

УДК 621.22

## **СИНТЕЗ КОМПЕНСАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ГИДРОАГРЕГАТА НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАКТОРА**

Цента Е.Н., инж.

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

Тел. (57) 707-66-46

***Аннотация*** – рассмотрено введение в контур управления нелинейных систем управления компенсационных устройств. Показана целесообразность применения компенсатора для нелинейных систем на примере гидроагрегата навесного оборудования трактора.

***Ключевые слова*** – синтез, гидроагрегат, компенсационное устройство, критерий оптимальности, навесное оборудование.

*Введение.* В мировой и отечественной практике создания технологического оборудования четко определилась тенденция по пути внедрения более совершенных гидроустройств, средств вычислительной техники, включая ЭВМ. Такое развитие направлено на обеспечение современных требований к эксплуатации оборудования, на улучшение ее статических и динамических характеристик.

На рис. 1 изображена укрупненная функциональная схема гидроагрегата (ГА) навесного оборудования (НО) трактора с компьютерной системой управления. Принципиальная схема ГА приведена в предыдущих работах, таких как [1, 2], и в статье не приведена.

Один из современных подходов к постановке и решению задач синтеза системы управления технологического оборудования [3] представлен на рис. 2. Фактически центральным пунктом синтеза регулятора (устройства) является параметрическая оптимизация, в ходе которой определяется совокупность параметров, доставляющая экстремум критерию оптимизации.

*Анализ последних исследований.* Значительную роль в гидросистеме трактора играет ГА НО, который позволяет улучшить различные операции обработки почвы, такие как вспашка, боронование и др. Динамические характеристики ГА играют важную роль, их улучшение

может быть выполнено путем постановки и решения оптимизационных задач.

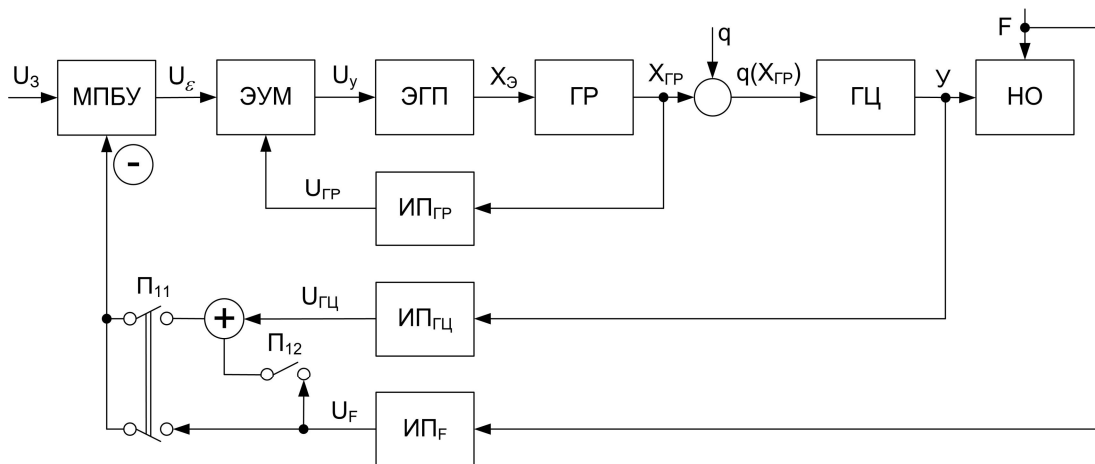


Рис. 1. Укрупненная функциональная схема гидроагрегата с микропроцессорным блоком управления навесного оборудования трактора: МПБУ – микропроцессорный блок управления; ЭУМ – электронный усилитель мощности; ЭГП – электрогидравлический преобразователь; ГР – гидрораспределитель; ГЦ – гидроцилиндр; НО – навесное оборудование; ИПГР, ИПГЦ, ИПФ – измерительные преобразователи соответственно положений золотника ГР, НО и усилия на НО; П<sub>11</sub>, П<sub>12</sub> – переключатель режимов; U<sub>3</sub> – задающее воздействие; U<sub>ε</sub> – величина рассогласования; U<sub>y</sub> – входной сигнал на ЭГП; x<sub>э</sub> – перемещение золотника ЭГП; x<sub>ГР</sub> – перемещение золотника ГР; q – подача насоса; q(x<sub>ГР</sub>) – расход в полости ГЦ; y – перемещение штока ГЦ; F – сила, действующая на НО; U<sub>ГР</sub>, U<sub>ГЦ</sub>, U<sub>F</sub> – выходные сигналы измерительных преобразователей.

Вопросам динамики ГА НО уделено недостаточное внимание. К тому же в состав гидроагрегатов могут входить устройства (ПИ и ПИД-регуляторы, компенсаторы, наблюдатели состояния и др.), параметры которых необходимо оптимизировать для улучшения переходных процессов.

*Цель работы* - синтез компенсационного устройства гидроагрегата навесного оборудования трактора.

*Основная часть.* Математическая модель гидроагрегата навесного оборудования трактора представлена в работах [1, 4 – 6].

Постановка задачи. Задачу синтеза применительно к подъему навесного оборудования трактора поставим следующим образом. Имеем желаемую траекторию разгона  $y_{\text{жел}}(t)$ .

При выборе  $y_{\text{жел}}(t)$  учитывается опыт машиностроения в части законов движения рабочих органов машины, характеризующихся плавностью при отработке заданного перемещения с ускорениями, не превышающими  $0,5g$  ( $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения).

Кривая  $y_{ЖЕЛ}(t)$  сама по себе при необходимости может быть определена в результате решения самостоятельной оптимизационной задачи.

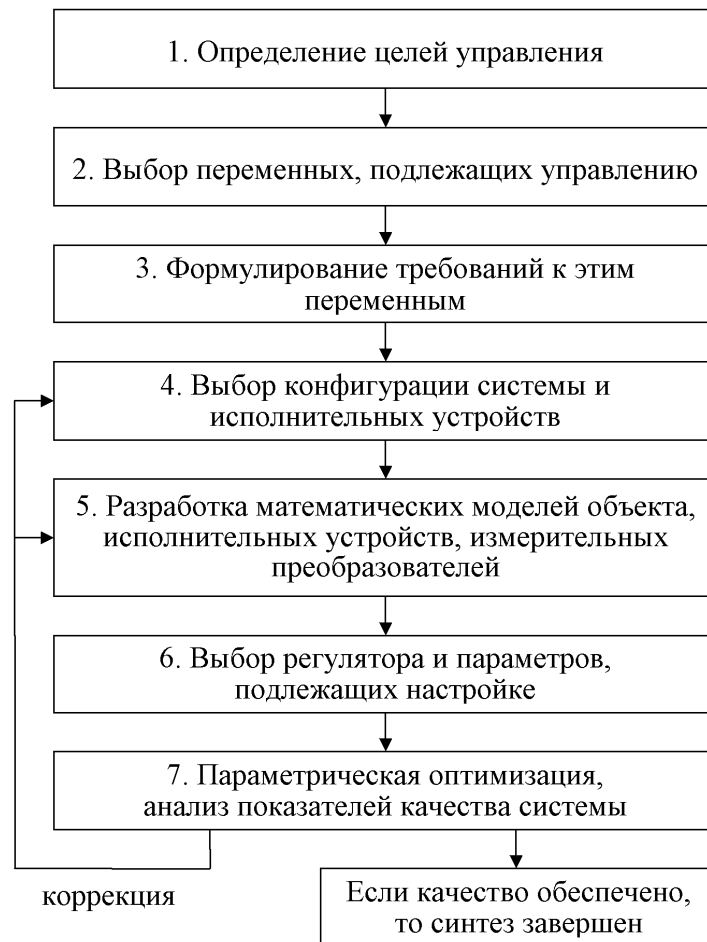


Рис. 2. Основные этапы синтеза системы управления

Известно, что с определенной погрешностью математическую модель системы, описываемой дифференциальным уравнением высокого порядка, можно представить дифференциальным уравнением 3–4 порядка. В качестве такого приближения примем для желаемой кривой неоднородное дифференциальное уравнение 3 порядка вида

$$a_0 \frac{d^3 y_{ЖЕЛ}(t)}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y_{ЖЕЛ}(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dy_{ЖЕЛ}(t)}{dt} + y_{ЖЕЛ}(t) = y_z(t_k) \quad (1)$$

с начальными условиями  $\frac{d^2 y_{ЖЕЛ}(0)}{dt^2} = \frac{dy_{ЖЕЛ}(0)}{dt} = y_{ЖЕЛ}(0) = 0$ , значением  $y_{ЖЕЛ}$  в конце процесса  $t_k$ , равном  $y_z(t_k)$ , и коэффициентами  $a_0 - a_2$  при производных, принятых на основе исследования рассматриваемой модели ГАНО.

В качестве оптимизируемых параметров приняты: параметры  $K_1, K_2$  компенсационного устройства (КУ); коэффициенты жестких обратных

связей по положению  $K_{0z}$  и скорости  $K_{0vz}$  штока ГЦ (НО) и положению  $K_{0ГР}$  золотника ГР. Таким образом, в процессе синтеза будет осуществляться поиск совокупности значений этих параметров, обеспечивающих близость кривой  $y_z(t)$  к  $y_{ЖЕЛ}(t)$ , выбранной в качестве эталона.

Имея кривую  $y_z(t)$  синтезируемой системы с включением КУ в прямую цепь между рассогласованием  $U_e$  и моделью объекта, сформулируем интегральный критерий близости  $y_{ЖЕЛ}(t)$  и  $y_z(t)$ :

$$I = \frac{\int_0^{t_k} t |y_{ЖЕЛ}(t) - y_z(t)| dt}{\int_0^{t_k} t y_z(t) dt} \times 100, \% \quad (2)$$

где  $y_{ЖЕЛ}(t)$  – желаемая траектория перемещения штока ГЦ при подъеме НО;  
 $y_z(t)$  – кривая перемещения штока ГЦ, получаемая на математической модели [1, 4 – 6] в процессе синтеза;

$t_k$  – время переходного процесса.

Этот критерий выбран в качестве оптимального, на основании исследований, проведенных в работах [2, 8, 9].

Критерий (2) [7] представляет собою интегральную оценку отношения модуля разности площади под кривыми  $y_{ЖЕЛ}(t)$  и  $y(t)$  к площади под кривой  $y_z(t)$  с учетом длительности переходного процесса. В более поздней работе [3] подобный критерий формулируется как интегральная оценка отношения взвешенного модуля разности площади под кривыми  $y_{ЖЕЛ}(t)$  и  $y(t)$  к взвешенной площади под кривой  $y_z(t)$ .

На рис. 3 показан вариант компенсационного устройства и схема его включения. Этот вариант выбран на основании исследований, проведенных в работе [9], и представлен передаточной функцией компенсатора

$$W_2(s) = \frac{U_v(s)}{U_e(s)} = \frac{K_1 s^2 + K_2 s}{a_0 s^2 + a_1 s + 0,1} \quad (3)$$

Она представляет собой реальное дифференцирующее звено второго порядка. Здесь  $a_0, a_1$  – малые числа, незначительно искажающие дифференцирующее действие передаточной функции (3);  $K_1, K_2$  – оптимизируемые параметры.

В формируемую оптимизационную задачу синтеза входит определение таких значений параметров  $K_{0c}$  ( $K_{0z}, K_{0ГР}, K_{0vz}$ ) и  $K_1, K_2$ , совокупность которых доставляет минимальное значение критерию  $I$  (формула (2)) и обеспечивает наибольшую близость модельной и желаемой (выбранной) кривых подъема НО трактора.

Решение. Для решения поставленной задачи на основе уравнений математической модели, критерия и компенсаторного устройства

применен пакет имитационного моделювання і параметричної оптимізації VisSim.

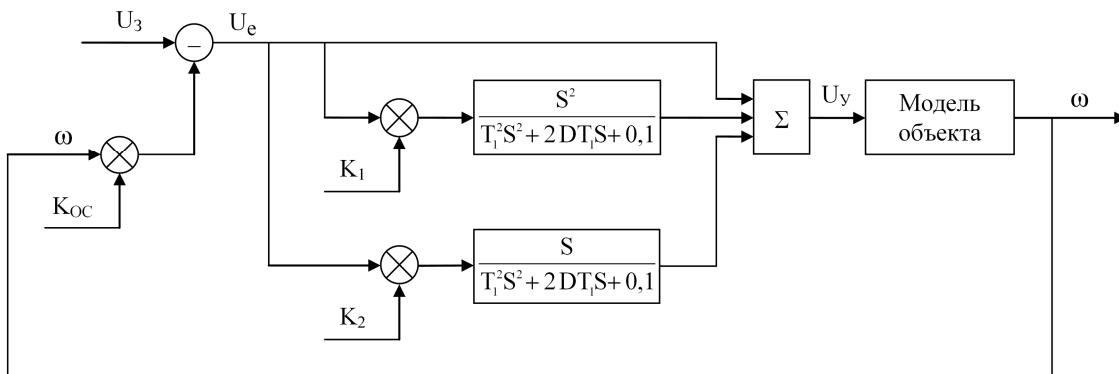


Рис. 3. Вариант передаточной функции компенсационного устройства и его включение

В качестве метода оптимизации выбран градиентный метод Powell, за начальные значения оптимизируемых параметров приняты следующие:  $K_1 = 0,0001 \text{ с}^2$ ,  $K_2 = 0,001 \text{ с}$ ,  $K_{0z} = 0,15 \text{ В/см}$ ,  $K_{0vz} = 0,05 \text{ В·с/см}$ ,  $K_{0ГР} = \text{В/см}$ ; значения  $a_0 = 0,0001 \text{ с}^2$ ,  $a_1 = 0,001 \text{ с}$ . В таблице 1 показаны результаты оптимизации по критерию  $I$  с компенсационным устройством.

Таблица 1

Результаты оптимизации по критерию  $I$

Параметры	Начальные значения	Оптимальные значения	Число итераций	Значение критерия оптимальности, %
$K_1, \text{с}^2$	0,0001	$6,71559 \cdot 10^{-5}$	80	1,06615
$K_2, \text{с}$	0,001	$1,39776 \cdot 10^{-3}$		
$K_{0z}, \text{В/см}$	0,15	0,144876		
$K_{0vz}, \text{В·с/см}$	0,05	$6,08472 \cdot 10^{-2}$		
$K_{0ГР}, \text{В/см}$	1,8	1,7208		

Округлим оптимальные значения:  $K_1 = 6,715 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2$ ,  $K_2 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ,  $K_{0z} = 0,145 \text{ В/см}$ ,  $K_{0vz} = 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ В·с/см}$ ,  $K_{0ГР} = 1,72 \text{ В/см}$ . Значение  $I$  в этом случае равно 1,08%. Значение  $I$  при начальных значениях, т.е. без оптимизации, равно 2,24%.

При данных  $K_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^2$ ,  $K_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ,  $K_{0z} = 0,15 \text{ В/см}$ ,  $K_{0vz} = 0,04 \text{ В·с/см}$ ,  $K_{0ГР} = 1,8 \text{ В/см}$ . Значение  $I$  в этом случае равно 3,38%.

При данных  $K_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^2$ ,  $K_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ,  $K_{0z} = 0,14 \text{ В/см}$ ,  $K_{0vz} = 0,04 \text{ В·с/см}$ ,  $K_{0ГР} = 1,8 \text{ В/см}$ ,  $I = 5,69\%$ .

На рис. 4 изображены кривые перемещения штока ГЦ при подъеме НО:  $y_z(t)$  – кривая перемещения штока ГЦ, получаемая на математической модели в процессе синтеза,  $y_{жел}(t)$  – желаемая траектория перемещения штока ГЦ после введения компенсатора и оптимизации его параметров. Кривые практически сливаются (см. рис. 4).

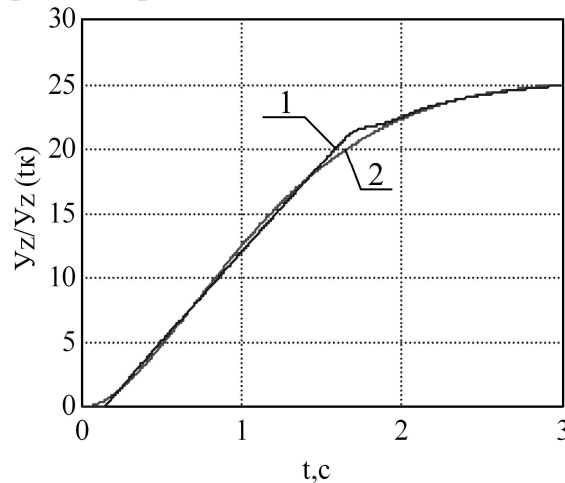


Рис. 4. Переходные процессы при подъеме НО (кривая 1 –  $y_z(t)$ ; кривая 2 –  $y_{жел}(t)$ ) после оптимизации с компенсационным устройством

*Выводы.* 1. Компенсационное устройство (КУ) позволяет улучшить динамические характеристики фазовых координат системы, описаной нелинейной моделью, на примере гидроагрегата навесного оборудования трактора с микропроцессорным блоком управления.

2. При оптимизации параметров КУ с целью обеспечения желаемой выходной траектории, следует применять интегральный критерий  $I$ , отражающий взвешенное относительное отклонение разности площадей сравниваемых кривых за время переходного процесса.

#### Литература

1. Лурье З. Я. Математическое моделирование динамики гидроагрегата навесного оборудования трактора / З. Я. Лурье, В. А. Макей, Е. Н. Цента // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. №2/4 (32). – С. 36–41.
2. Лурье З. Я. Синтез параметрически оптимизируемого гидроагрегата навесного оборудования трактора по динамическому критерию / З. Я. Лурье, В. А. Макей, Е. Н. Цента // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП» – 2009. – № 2. – С. 3–11.
3. Дорф Р. К. Современные системы управления / Р. К. Дорф, Р. Х. Бишоп; перевод с английского Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
4. Лурье З. Я. Математическая модель узла «электрогидравлический преобразователь – золотник гидрораспределителя» гидроагрегата на-

- весного обладнання трактора / З. Я. Лур'є, Е.Н. Цента // Промислова гідроліка і пневматика. – 2007. – №3 (17). – С. 96–98.
5. Лур'є З. Я. Математическая модель узла «гидрораспределитель – гидроцилиндр» гидроагрегата навесного обладнання трактора / З. Я. Лур'є, Е. Н. Цента // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля. – 2007. – Ч. 2. – № 3 (109). – С. 89 – 93.
6. Лур'є З. Я. Математическая модель клапана давления гидроагрегата с чувствительностью к нагрузке / З. Я. Лур'є, Е. Н. Цента // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета; сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2007. – Вып. 38. – С. 200–203.
7. Иванов Г. М. Проектирование гидравлических систем машин / Г. М. Иванов, С. А. Ермаков, Б. Л. Коробочкин, Р. М. Пасынков. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.
8. Лур'є З. Я. Динамический синтез гидроагрегата навесного обладнання трактора / З. Я. Лур'є, В. А. Макей, Е. Н. Цента // Промислова гідроліка і пневматика. – 2008. – № 4 (22). – С.103–107.
9. Лур'є З. Я. Синтез компенсационных устройств компьютерных систем управления технологическим оборудованием / З. Я. Лур'є, А. И. Панченко, И. Г. Лищенко, Э. Г. Чайка, Е. Н. Цента // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2008. – Вип. 8. – Т. 9. – С. 3–15.

## СИНТЕЗ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ ГІДРОАГРЕГАТА НАЧІПНОГО ОБЛАДНАННЯ ТРАКТОРА

Цента Є.Н.

*Анотація* – розглянуто уведення в контур управління нелінійних систем управління компенсаторних пристроїв. Показана доцільність застосування компенсатора для нелінійних систем на прикладі гідроагрегата начіпного обладнання трактора.

## SYNTHESIS OF THE COMPENSATING DEVICE OF A HYDRAULIC UNIT OF THE TRACTOR MOUNTED TOOLS

E. Tsenta

### *Summary*

**Introduction of compensating devices to the control circuit of nonlinear control systems is considered. Expediency of application of the compensator for these systems is shown on a example of a hydraulic unit of the tractor mounted tools.**