

а и в. Также, из рис. 2, б видно, что прямые лучи распространяются на глубине установки ГЛС лишь до 160 м. Дальше проникают только отражённые от дна лучи. Отражённые лучи вносят большие погрешности определения дистанции до объекта и силы отражения. Эти погрешности можно уменьшить, если в расчётах параметров объекта использовать картину распространения лучей, рассчитанную с учётом рельефа дна.

На гидролого-акустическую обстановку сильно влияют особенности водоёма и климатические условия в месте установки ГЛС.

Гидролого-акустическая обстановка водоёма накладывает значительные ограничения на дальность работы ГЛС и на наличие «мёртвых зон». В отдельных случаях дальность действия ГЛС может уменьшаться в несколько раз.

Для достижения максимальной дальности действия ГЛС необходимо учитывать временную изменчивость гидролого-акустической обстановки водоёма и корректировать в соответствии с ней глубину установки гидролокатора.

При установке ГЛС в водоём на длительное время необходимо производить батиметрию и учитывать её результаты при расчёте лучевых картин и определении параметров обнаруженных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Свердлин Г.М.* Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1990. – 320 с., ил.
2. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, Е.А. Корепин и др. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 522 с. (Библиотека инженера-гидроакустика).
3. Гидроакустическая энциклопедия/ Под общ. ред. В.И. Тимошенко; ред. кол. Л.М. Бреховских, Н.А. Дубровский, О.В. Руденко и др. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 788 с
4. *Половинкин В.В.* Гидроакустические поля морских объектов: Учебное пособие – Москва: МАИ, 2002. – 52 с. ISBN 5-7035-2568-3.

Самойличенко Евгений Александрович,
Особое конструкторское бюро “Ритм” Южного федерального университета
E-mail: main@ritm.tsure.ru
347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99
Тел. +7(8634)311933

Samoylichenko Evgeniy Aleksandrovich
E-mail: main@ritm.tsure.ru
Southern Federal University Specialized Design Bureau “RITM”
81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia
Phone: +7(8634)311933

УДК 681.51

Т.А. Мотиенко

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ РУЛЕВЫМ ПРИВОДОМ

В статье рассматривается полная нелинейная математическая модель электрогидравлического привода летательного аппарата и на основании методов синергетической теории управления синтезируется регулятор.

Математическая модель; электрогидравлический привод; летательный аппарат.

Т.А.Мотиенко

SYNERGETIC APPROACH TO THE MANAGEMENT OF ELECTRO-HYDRAULIC STEERING CONTROL

In this article a complete non-linear mathematical model of electro-hydraulic drive of the aircraft is considered and controller on the basis of synergetic control theory is synthesized.

Mathematical model; electro-hydraulic drive; aircraft.

Важной проблемой теории и практики управления пространственным движением летательных аппаратов в последние 50 лет были и остаются вопросы синтеза векторных регуляторов — автопилотов в различной ее постановке. Перспективным направлением в системах управления современными летательными аппаратами является применение гидравлических силовых приводов. Популярность данного типа привода обусловлена, прежде всего, его высокой удельной плотностью развиваемых усилий на единицу площади гидродвигателя, что позволяет создавать малогабаритные приводы с высокой мощностью. В рулевых органах летательных аппаратов чаще всего используются электрогидравлические приводы с дроссельным исполнительным регулированием.

Наиболее часто применяются линеаризованные модели движения привода. Однако нелинейная модель является более универсальной, поскольку охватывает все возможные области изменения параметров дроссельного гидропривода. Для составления полной нелинейной модели необходимо обратиться к уравнениям баланса расходов в полостях гидропривода при перемещении золотника x . При этом вводится ряд допущений [1], таких как: изменение расходов (утечек) подчиняется ламинарному закону течения и не зависит от перемещения золотника; в уравнениях не учитываются перетечки жидкости из одной полости в другую через уплотнения поршня в виду их малости по сравнению с утечками в гидрораспределителе; микрогеометрией дроссельного гидрораспределителя пренебрегается, поскольку нелинейные уравнения необходимы для анализа динамики привода в режимах, когда его параметры близки к максимальным; уравнения балансов расходов составляются для каждой полости гидроцилиндра отдельно.

Уравнения баланса [2] расходов можно представить при $x > 0$

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{2K_{YT}} \left[\frac{G_m}{x_m} x \sqrt{p_n - p_1} + K_{YT}(p_n + p_c) - A \frac{dy}{dt} - \frac{V_{01}}{E} \frac{dp_1}{dt} - \frac{A}{E} y \frac{dp_1}{dt} \right], \\ -p_2 &= \frac{1}{2K_{YT}} \left[\frac{G_m}{x_m} x \sqrt{p_2 - p_c} - K_{YT}(p_n + p_c) - A \frac{dy}{dt} + \frac{V_{02}}{E} \frac{dp_1}{dt} + \frac{A}{E} y \frac{dp_2}{dt} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

при $x < 0$

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{2K_{YT}} \left[-x \frac{G_m}{x_m} \sqrt{p_1 - p_c} + K_{YT}(p_n + p_c) - A \frac{dy}{dt} - \frac{V_{01}}{E} \frac{dp_1}{dt} - \frac{A}{E} y \frac{dp_1}{dt} \right], \\ -p_2 &= \frac{1}{2K_{YT}} \left[-x \frac{G_m}{x_m} \sqrt{p_n - p_2} - K_{YT}(p_n + p_c) - A \frac{dy}{dt} + \frac{V_{02}}{E} \frac{dp_1}{dt} + \frac{A}{E} y \frac{dp_2}{dt} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где p_1 и p_2 — давления в каждой плоскости гидроцилиндра, p_c — давление магистрали слива; p_n — давления питающей магистрали, x — перемещение золотника, x_m — максимальное по модулю перемещение золотника, E — объемный модуль упругости, характеризующий сжимаемость жидкости, V_0 — первоначальный объем, A — рабочая площадь поршня, G_m — максимальная проводимость рабочих окон, K_{YT} —

коэффициент пропорциональности между расходами утечек и перепадами давлений в корпусе золотникового распределителя.

Уравнение для момента, развиваемого приводом, можно записать в виде [1]:

$$M_d = Al(p_1 - p_2). \quad (3)$$

Кинематическую связь между координатами y и δ :

$$y = l\delta. \quad (4)$$

Уравнение баланса моментов на оси руля имеет вид

$$-M_d - M_n = J \frac{d^2\delta}{dt^2} + K_f \frac{d\delta}{dt} + K_s\delta, \quad (5)$$

Здесь δ – положение руля, ω – скорость изменения положения руля, J – момент инерции руля, K_f – коэффициент момента трения руля со смазочным материалом, k_s – коэффициент шарнирной нагрузки, l – длина рычага рулевого привода.

Учитывая уравнения, приведенные выше, можно составить математическую модель дроссельного гидропривода:

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \omega; \quad J \frac{d\omega}{dt} = -k_f\omega - k_s\delta + Al(p_2 - p_1) - M_l; \\ \frac{dp_1}{dt} &= -\frac{E}{A(l\delta + l_0 + y_0)} \cdot (-2k_{yt}p_1 + k_{yt}(p_n + p_c) - Al\omega + \\ &+ \frac{G_m}{x_m} x \cdot \text{sign}(x) \sqrt{-p_1 \text{sign}(x) + 0,5p_n(1 + \text{sign}(x)) + 0,5p_c(1 - \text{sign}(x))}); \quad (6) \\ \frac{dp_2}{dt} &= \frac{E}{A(l\delta + l_0 + y_0)} \cdot (2k_{yt}p_2 - k_{yt}(p_n + p_c) + Al\omega - \\ &- \frac{G_m}{x_m} x \cdot \text{sign}(x) \sqrt{p_2 \text{sign}(x) + 0,5p_n(1 - \text{sign}(x)) - 0,5p_c(1 + \text{sign}(x))}). \end{aligned}$$

Уравнение (6) может быть дополнено уравнениями электромеханического преобразователя (7):

$$\frac{dx}{dt} = z, \quad m \frac{dz}{dt} = -k_z z - k_x x + k_y i_y, \quad L_y \frac{di_y}{dt} = -R_y i_y - \frac{c_e}{l_e} z + u, \quad (7)$$

где $m, k_x, k_y, k_z, L_y, R_y, c_e, l_e$ – постоянные коэффициенты; $i_y = i_{y1} - i_{y2}$ – ток управления; u – управляющее напряжение.

Уравнения (6) и (7) представляют собой полную нелинейную динамическую модель электрогидравлического привода летательного аппарата. Для решения задачи синтеза законов управления дроссельного гидропривода в данной статье будут использоваться принципы и методы синергетической теории управления [3]. Совокупность критериев управления в синергетической теории управления принято выражать в виде соответствующей системы инвариантов, которые выступают в качестве цели управления. При этом процедура синергетического синтеза сводится к поиску законов управления, при которых эти заданные инварианты выполняются. Систему управления электрогидравлическим приводом можно рассмотреть как две подсистемы: подсистемы регулятора электрогидравлического преобразователя и подсистемы регулятора непосредственно самого гидропривода.

Рассматривая процедуру синтеза подсистемы электромеханического преобразователя, стоит отметить, что его математическая модель (7) является линейной, по-

этому для процедуры синтеза будет необходима всего одна макропеременная: $\psi_1 = i_y + \varphi_1$, в соответствии с которой можно записать функциональное уравнение

$$\frac{d\psi_1}{dt} + \alpha_1\psi_1 = 0. \text{ Откуда можно получить закон управления подсистемы нижнего}$$

уровня $u = R_y i_y + \frac{c_e}{l_e} z - L_y \alpha \psi_1$, который переводит изображающую точку в окрестность многообразия $\psi_1 = 0$. При этом поведение системы будет описываться декомпозированной системой уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = z, \quad m \frac{dz}{dt} = -k_z z - k_x x - k_y \varphi_1, \text{ которую можно свернуть относительно переменной } x$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k_z}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k_x}{m} x - k_y \varphi_1 = 0. \quad (8)$$

Стоит отметить, что декомпозированная модель (8) будет устойчива относительно состояния $x = \frac{k_y m}{k_x} \varphi_1$ при положительных значениях коэффициентов k_x, k_y, m .

Поскольку математическая модель регулятора гидропривода является нелинейной и на нее действуют внешние возмущения, необходимо, чтобы синтезируемый закон управления обеспечивал подавление этих возмущений. Введем новую переменную, которая будет являться оценкой внешних возмущений.

$$\begin{aligned} \frac{d\zeta}{dt} &= \eta(\delta - \delta_0); \quad \frac{d\delta}{dt} = \omega; \\ J \frac{d\omega}{dt} &= -k_f \omega - k_s \delta + Al(p_2 - p_1) - \zeta; \\ \frac{A(l\delta + l_0 + y_0)}{E} \cdot \frac{dp_1}{dt} &= -2k_{yt} p_1 + k_{yt}(p_n + p_c) - Al\omega + \\ &+ \frac{G_m}{x_m} \varphi_0 \cdot \text{sign}(x) \sqrt{-p_1 \text{sign}(x) + 0,5 p_n(1 + \text{sign}(x)) + 0,5 p_c(1 - \text{sign}(x))}; \\ \frac{A(l_0 - l\delta - y_0)}{E} \cdot \frac{dp_2}{dt} &= 2k_{yt} p_2 - k_{yt}(p_n + p_c) + Al\omega - \\ &- \frac{G_m}{x_m} \varphi_0 \cdot \text{sign}(x) \sqrt{p_2 \text{sign}(x) + 0,5 p_n(1 - \text{sign}(x)) - 0,5 p_c(1 + \text{sign}(x))}, \end{aligned} \quad (9)$$

где ζ является динамической переменной, представляющей собой интеграл от технологического инварианта $\delta = \delta_0$, $\varphi_0 = \frac{k_y m}{k_x} \varphi_1$. Для модели (9) введем макропеременную

$$\psi_2 = Al(p_2 - p_1) - \varphi_2. \quad (10)$$

Согласно синергетической теории управления, при попадании изображающей точки системы в окрестность многообразия $\psi_2 = 0$ будет происходить динамическая декомпозиция. Тогда поведение системы будет описываться следующей системой уравнений:

$$\frac{d\zeta}{dt} = \eta(\delta - \delta_0); \quad \frac{d\delta}{dt} = \omega; \quad J \frac{d\omega}{dt} = -k_f \omega - k_s \delta + \varphi_2 - \zeta, \quad (11)$$

для которой, введя макропеременную

$$\psi_3 = \omega + \gamma_1 \delta + \gamma_2 \zeta, \quad (12)$$

можно найти внутреннее управление:

$$\varphi_2 = (k_f - \gamma_1 J) \omega + k_s \delta + \zeta - J \gamma_2 \eta (\delta - \delta_0) - \alpha_3 J \psi_3. \quad (13)$$

Первоначальное управляющее воздействие для гидравлической подсистемы управления можно определить из совместного решения (10) и функционального уравнения $\frac{d\psi_2}{dt} + \alpha_2 \psi_2 = 0$, с учетом модели (9). Выражение для управляющего воздействия φ_0 слишком громоздко, поэтому не приводится в статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крымов Б.Г., Рабинович Л.В., Стеблецов В.Г. Исполнительные устройства системы управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1987.
2. Гамынин Н.С. и др. Гидравлический следящий привод. – М.: Машиностроение, 1968.
3. Колесников А.А. и др. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч. II.

Мотиенко Татьяна Александровна

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

E-mail: tatyana@motienko.ru

347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44

Тел.: +7(8634)318090

Motienko Tatyana Aleksandrovna

Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: tatyana@motienko.ru

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia

Phone: +7(8634) 318090

УДК 669.295

Ю.П. Кирин

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Рассмотрены принципы построения интеллектуальных позиционных систем управления технологическими процессами производства губчатого титана. Актуальность работы определяется необходимостью улучшения качества управления и расширения области применения позиционных систем. Научная новизна состоит в разработке методологии синтеза и анализа интеллектуальных позиционных систем управления технологическими процессами.

Технологические процессы; губчатый титан; автоколебания; идентификация; адаптивное управление; ситуации функционирования; система поддержки принятия решений; система управления ситуациями функционирования.