

Технічні науки

УДК 681.51

Репнікова Наталія Борисівна

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматики та управління в технічних системах
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Репникова Наталия Борисовна

*кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры автоматики и управления в технических системах
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Repnikova Natalya

*PhD, Associate Professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

Бердник Юрій Михайлович

*студент
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Бердник Юрий Михайлович

*студент
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Berdnyk Yurii

*Student of the
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**РОЗВИТОК МОЖЛИВОСТЕЙ СИНТЕЗУ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ
КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ФУНКЦІЙ ЛЯПУНОВА
РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА
DEVELOPMENT OF SYNTHESIS OF ADAPTIVE CONTROL
SYSTEMS BASED ON LYAPUNOV FUNCTIONS**

***Анотація.** Розглядається проблема забезпечення швидкої збіжності процесу в адаптивній системі з еталонною моделлю. Щоб вирішити цю проблему, пропонується використовувати два етапи адаптації. По-перше, адаптація до зміни параметрів об'єкта керування, по-друге – адаптації до характеристик еталонної моделі, за рахунок використання ПІД контролерів. Застосування функцій Ляпунова забезпечує досліджуваній системі стійкий коридор функціонування. Приведені результати моделювання адаптивних систем в широкому діапазоні зміни параметрів об'єкту керування.*

***Ключові слова:** система керування, адаптивна система, функції Ляпунова, ПІД-контролер, еталонна модель.*

***Аннотация.** Рассматривается проблема обеспечения быстрой сходимости процесса в адаптивной системе с эталонной моделью. Для решения проблемы предлагается использование двух этапов адаптации. На первом – адаптация к изменяющимся параметрам объекта управления, на втором адаптация к характеристикам эталонной модели, путем использования ПИД-контроллеров. Применение функций Ляпунова обеспечивает исследуемой системе устойчивый коридор функционирования. Приведены результаты моделирования адаптивных систем в широком диапазоне изменения параметров объекта управления.*

Ключевые слова: *система управления, адаптивная система, функции Ляпунова, ПИД-контроллер, эталонная модель.*

Summary. *It is considered the problem of ensuring the rapid convergence of the process in the adaptive system with the reference model. To solve this problem, it is proposed to use two stages of adaptation. Firstly, the adaptation to the change in object of control parameters, and secondly - adaptation to the characteristics of the reference model, due to usage of PID controllers. The application of Lyapunov functions provide for the investigating system the stable functioning corridor. Are given the results of adaptive systems simulation in a wide range of changes the parameters of the control object.*

Key words: *control systems, adaptive systems, Lyapunov functions, PID controllers, reference model.*

Вступ. Багато сучасних підходів до синтезу систем керування особливу увагу приділяють тому факту, що в процесі експлуатації реальних систем можуть змінюватись параметри і структура об'єкта керування або середовище, в якому працює система. Інженери, перед якими стоять задачі проектування високоякісних систем, в умовах невизначеності використовують методи та підходи синтезу робастних чи адаптивних систем.

Як відомо, адаптивні системи керування визначають закон керування на основі аналізу поведінки об'єкта при зміні його характеристик і збурень, що діють на нього [1]. Існує цілий ряд методів синтезу алгоритмів адаптації параметрів [2-3]. Деякі з них прості у реалізації, але при цьому можуть бути стійкими тільки при незначній зміні параметрів. Більше того, оскільки при побудові адаптивних систем її структура виходить нелінійною, вирішувати задачу стійкості буває досить складно. Розглянутий в [4] метод синтезу адаптивної системи з еталонною моделлю

використовує функції Ляпунова для визначення алгоритму корекції керуючого впливу, чим забезпечує стійкість досліджуваній системі.

У роботі [4] описано алгоритм синтезу адаптивних систем з використанням пропорційних регуляторів для забезпечення в системі бажаної якості. Однак, моделювання показало, що запропонований в [4] метод забезпечує якість перехідних процесів закладену в моделі тільки при незначній зміні коефіцієнта підсилення об'єкта керування.

Таким чином, аналіз опублікованих матеріалів дозволяє виділити наступний напрямок подальших досліджень, а саме розвиток можливостей синтезу адаптивних систем керування, які забезпечують швидку збіжність процесу в адаптивній системі з еталонною моделлю.

Основна частина. Як відомо, загальна структурна схема адаптивної системи має вид, який представлено на Рис.1.

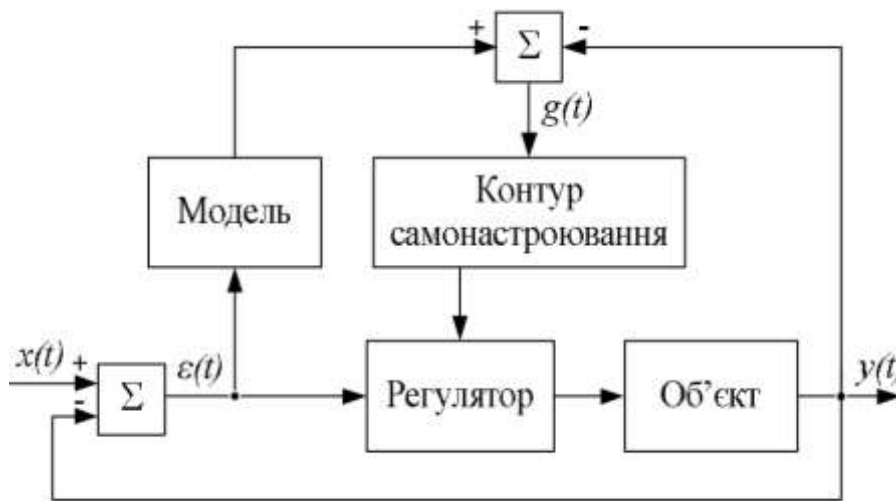


Рис. 1. Структурна схема адаптивної системи

При зміні параметрів об'єкта керування контур самонастроювання з еталонною моделлю настраює параметри регулятора так, що динамічні характеристики всієї системи залишаються незмінними та близькими до характеристик еталонної моделі. Таким чином ціль адаптації описується як

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (y_m(t) - y_o(t)) = 0, \text{ де}$$

$y_m(t)$ – вихід моделі; $y_o(t)$ – вихід об'єкта.

Для реалізації алгоритму роботи контура самонастроювання будується додатно визначена функція Ляпунова, яка забезпечує алгоритм зміни параметрів регулятора за виразом [1]:

$$a = \frac{1}{k_o} \int g_2(t) \varepsilon(t) dt,$$

де a – параметр регулятора;

$g(t)$ – сигнал непогодження;

$\varepsilon(t)$ – помилка керування;

k_o – змінний коефіцієнт підсилення об'єкту керування.

У даній роботі, алгоритм синтезу, який запропоновано у [4] удосконалюється у двох напрямках. По-перше, використовується ПД-контролер у прямому каналі керування для забезпечення швидкої збіжності процесу адаптації змінних характеристик об'єкту керування до характеристик моделі. При проведенні розрахунків контролерів можна використовувати, як мінімізацію оцінки ІТАЕ (англ.), так і інші методи, при яких спостерігається адаптація на кінцевому проміжку часу. По-друге, використання такого підходу дозволило розширити різноманітність структур об'єктів керування, мається на увазі виконувати синтез адаптивної системи як для статичних, так і для астатичних систем.

Таким чином, процедура синтезу адаптивної системи складається з наступних етапів: розрахунок алгоритму зміни параметрів регулятора за наведеною формулою та розрахунок коефіцієнтів ПД (ПД)-контролерів.

Результати експериментальних досліджень. Для проведення експериментальних досліджень була вдосконалена модель адаптивної системи в прикладному пакеті Matlab/Simulink [4], яка представлена на Рис. 2. Ця модель дозволила виконувати експериментальні дослідження для будь-яких параметрів систем керування другого та третього порядків з попереднім визначенням структури та параметрів еталонної моделі.

Для підтвердження можливостей синтезу адаптивних систем керування запропонованим алгоритмом, розглянемо приклад синтезу для об'єкту керування, який описується передавальною функцією вигляду:

$$W_o(s) = \frac{2}{(0.1s+1)(0.8s+1)}$$

У якості еталонної моделі оберемо передавальну функцію виду:

$$W_w(s) = \frac{20}{s^2 + 10s}$$

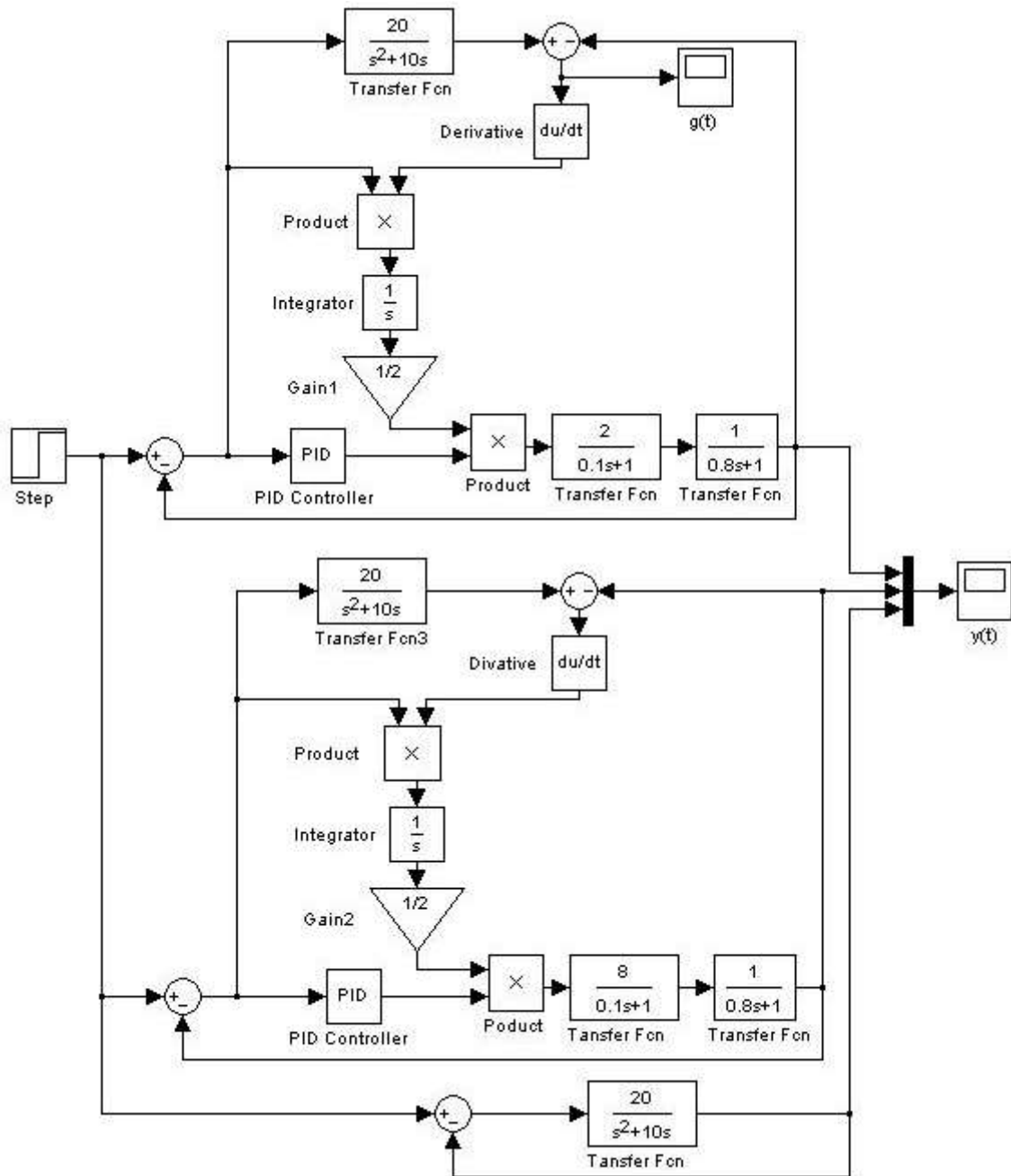


Рис. 2. Модель досліджуваної системи у пакеті Matlab/Simulink

Забезпечення якості, закладеної в структуру і параметри еталонної моделі, у синтезованій адаптивній системі при зміні k_0 у межах $0,2 \leq k_0 \leq 11$ забезпечується введенням ПД-регулятора з наступними параметрами:

$$k_p = 1000, \quad k_i = 300, \quad k_d = 250.$$

Перехідні процеси представлені на Рис.3 для випадку збільшення коефіцієнта підсилення у чотири рази.

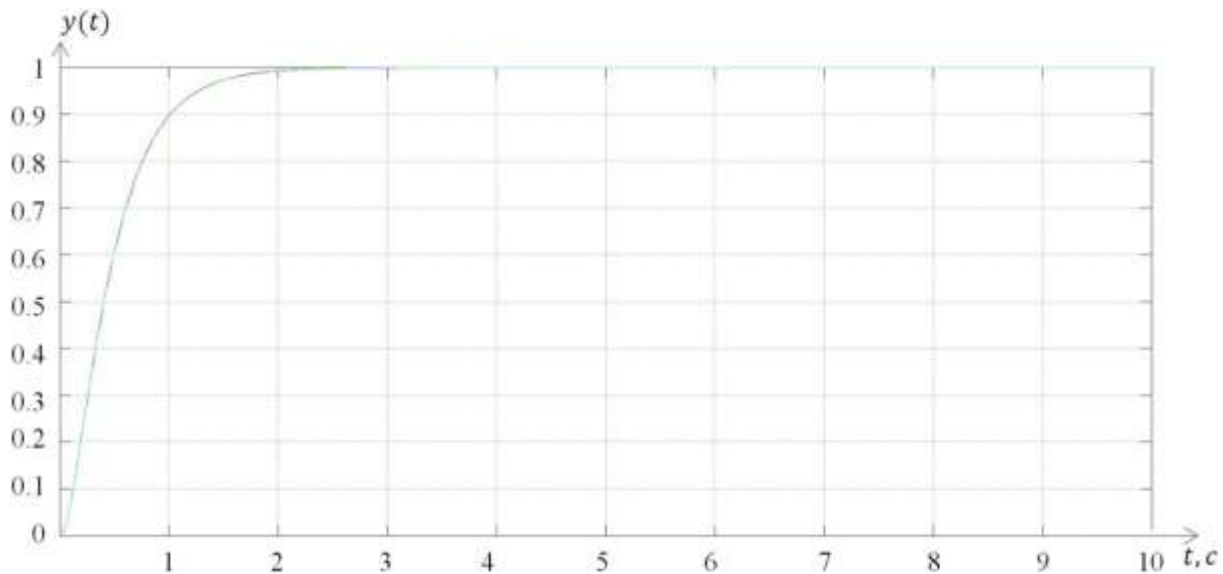


Рис. 3. Перехідні характеристики адаптивної системи

Як видно з Рис. 3, синтезована адаптивна система забезпечує швидку збіжність процесу (1,5 с.) та адаптується до значної зміни коефіцієнта підсилення системи і забезпечує бажані показники якості, закладені в структуру і параметри еталонної моделі.

Результати моделювання для різних значень змінної складової коефіцієнта підсилення системи другого порядку Δk зведені у таблицю 1.

Разом із системою другого порядку проводились дослідження адаптивної системи третього порядку з передавальною функцією вигляду:

$$W_0(s) = \frac{3}{(0.3s+1)(0.1s+1)(0.8s+1)}$$

Результати моделювання

Δk	Без ПІД-регулятора		З ПІД-регулятором	
	Помилка адаптації до зміни k , %	Помилка адаптації до моделі, %	Помилка адаптації до зміни k , %	Помилка адаптації до моделі, %
-1,8	36,2	52,2	0,090	0,105
-1,6	22,9	42,2	0,042	0,058
-1,4	16,1	37,1	0,024	0,040
-1,2	11,7	33,8	0,016	0,030
-1	8,5	31,4	0,010	0,026
-0,8	6,1	29,6	0,006	0,022
-0,6	4,1	28,2	0,004	0,019
-0,4	2,5	27,0	0,002	0,017
-0,2	1,2	25,9	0,001	0,015
0	0	25,1	0	0,016
0,2	1,0	24,3	0,001	0,014
0,4	1,9	23,6	0,001	0,015
1	4,2	22,0	0,003	0,013
2	6,8	20,0	0,004	0,011
3	8,6	18,6	0,005	0,010
4	10,1	17,5	0,005	0,009
5	11,2	16,7	0,001	0,013
6	12,1	16,0	0,008	0,008
7	12,9	15,4	0,006	0,008
8	13,6	14,9	0,006	0,008
9	14,2	14,4	0,007	0,008

Еталонна модель має наступну передавальну функцію:

$$W_m(s) = \frac{1.5}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}$$

Для забезпечення швидкої збіжності процесу адаптації змінних характеристик об'єкту керування до характеристик моделі використовується ПІД-контролер з наступними параметрами:

$$k_p = 30, \quad k_i = 10, \quad k_d = 11.$$

Коефіцієнт підсилення змінюється у межах $0.3 \leq k_0 \leq 6$.

Результати моделювання для різних значень змінної складової коефіцієнта підсилення системи третього порядку Δk зведені у таблицю 2.

Результати моделювання

Δk	Без ПД-регулятора		З ПД-регулятором	
	Помилка адаптації до зміни k , %	Помилка адаптації до моделі, %	Помилка адаптації до зміни k , %	Помилка адаптації до моделі, %
-2,7	40,4	56,8	0,488	0,483
-2,4	25,8	46,1	0,093	0,090
-2,1	18,1	40,6	0,024	0,027
-1,8	13,2	37,0	0,070	0,071
-1,5	9,6	34,4	0,080	0,082
-1,2	6,9	32,4	0,080	0,083
-0,9	4,7	30,8	0,069	0,071
-0,6	2,9	29,5	0,048	0,051
-0,3	1,3	28,4	0,025	0,030
0	0	27,4	0	0,020
0,3	1,2	26,6	0,026	0,026
0,6	2,2	25,8	0,049	0,051
0,9	3,1	25,2	0,071	0,073
1,2	3,9	24,6	0,090	0,092
1,5	4,7	24,0	0,103	0,105
1,8	5,4	23,5	0,111	0,112
2,1	6,0	23,1	0,114	0,119
2,4	6,6	22,6	0,115	0,113
2,7	7,1	22,2	0,111	0,115
3	7,7	21,9	0,100	0,103

Висновки. У статті запропоновано алгоритм забезпечення швидкої збіжності процесу в адаптивній системі з еталонною моделлю за рахунок використання двох етапів адаптації: адаптації до зміни параметрів об'єкта керування з використанням функцій Ляпунова та адаптації до характеристик еталонної моделі за рахунок використання ПД-контролерів.

Проведенні дослідження показали, що запропонований алгоритм дозволяє синтезувати систему, яка адаптується до зміни коефіцієнта підсилення (у широких межах) у середньому з помилкою не більше 0.1%.

Література

1. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов / Е.П. Чураков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 256 с.
2. Бейнарович, В. А. Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью/В.А. Бейнарович// Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2010. №1/21.
3. Есаков Виталий Анатольевич Синтез адаптивных систем методом функций Ляпунова / В.А. Есаков, В.Г. Дудко // Проблемы Науки. 2018. №12 (132).
4. Репнікова Н.Б. Алгоритм синтезу самоналагоджувальних систем управління з моделлю / Н.Б. Репнікова, А.В. Писаренко, О.В. Лобода, А.М. Хомій // Системи обробки інформації, 2009. Вип. 2. С. 94-97.