

УДОСКОНАЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ФУНКЦІЇ ПЕРЕДАЧІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ НА ВАЛІ ДВИГУНА ЕЛЕКТРОБУРА

В. М. Гарасимів, Т. Г. Гарасимів

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
e-mail: viraharasymiv78@gmail.com*

З метою підвищення продуктивності бурових установок удосконалено структурну схему системи регулювання потужності на валі двигуна електробура із використанням функції передачі замкнутої системи за задаючим впливом, де електробур розглядається як об'єкт керування, що функціонує в умовах апріорної та поточної невизначеності під впливом зовнішніх збурень. Для покращення якості перехідного процесу в умовах змін параметрів об'єкта керування, які неможливо контролювати, розроблено алгоритм налаштування адаптивного нечіткого ПІД-регулятора з використанням гібридної адаптивної системи, що володіє перевагами штучних нейронних мереж та нечіткої логіки. Вказано на ефективність розробленого алгоритму при дії на об'єкт керування параметричного збурення, на підставі чого можна зробити висновок, що реалізація адаптивних нечітких ПІД-регуляторів дасть змогу покращити показники якості функції передачі системи автоматичного регулювання потужності на валі двигуна електробура, який функціонує в умовах невизначеності. Розроблений алгоритм не потребує спеціальних методів ідентифікації параметрів електробура, а його реалізація за допомогою сучасних мікроконтролерів є достатньо простою та доступною.

Ключові слова: функція передачі, об'єкт керування, електробур, адаптивний нечіткий ПІД-регулятор, гібридна адаптивна система, нечітка логіка, параметричне збурення.

С целью повышения производительности буровых установок усовершенствована структурная схема системы регулирования мощности на валу двигателя электробура с использованием функции передачи замкнутой системы с задающим воздействием, где электробур рассматривается как объект управления, функционирующий в условиях априорной и текущей неопределенности под воздействием внешних возмущений. Для улучшения качества переходного процесса в условиях изменчивости неконтролируемых параметров объекта управления разработан алгоритм настройки адаптивного нечеткого ПИД-регулятора с использованием гибридной адаптивной системы, объединяющей преимущества искусственных нейронных сетей и нечеткой логики. Показана эффективность разработанного алгоритма при воздействии на объект управления параметрического возмущения, в результате чего можно сделать вывод, что реализация адаптивных нечетких ПИД-регуляторов позволит улучшить показатели качества функции передачи системы автоматического регулирования мощности на валу двигателя электробура, функционирующего в условиях неопределенности. Разработанный алгоритм не требует специальных методов идентификации параметров электробура, а его реализация с помощью современных микроконтроллеров является достаточно простой и доступной.

Ключевые слова: функция передачи, объект управления, электробур, адаптивный нечеткий ПИД-регулятор, гибридная адаптивная система, нечеткая логика, параметрическое возмущение.

In order to get better rigs performance the authors improve the schematic diagram of the power control system at the electric drill engine shaft using control input transfer function, where the electric drill is considered to be the control object which operates in conditions of a priori and current uncertainty under the influence of external perturbations. To improve the quality of the transient process under the conditions of changes in the parameters of the control object (when these parameters cannot be checked on), the authors have developed the algorithm of tuning the adaptive fuzzy PID controller based on the hybrid adaptive system. This algorithm includes the advantages of artificial neural networks and fuzzy logic. The efficiency of the algorithm with the parametric disturbance has been shown. It is concluded that the implementation of adaptive fuzzy PID controllers makes it possible to improve the quality of the transfer function of the power control system at the electric drill engine shaft when this drill operates in the indefinite conditions. The advantage of the developed algorithm is that it does not require special methods of the object parameters identification. Its implementation using modern microcontrollers is quite simple and accessible.

Keywords: transfer function, control object, electric drill, adaptive fuzzy PID controller, hybrid adaptive system, fuzzy logic, parametric disturbance.

Вступ

Процес буріння свердловин електробурами є недостатньо визначеним у зв'язку з наявністю нелінійних статичних та динамічних характеристик [1-4]. Для покращення ефективності регулювання потужності на валі електробура доцільно використовувати адаптивні нейро-нечіткі мережі ANFIS (Adaptive Network-Fuzzy Inference System), так як вони ефективні для вирішення задач керування, для яких традиційні методи неможливо застосувати.

ANFIS – це багатошарова штучна нейронна мережа (ШНМ) без зворотніх зв'язків, входи та виходи якої представлені у вигляді лінгвістичних змінних. Адаптивно нейро-нечіткі мережі ANFIS включають в себе переваги ШНМ: можливість побудови та навчання правил нечітких продукцій, та переваги нечіткої логіки: простота представлення вхідних і вихідних даних та структури правил нечітких продукцій.

Задача визначення оптимальних параметрів регулятора полягає в покращенні показників якості функції передачі, що характеризують її швидкодію, перерегулювання та характер коливань перехідного процесу. За об'єкт керування (ОК) вибрано електробур, який функціонує в умовах апріорної та поточної невизначеності під впливом зовнішніх збурень.

Відомо, що методи оптимального керування, які базуються на ШНМ, використовують складний математичний апарат і їх важко реалізувати на виробництві. Тому в більшості системах автоматичного керування (САК) використовують пропорціонально-інтегровані (ПІ) та пропорціонально-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми керування [5]. У свою чергу, ПІД-регулятори не є ефективними для нелінійних об'єктів керування або об'єктів керування з невідомими параметрами. Тому в останні роки інтенсивно розвиваються нелінійні модифікації ПІД-регуляторів на базі нейромережових та нечітких технологій.

Аналіз літературних джерел

Завдання підвищення якості функції передачі системи регулювання потужності на валі електробура, який функціонує за умов поточної невизначеності щодо своєї структури та параметрів, є одним із ключових у сучасній теорії керування [6].

Використання стандартних ПІД-регуляторів для регулювання потужності на валі електробура є досить поширеним на практиці, проте через виникнення зовнішніх завад та невизначеність умов функціонування електробура актуальним залишається завдання щодо удоско-

налення алгоритму налаштування ПІД-регуляторів, який зможе адаптуватися до змін режимів функціонування електробура або до виникнення зовнішніх збурень.

Існують різні методи налаштування адаптивних нечітких ПІД-регуляторів. Так, в праці [7] за вхідні параметри автори обрали похибку керування, її похідну та її другу похідну, що ускладнює процес створення бази правил нечітких продукцій та приводить до суттєвого збільшення її розміру.

Один з варіантів налаштування нечіткого нейромережового ПІД-регулятора розглянуто в праці [8], на вході якого розглядається інформація про зміну похибки керування та її похідної. Для опису кожної з вхідних змінних регулятора використані лінгвістичні змінні, що мають по п'ять термів з трикутними функціями належності. База правил умовно складається із трьох частин – окремо для кожного коефіцієнта налаштування ПІД-регулятора. Загальна кількість правил – триста сорок три, невизначеність їх формулювання висока.

Основна частина

ПІД-регулятори є основним інструментом автоматизації виробництва, проте їх налаштування традиційними засобами вимагає виконання дослідів з ОК, що знижує ефективність системи керування при зміні умов функціонування. Для вирішення цієї проблеми необхідно налаштувати адаптивний нечіткий ПІД-регулятор за допомогою гібридної адаптивної системи. Алгоритм налаштування адаптивного нечіткого ПІД-регулятора для регулювання потужності на валі двигуна електробура включає такі етапи [9]:

- розроблення структурної схеми адаптивної системи регулювання потужності на валі електробура та визначення її вхідних та вихідних параметрів;
- збір даних про зміну вхідних та вихідних параметрів системи регулювання потужності на валі електробура з метою отримання навчальної вибірки для нечіткої нейронної мережі (ННМ);
- розробка структури ННМ, визначення методу навчання;
- навчання ННМ;
- апробація результатів навчання ННМ зі використанням програмного середовища Matlab.

Під час проведення досліджень коефіцієнти налаштування ПІД-регулятора (K_p , K_i та K_d) були визначені класичним методом [10]. Для дослідження поведінки передавального

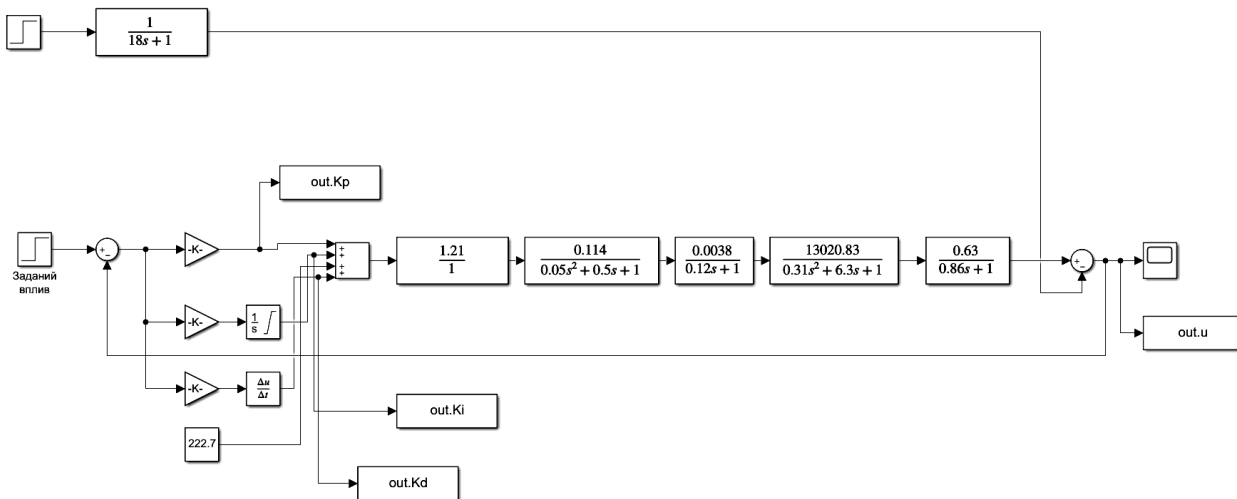


Рисунок 1 – Структурна схема системи регулювання потужності на валі електродвигуна з стандартним ПІД-регулятором

процесу регулювання потужності на валі електродвигуна та формування навчальної вибірки ННМ значення величин коефіцієнтів налаштування ПІД-регулятора заносили у Workspace програмного середовища Matlab (рис. 1) [11].

Досліджено систему регулювання потужності на валі електродвигуна, функцію передачі якого, отримано експериментально в роботі [6] і встановлено, що вільний рух системи є стійким (рис. 1).

Припустимо, що а ОК діє зовнішнє збурення N , передавальна характеристика якого має вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{18p + 1},$$

де p – оператор Лапласа.

Вирішення задачі синтезу нечіткого ПІД-регулятора для системи регулювання потужності на валі електродвигуна здійснювалося в програмному середовищі Matlab редактора ANFIS, за допомогою якої створюють, редагують модель адаптивної нейромережевої системи, виконують навчання, візуалізують структуру, змінюють та налаштовують параметри, а також використовують ШНМ для отримання результатів нечіткого висновку.

Синтезована структура регулятора складається із чотирьох шарів (рис. 2): в першому шарі виконується процес фазифікації вхідних даних (*inputmf*), другому – агрегування значень активації умов нечіткої бази правил (*rule*), в третьому – агрегування правил виводу і генерації нормалізуючого сигналу (*outputmf*), в четвертому (вихідному) – нормалізація та формування вихідного сигналу (*output*). Перший і третій шари Ванга-Менделя [12] використовуються за замовчуванням та є параметричними. Корекція по-

чатково заданих параметрів здійснюється у процесі навчання.

В нашому випадку вибрано гібридний метод, який поділяє процес навчання на два етапи:

1 етап. Уточнюються лінійні параметри третього шару (для нечіткого логічного висновку використаний алгоритм Сугено) при фіксованих значеннях функцій належності першого шару.

2 етап. Здійснюється адаптація нелінійних параметрів першого шару.

Даний цикл повторюється до стабілізації усіх параметрів процесу чи до закінчення кількості епох навчання. Основною перевагою даного методу є поділ процесу навчання на два етапи, завдяки чому зменшується розмірність задачі оптимізації, кількість математичних операцій та збільшується швидкість виконання алгоритму.

Для навчання ННМ використано метод зворотного поширення похибки, кількість циклів навчання – 200, похибка Error tolerance рівна нулю. В процесі спостерігаємо графік зміни похибки навчання (рис.3). Мінімальна похибка навчання ННМ становить 0.033647, що свідчить про адекватність розробленої ННМ.

Структурна схема системи регулювання потужності на валі електродвигуна з адаптивним нечітким нейромережевим ПІД-регулятором показана на рисунку 4.

Аналіз показників якості адаптивного перехідного процесу показує, що час регулювання з нечітким нейромережевим регулятором становить 7.2 сек., а перерегулювання – 4.65%. Час регулювання зі стандартним ПІД-регулятором є дещо меншим (4.3 сек.), проте перерегулювання становить 8.41% (рис. 5).

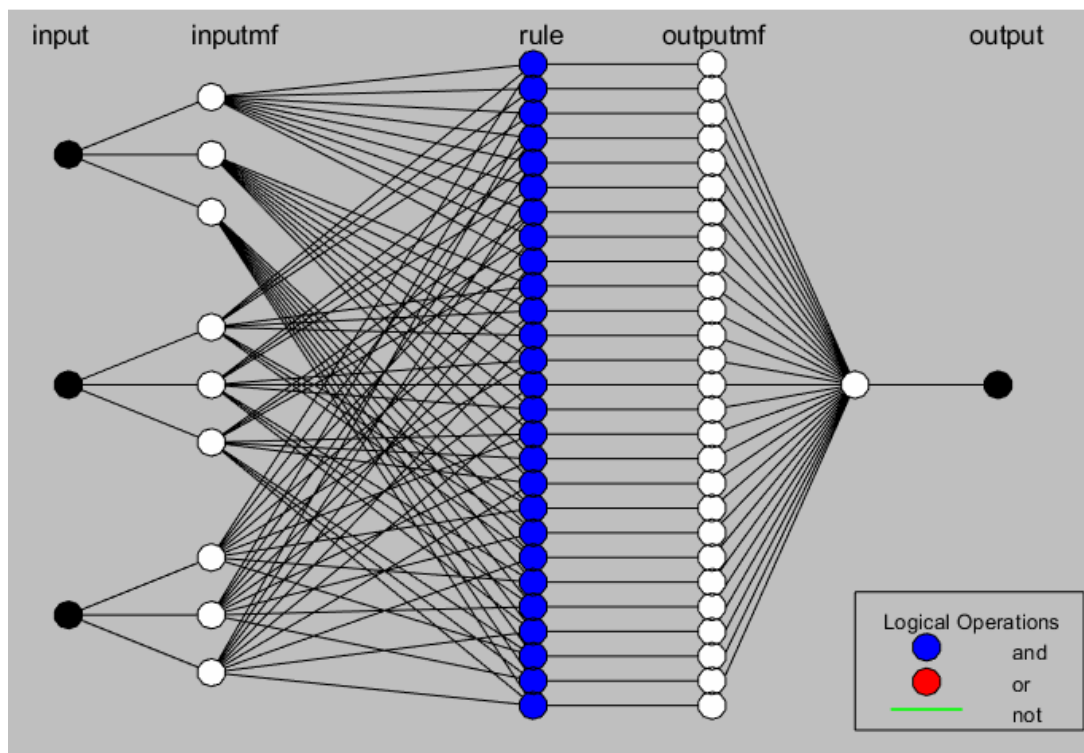


Рисунок 2 – Структура ННМ

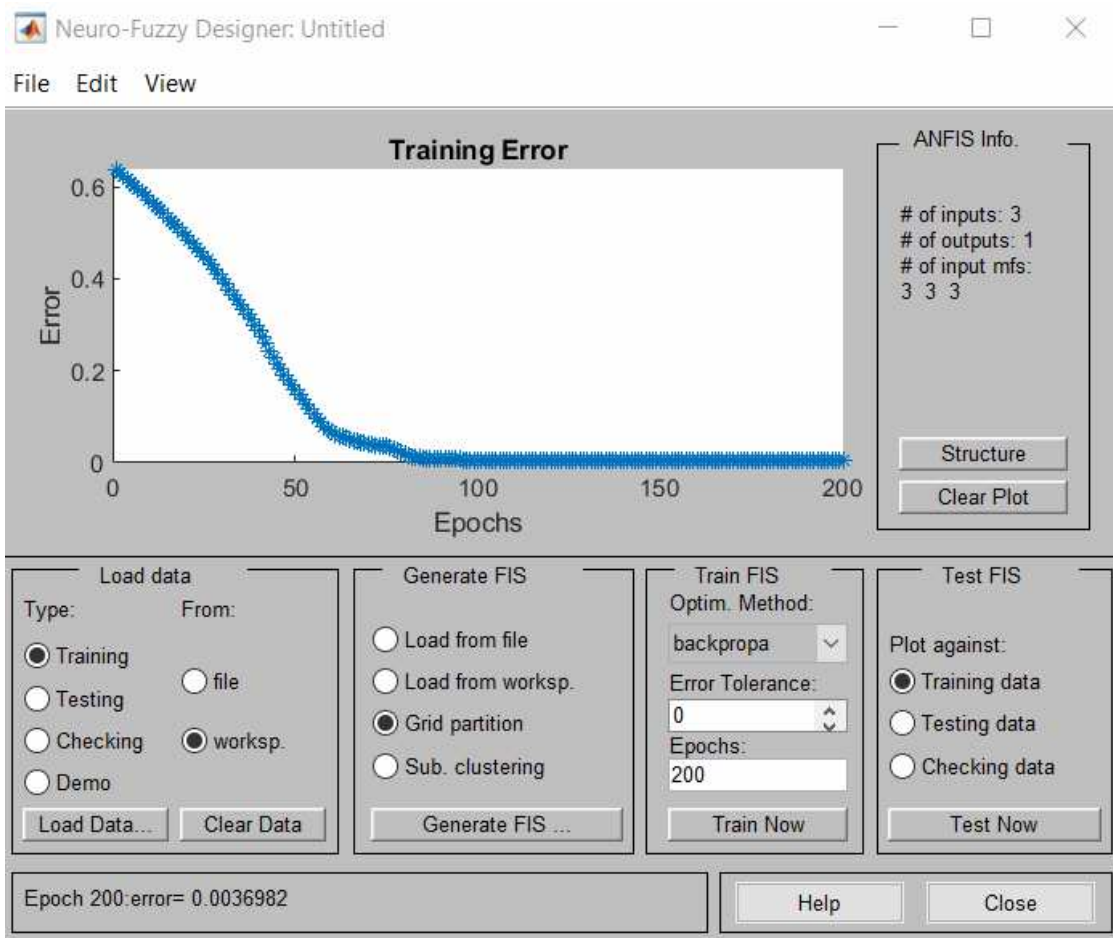


Рисунок 3 – Графік зміни похибки навчання

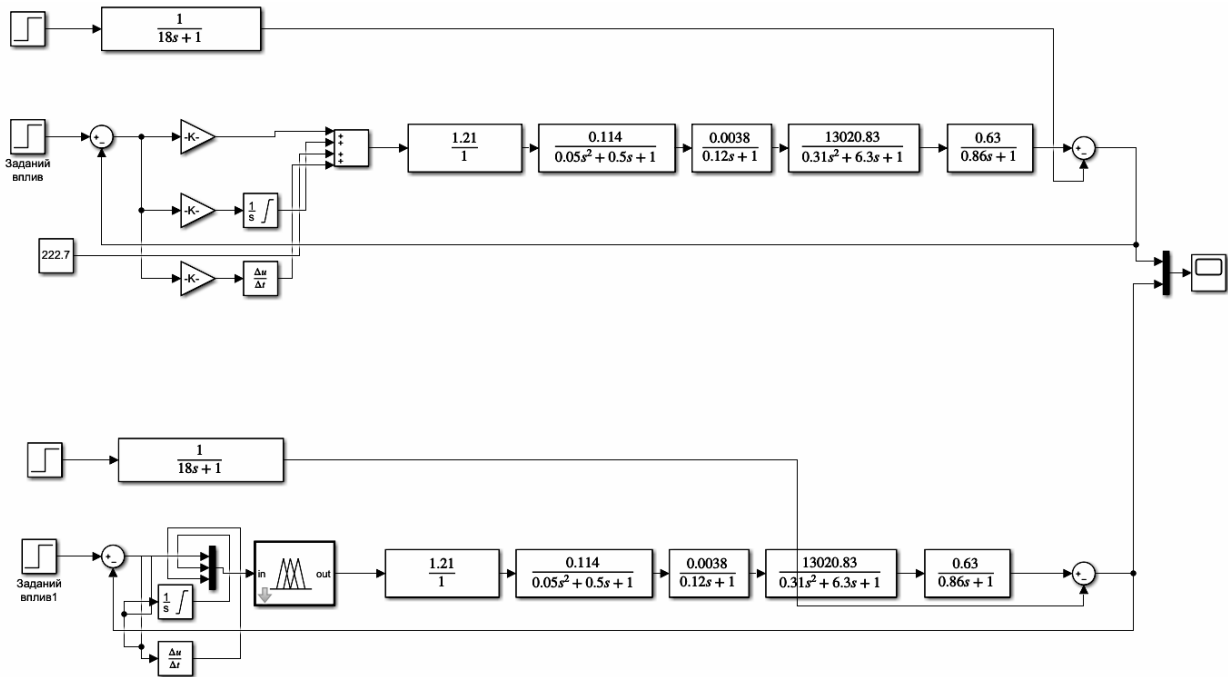


Рисунок 4 – Структурна схема системи регулювання потужності на валі електробура зі стандартним ПІД-регулятором та адаптивним нечітким ПІД-регулятором

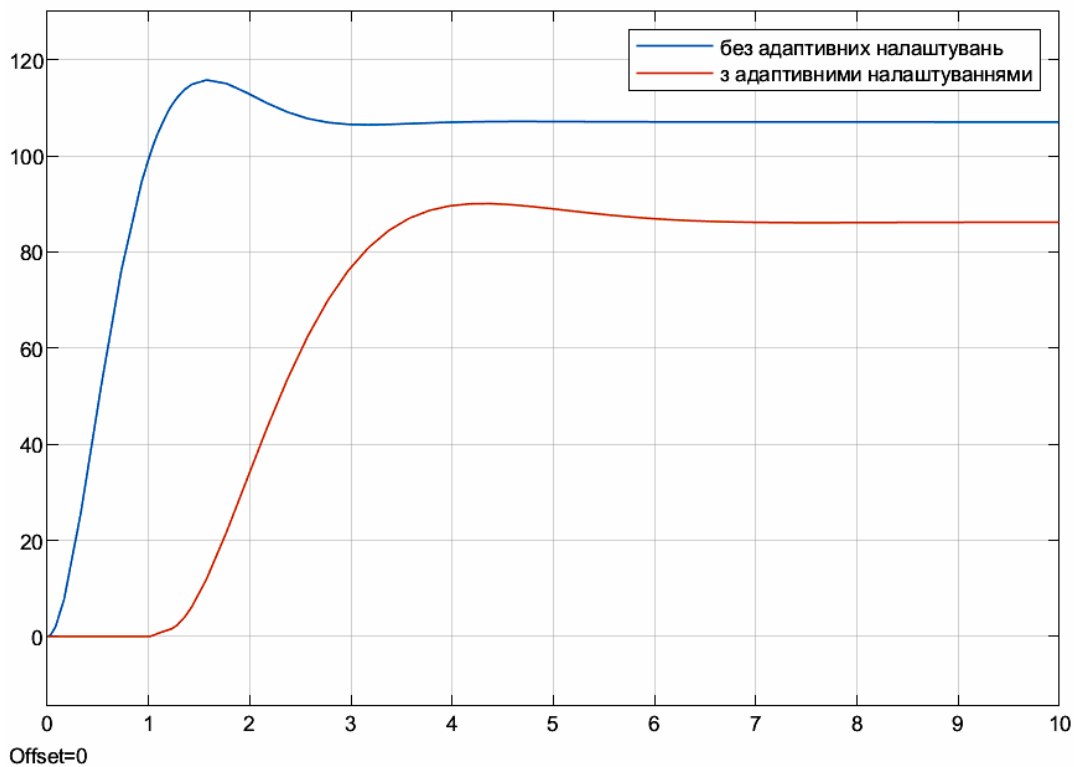


Рисунок 5 – Перехідні процеси зі використанням стандартного ПІД-регулятора та адаптивного нечіткого ПІД-регулятора

Для перевірки ННС для налаштування адаптивного нечіткого ПІД-регулятора, який регулює потужність на валі електробура, що функціонує в умовах невизначеності чи під впливом параметричного збурення, проведений експеримент в програмі Matlab (Simulink). При

цьому нова функція передачі після впливу параметричного збурення матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{6}{13p^2 + 2p + 1}$$

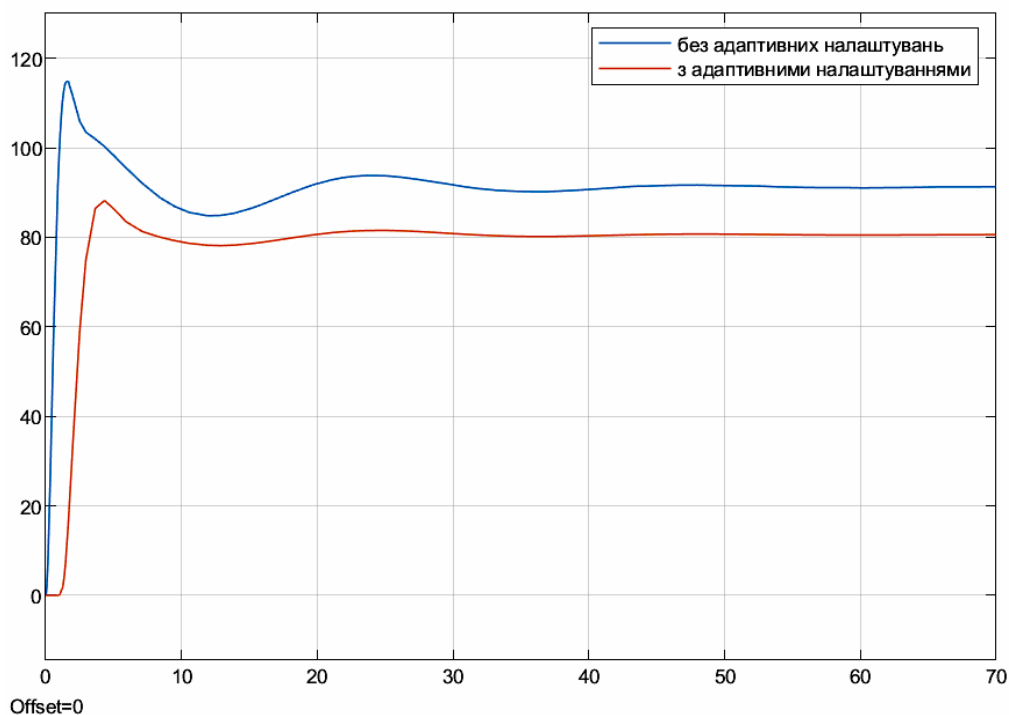


Рисунок 6 – Перехідні процеси зі використанням стандартного ПД-регулятора та адаптивного нечіткого ПД-регулятора під впливом параметричного збурення

Порівнюючи показники якості адаптивного переходного процесу (час регулювання – 34 с та перегулювання 10%) та переходного процесу зі використанням стандартного ПД-регулятора (рис. 6), можна зробити висновок, що представлений алгоритм налаштування адаптивного нечіткого ПД-регулятора на основі гібридної адаптивної системи є ефективним і може бути рекомендований для регулювання потужності на валі електробура. Використання даного алгоритму покращує процес адаптації системи регулювання потужності на валі електробура, не потребує спеціальних методів ідентифікації параметрів електробура, що, в свою чергу, лише ускладнить якість керування.

Висновки

Удосконалено структурну схему системи регулювання потужності на валі двигуна електробура для покращення показників якості функції передачі даної системи регулювання та її адаптації до змін умов функціонування електробура та виникнення зовнішніх збурень.

Розроблено алгоритм налаштування адаптивного нечіткого ПД-регулятора на основі гібридної адаптивної системи, за допомогою якого знаходяться оптимальні значення коефіцієнтів налаштування ПД-регулятора під час регулювання потужності на валі двигуна електробура в умовах невизначеності.

Показано, що використання даного алгоритму покращує процес адаптації системи регулювання потужності на валі двигуна електробура за наявності параметричного збурення порівняно з використанням стандартного алгоритму налаштування ПД-регулятора.

Література

1. Фоменко Ф. Н. Бурение скважин электробурами. Москва : Недра, 1974. 260 с.
2. Бунчак З., Дудар О., Кекот О., Турянський О. Парадокси і реальність. *Електроінформ.* 2003. № 4. С. 8-11
3. Балденко Ф. Д., Шмидт А. П. Автоматизирование системы управления режимом бурения скважин забойными двигателями. *Бурение и нефть.* 2003. № 4. С. 14-17
4. Ситников Н. Б., Семенцова А. А., Трапезников В. Т. Зависимость эффективности бурения глубоких скважин от мощности на долоте. *Горный журнал.* 1987. №1. С. 53-55.
5. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. Москва : МЭИ, 2008. 396 с.
6. Семенцова А. О., Ужелин Я. А., Лагойда А. І. Аналіз динаміки регулювання процесу буріння нафтових і газових свердловин електробурами за умов дії факторів невизначеності. *Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу.* 2011. № 1 (14). С. 76-84.

7. Jin J., Huang H., Sun J., Pang Y. Study on Fuzzy Self-Adaptive PID Control System of Biomass Boiler Drum Water. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2013. Vol. 3. P. 93-98.

8. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления : монография. Киев : Радиоаматор, 2008. 972 с.

9. Михайленко В. С. Алгоритм настройки адаптивного нейро-нечеткого ПИ-регулятора. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2011. № 2 (36). С. 149-154.

10. Лукас В. А. Теория управления техническими системами : учебное пособие. Екатеринбург : УГГУ, 2005, 677 с.

11. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. Москва : Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

12. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. Москва : Финансы и статистика, 2002. 344 с.

References

1. Fomenko F. N. Burenie skvazhin elektroburami. Moskva : Nedra, 1974. 260 p. [in Russian]

2. Bunchak Z., Dudar O., Kekot O., Turianskyi O. Paradoksy i realnist. *Elektroinform*. 2003. No 4. P. 8-11. [in Ukrainian]

3. Baldenko F. D., Shmidt A. P. Avtomatizirovanie sistemy upravleniya rezhimom bureniya skvazhin zaboynymi dvigatelyami. *Burenie i nef*t. 2003. No 4. P. 14-17. [in Russian]

4. Sitnikov N. B., Semencova A. A., Trapeznikov V. T. Zavisimost ehffektivnosti bureniya glubokikh skvazhin ot moshchnosti na dolote. *Gornyj zhurnal*. 1987. No 1. P. 53-55. [in Russian]

5. Rotach V. Ya. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Moskva : MEHI, 2008. 396 p. [in Russian]

6. Sementsova A. O., Uzhelyn Ya. A., Lakhoida A. I. Analiz dynamiky rehuliuвання protsesu burinnia naftovykh i hazovykh sverdlovyn elektroburamy za umov dii faktoriv nevyznachenosti. *Enerhetyka, kontrol ta diahnostyka ob'ektiv naftohazovoho kompleksu*. 2011. No 1 (14). P. 76-84. [in Ukrainian]

7. Jin J., Huang H., Sun J., Pang Y. Study on Fuzzy Self-Adaptive PID Control System of Biomass Boiler Drum Water. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2013. Vol. 3. P. 93-98.

8. Gostev V. I. Nechetkie regulatory v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya : monografiya. Kiev : Radioamator, 2008. 972 p. [in Russian]

9. Mikhajlenko V. S. Algoritm nastrojki adaptivnogo nejro-nechetkogo PI-regulyatora. *Praci Odeskogo politekhnichnogo universitetu*. 2011. No 2 (36). P. 149-154. [in Russian]

10. Lukas V. A. Teoriya upravleniya tekhnicheskimi sistemami : uchebnoe posobie. Ekaterinburg : UGGU, 2005, 677 p. [in Russian]

11. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami Matlab. Moskva : Goryachaya liniya – Telekom, 2007. 288 p. [in Russian]

12. Osovskij S. Nejronnye seti dlya obrabotki informacii. Moskva : Finansy i statistika, 2002. 344 p. [in Russian]