом приращение угла крена может превышать  $2\pi$ , т. е. угол крена в момент времени выхода из критического режима может быть  $\pm \pi \pm 2\pi k$ . Величина  $k$  определяется как целая часть отношения приращения угла крена в системе  $\gamma_{inv}$  от момента времени включения дополнительного управления до момента времени, на-

чина с которого знак производной разности фаз меняется на противоположный, к разности фаз равной  $2\pi$ :

$$k = \text{integer} \left[ \frac{\gamma_{inv}}{2\pi} \right]. \quad (8)$$

Для этих наиболее общих начальных условий закон управления в автопилоте будет иметь следующий вид:

$$U_{np}(t) = \begin{cases} U_m 1(t - \tau) \text{sign} \left[ \frac{d\gamma}{dt} \right]_{t=\tau}, & t \leq T, \\ 0, & t > T, \end{cases} \quad (9)$$

где  $U_m$  – максимальное управляющее напряжение;

$\tau$  – момент времени проявления признака кризисного развития процессов, состоящего в том, что  $\gamma(\tau) = \pm \pi$ ;

$T$  – момент времени выхода системы и критического режима, состоящий в том, что выполняются следующие условия:

$$\text{sign} \left[ \frac{d\gamma}{dt} \right]_{t=\tau} = -\text{sign} \left[ \frac{d\gamma}{dt} \right]_{t=T} \quad \text{и} \quad \gamma(T) = \pm \pi \pm 2\pi k.$$

Очевидно, что обобщенную характеристику блока управления и датчика угла крена можно представить как функцию текущего угла крена  $F_{np}(\gamma)$ . Таким образом, для автопилота, реализующего дополнительное управление, справедлива математическая модель, приведенная на рис. 2 и СОДУ (4), где вместо  $F(\gamma)$  необходимо подставить выражение для  $F_{np}(\gamma)$ , которое имеет вид

$$F_{np}[\gamma(t)] = \begin{cases} \gamma, & t < \tau, \\ U_m 1(t - \tau) \text{sign} \left[ \frac{d\gamma}{dt} \right]_{t=\tau}, & \tau \leq t \leq T, \\ \gamma \mp 2\pi k, & t > T. \end{cases} \quad (10)$$

Величина максимального управляющего напряжения  $U_m$  определяется следующим образом. В случае  $\gamma_3 \leq 70^\circ$  для обеспечения высокого быстродействия системы, реализующей дополнительное управление, элероны ЛА должны быть заложены на максимальный угол при возникновении критической ситуации. При этом, как нетрудно показать, значение  $U_m$  имеет вид

$$U_m = \delta_{эм} / i_\gamma + \gamma_3. \quad (11)$$

При этом величина ресурса управления определяется по формуле

$$\Delta U_m = U_m - \pi = \delta_{эм} / i_\gamma + \gamma_3 - \pi. \quad (12)$$

Как показывают исследования, если в критическом режиме при  $\gamma_3 \rightarrow 180^\circ$  заложить элероны на максимальный угол, система, реализующая второй принцип управления, в некоторых случаях может терять устойчивость в целом, оставаясь при этом устойчивой по Ляпунову. Таким образом, при  $\gamma_3 \rightarrow 180^\circ$  необходимо ресурс управления определять как  $\Delta U'_m = K_p \Delta U_m$ , где  $K_p < 1$  – коэффициент уменьшения ресурса управления, при этом  $K_p$  выбирается так, чтобы процессы в системе, реализующей второй принцип управления, стремились к заданному состоянию покоя. В случае  $\gamma_3 \leq 70^\circ$   $K_p = 1$ .

Исследования поведения системы с ПИ-регулятором при различных углах показали, что в диапазоне углов система с  $\varphi_{зан} = 40^\circ$  уже не работает при  $\gamma_{зад} = 84^\circ$ . Максимальный угол, при котором она ещё может работать, также будет представлен в табл. 2.

Также система с  $\varphi_{зан} = 63^\circ$  хоть и справляется с управлением на заданном углу, но критический угол при обратной закладке элеронов система проходит очень медленно, что может привести к аварии.

Так как системы с  $\varphi_{зан} = 20^\circ$  и  $\varphi_{зан} = 40^\circ$  в предыдущем диапазоне уже не переходили в состояние равновесия, то далее их не рассматривали, ограничившись только исследованием работы автопилота с  $\varphi_{зан} = 63^\circ$ . Приведём лишь максимальные углы корректной работы систем во всём диапазоне рассматриваемых углов от 0 до  $179^\circ$ . При этом определяющим условием примем то, что система должна прийти в состояние равновесия за не более чем 3 оборота.

Представим в табл. 1 максимальные обрабатываемые углы.

Таблица 1

#### Максимальные углы

$n = T_\gamma / T_{np}$	Запас по фазе	Максимальный угол
2	$\varphi_{зан} = 20^\circ$	35
	$\varphi_{зан} = 40^\circ$	80
	$\varphi_{зан} = 63^\circ$	117
3	$\varphi_{зан} = 20^\circ$	31
	$\varphi_{зан} = 40^\circ$	82
	$\varphi_{зан} = 63^\circ$	118
4	$\varphi_{зан} = 20^\circ$	32
	$\varphi_{зан} = 40^\circ$	80
	$\varphi_{зан} = 63^\circ$	120

Таким образом, для автопилота с ПИ-регулятором, который в основном используется в случаях долговременных линейных воздействий, показаны обрабатываемые максимальные углы в случае больших возмущений и исследованы зависимости (уменьшение времени вынужденных процессов с увеличением параметра  $n$  и увеличение устойчивости с увеличением  $\varphi_{зан}$ ).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геложе Ю.А., Клименко П.П. Управление процессами в нелинейных системах. – М.: Радио и связь. – 2006. – 264 с.

#### Максимов Александр Викторович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kafmps@tspark.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81.

Тел.: 88634328052; 88634325825.

#### Геложе Юрий Андреевич

E-mail: rts@tsure.ru.

**Клименко Павел Петрович**

E-mail: rts@tsure.ru.

**Maksimov Aleksandr Viktorovich**

Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kafmps@tppark.ru.

81, Petrovskay street, Taganrog, 347900, Russia.

Phone: +78634328052; +78634325825.

**Ghelozhe Yury Andreevich**

E-mail: rts@tsure.ru.

**Klimenko Pavel Petrovich**

E-mail: rts@tsure.ru.

УДК 681.3.07: 628.162.8

**М.В. Игнатьев, В.М. Игнатьев**

### **РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

*Строятся нелинейные регрессионные модели обеззараживания питьевой воды. Остатки этих моделей проверялись по статистикам Уайта и Дарбина-Уотсона.*

*Регрессионные модели.*

**M.V. Ignat'ev, V.M. Ignat'ev**

### **REGRESSION MODELS DEACTIVATE OF DRINKING WATER**

*Create non-linear regression models deactivating of drinking water. Residuals of this models tested on statistics White and Darbin-Watson.*

*Regression models.*

Для оценки эффективности применения дезактивантов при обеззараживании питьевой воды проводились эксперименты [1]. При проведении экспериментов в качестве дезактивантов использовались ионы серебра, меди и цинка с фиксацией четырёх факторов:  $c$  – удельная массовая концентрация препарата, мг/л;  $t$  – температура обеззараживаемой воды, °С;  $\tau$  – продолжительность процесса обеззараживания, сутки или минуты;  $K$  – показатель порядка уменьшения содержания клеток бактерий *E-coli* в 1 литре воды. Показатель степени обеззараживания питьевой воды ( $K$ ) оценивался как логарифм числа выживших бактерий *E-coli*. Результатирующими факторами процесса являются степень обеззараживания  $K$  и продолжительность процесса  $\tau$ . Экспериментальные данные однородны по критерию Колмогорова-Смирнова, следовательно, для данных можно подобрать закон распределения или построить его с помощью кривых Пирсона [2]. Эксперимент включал 78 опытов ( $n$ ) по обеззараживанию питьевой воды ионами меди, 126 опытов с применением ионов серебра и 52 опыта с применением ионов цинка [1]. На основании полученных статистических данных были построены многофакторные нелинейные модели, пригодные для расчётов результирующих факторов, которые приведены в табл. 1.