

УДК 629.33:004.8

О.Я. Ніконов, професор, д-р техн. наук,

В.М. Шуляков, аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002

jason07@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ АДАПТИВНИХ НЕЙРО-ФАЗЗИ РЕГУЛЯТОРІВ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ СЛІДКУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті розглянута задача дослідження надійності адаптивних нейро-фаззи регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля в умовах експлуатації. Побудовано два гібридних регулятора. Проведено дослідження перехідних процесів замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода з розробленими нейро-фаззи регуляторами за неоптимальних умов роботи.

Ключові слова: *нейро-фаззи регулятор, надійність, електрогідравлічний слідкуючий привід, автомобіль, субтрактивна кластеризація, трикутна функція належності.*

Аналіз останніх досліджень та літератури. Сучасні тенденції все більшої інтеграції механіки, гідравліки, електротехніки та електроніки не могли не торкнутися автомобільної галузі. Синергетичне об'єднання найновітніших технологій різних галузей техніки дозволяє створити високоефективну технологію управління, що об'єднує в собі надійність, ергономічність, простоту обслуговування.

Розглянемо більш детально сучасні методи і технології управління електрогідравлічними слідкуючими приводами автомобілів. Оскільки автомобіль і його окремі вузли та агрегати звичайно описуються нелінійними диференціальними рівняннями з невизначеними параметрами, застосування «класичних» методів теорії автоматичного управління, що опираються на аналіз математичної моделі об'єкту управління, зіштовхується з рядом відомих труднощів.

У теперішній час спостерігається інтенсивний розвиток та практичне застосування нечітких систем для управління й регулювання різноманітних технічних об'єктів. Актуальність нової технології, нечіткого управління, обумовлена тенденцією збільшення складності математичних моделей реальних систем.

Розробленню та дослідженню адаптивних регуляторів, побудованих з використанням нейро-фаззи технологій, присвячено ряд робіт [1-4]. В цих роботах показано, що використання нейро-фаззи технологій для управління електрогідравлічної слідкуючої системи дозволяє підвищити точність та розширити області стійкості такої системи.

Мета досліджень, постановка проблеми. Електрогідравлічні слідкуючі системи знайшли широке застосування у якості виконавчих механізмів систем автоматичного управління автомобілів. Важко прогнозована зміна динамічних навантажень електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобіля у процесі його функціонування знижує ефективність використання традиційних методів автоматичного управління та робить звичайні адаптивні регулятори неоптимальними.

У зв'язку з цим, постає актуальна задача дослідження надійності роботи енергоефективних електрогідравлічних перетворювачів на основі адаптивних регуляторів побудованих з використанням нейро-фаззи технологій здатних надійно працювати в умовах підвищеної запиленості зовнішнього середовища, великого перепаду температур, значних вібрацій та ударів та інших несприятливих факторів, що виникають при експлуатації автомобілів.

Метою роботи є дослідження надійності адаптивних нейро-фаззи регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля в умовах експлуатації. Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі покликані об'єднати в собі достоїнства нейронних мереж і систем нечіткої логіки. З одного боку, вони дозволяють розробляти і представляти моделі систем у формі нечітких правил, а з іншого боку, для побудови нечітких правил використовуються методи нейронних мереж. Використання інтелектуальних регуляторів дозволить підвищити енергоефективність, надійність, безвідмовність, довговічність, безпеку використання вузлів та агрегатів автомобіля.

Матеріали та результати досліджень. Розглянемо електрогідравлічну слідкуючу систему [5-6] що працює за неоптимальних умов та два нечітких регулятора, що описано в роботах [2-4].

За допомогою редактора ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) середовища Matlab синтезовано нечіткі регулятори для електрогідравлічної слідкуючої системи на основі адаптивної нейро-нечіткої гібридної технології. Перший з регуляторів створено за допомогою методу ґрат з використанням трикутної функції належності для слідкуючої системи. Другий нечіткий регулятор створений з використанням методу субтрактивної кластеризації для цієї ж слідкуючої системи.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування електрогідравлічного слідкуючого приводу автомобіля з нейро-фаззі регулятором за неоптимальних умов. Навчання проводилося гібридним методом, який поєднує метод зворотнього поширення помилки з методом найменших квадратів.

Процес створення нечіткої моделі в середовищі Simulink було поділено на 4 етапи. На першому етапі був проведений збір даних про роботу базової Simulink-моделі і створений файл даних для навчання нечіткої структури. На другому етапі задавалися властивості нечіткої системи. При виборі методу ґрат встановлювався тип системи нечіткого виводу, кількість вхідних та вихідних змінних, метод дефаззифікації. При виборі методу субтрактивної кластеризації задавалися наступні параметри: Range of influence – рівні впливу вхідних змінних; Squash factor – коефіцієнт пригнічення, що використовується для визначення сусідніх до центру кластера об'єктів. Ці об'єкти вважаються такими що належать цьому кластеру і виключаються з подальшого розгляду в кластерному аналізі; Accept ratio – коефіцієнт прийняття, використовується як критерій призначення об'єкта центром кластера; Reject ratio – коефіцієнт відторгнення, що встановлює у скільки разів потенціал даної точки повинен бути нижче потенціалу центра першого кластера, щоб розглянута точка була виключена з можливих центрів кластерів. На третьому етапі проводилося тренування моделі. На четвертому етапі розроблена нейро-фаззі модель інтегрувалася в блок фаззі-контролера в середовищі Simulink.

Нейро-фаззі модель розглядається як один з різновидів систем нечіткого логічного виведення типу Сугено. При цьому функції належності синтезованих систем налаштовано так, щоб мінімізувати відхилення між результатами нечіткого моделювання й експериментальних даних.

Деталізовано налаштування регуляторів виглядають наступним чином. Для першого регулятора у кожному експерименті налаштування та тренування регуляторів проводилися за однакових умов. По-перше, обиралася запропонована навчальна вибірка. Наступним кроком обирався метод генерування нечіткої структури – Grid partition (генерування системи по методу ґрат). Встановлювалася кількість лінгвістичних термів для входів (вхідних змінних) – 2; тип функцій належності лінгвістичних термів вхідних змінних (трикутна); тип функції належності для вихідної змінної «linear» (лінійна). Далі обирався гібридний метод оптимізації, який поєднує метод зворотнього поширення помилки з методом найменших квадратів. Параметр «необхідної точності навчання» залишався за замовчуванням 0, і кількість епох навчання – 20.

Для другого регулятора у кожному експерименті налаштування та тренування регуляторів проводилися за однакових умов. По-перше, обиралася запропонована навчальна вибірка. Наступним кроком обирався метод генерування нечіткої структури – Subtractive clustering (генерування системи по методу субтрактивної кластеризації). Далі обирався гібридний метод оптимізації, який поєднує метод зворотнього поширення помилки з методом найменших квадратів. Параметр «необхідної точності навчання» залишався за замовчуванням 0, і кількість епох навчання – 20.

Цикл навчання проводився впродовж 20 епох. Наприкінці навчання отримано наступні значення нормованої середньоквадратичної помилки: для методу ґрат з використанням трикутної функції належності $3,1295 \cdot 10^{-9}$, для методу субтрактивної кластеризації $1,0399 \cdot 10^{-5}$.

У результаті проведених експериментів було апробовано роботу побудованих нечітких регуляторів. На рисунку 1,2 представлені перехідні процеси замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода, працюючого у не оптимальних умовах, при отриманих значеннях варійованих параметрів блоку управління для штатного регулятора (крива 1), нечіткого регулятора по методу ґрат з використанням трикутної функції належності (крива 2) та нечіткого регулятора з використанням методу субтрактивної кластеризації (крива 3).

На рисунку 1(а) наведено перехідні процеси замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода для вибраного значення 15 градусів для куту повороту об'єкту управління. Як видно з рисунку, регулятор створений по методу ґрат з використанням трикутної функції належності (крива 2) та регулятор з використанням методу субтрактивної кластеризації (крива 3) дозволяють зменшити як показник перерегулювання так і час регулювання у порівнянні зі штатним регулятором (крива 1). Поліпшення складає до 15%. Ця ж тенденція зберігається і для куту повороту 20 градусів (рисунок 2,а).

На рисунку 1,б наведено перехідні процеси замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода для вибраного значення 15 градусів для кутової швидкості об'єкту управління. Як видно з рисунку, подібно до попереднього прикладу, регулятор створений по методу ґрат з використанням трикутної функції належності (крива 2) та регулятор з використанням методу субтрактивної кластеризації (крива 3) дозволяють зменшити як показник перерегулювання так і час регулювання у порівнянні зі штатним регулятором (крива 1). У цьому випадку поліпшення складає теж до 15%. Ця ж тенденція зберігається і для куту повороту 20 градусів (рисунок 2,б).

У обох випадках регулятор з використанням методу субтрактивної кластеризації демонструє ще кращі результати ніж регулятор створений по методу ґрат з використанням трикутної функції належності.

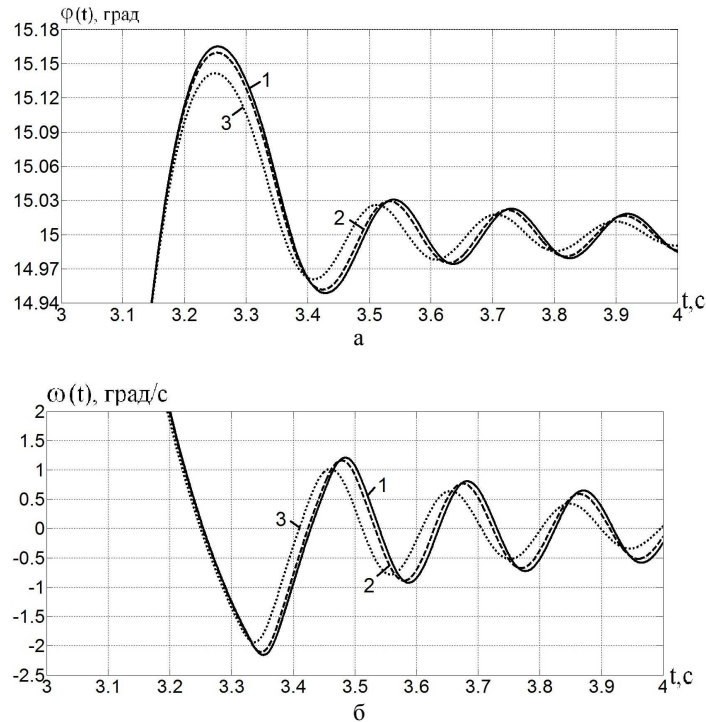


Рисунок 1 – Перехідні процеси замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода, працюючого у не оптимальних умовах, для значення 15 градусів для кута повороту об’єкту управління (а), та для кутової швидкості об’єкту управління (б): крива 1 – штатний регулятор; 2 – нейро-фаззі регулятор з трикутною функцією належності; 3 – нейро-фаззі регулятор з використанням методу субтрактивної кластеризації

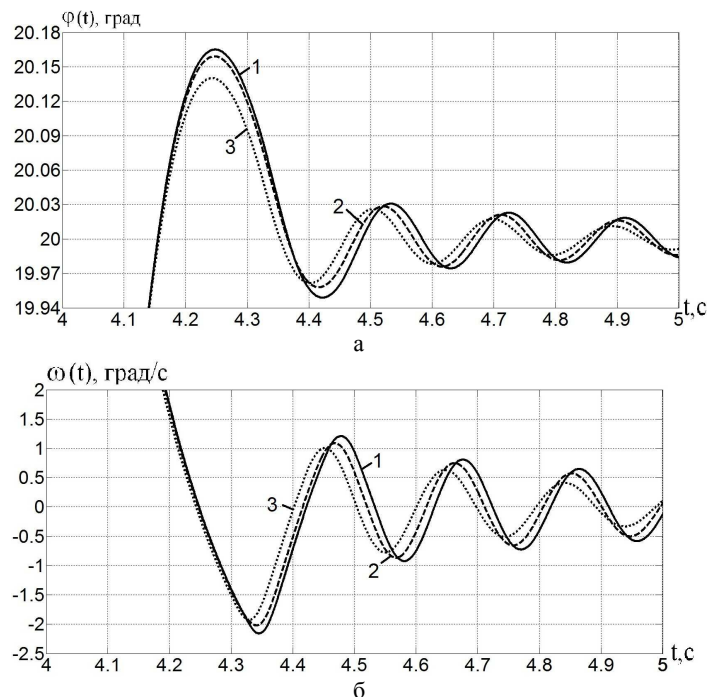


Рисунок 2 – Перехідні процеси замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода, працюючого у не оптимальних умовах, для значення 20 градусів для кута повороту об’єкту управління (а), та для кутової швидкості об’єкту управління (б): крива 1 – штатний регулятор; 2 – нейро-фаззі регулятор з трикутною функцією належності; 3 – нейро-фаззі регулятор з використанням методу субтрактивної кластеризації

Висновки. В роботі досліджено надійність адаптивних нейро-фаззі регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля за неоптимальних умов роботи. Синтезовано два

нейро-фаззі регулятора. Перший регулятор створено з використанням трикутної функції належності, другий з використанням методу субтрактивної кластеризації.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність використання інтелектуальних систем управління в інтегрованих інформаційно-керуючих системах автомобіля. Застосування нейро-фаззі адаптивних регуляторів доцільно при проектуванні електронних систем управління агрегатами, механізмами та вузлами автомобілів, електромобілів, гібридних автомобілів, а також при розробці нових методів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи.

Використання нейро-фаззі регуляторів в системах електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобіля дозволило покращити якість перехідних процесів при регулюванні, та час регулювання. Цих результатів вдалося досягти з використанням трикутної функції належності та методу субтрактивної кластеризації. Також введення до контуру системи нейро-фаззі регулятора дозволило розширити область стійкості системи, що в свою чергу дозволить підвищити надійність системи. Вищенаведене дозволить в цілому підвищити надійність, енергоефективність, швидкодюю, безвідмовність, довговічність, безпеку використання вузлів та агрегатів транспортних засобів, що надзвичайно важливо для автомобілів, а також швидкохідних транспортних засобів спеціального призначення.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В.И. Гостев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
2. Ніконов О.Я. Вплив функції належності на якість нечітких регуляторів електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобілів / О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков // *Радіоелектроніка та інформатика: збірник наукових праць.* – 2012. – № 3. – С. 79–83.
3. Шуляков В.М. Аналіз використання методу субтрактивної кластеризації при створенні нечітких регуляторів електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобілів / В.М. Шуляков // *Вісник НТУ «ХПІ».* Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 4(978). – С. 69–73.
4. Ніконов О.Я. Дослідження ефективності нечітких регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля в умовах експлуатації / О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков // *«Механіка та машинобудування».* – НТУ «ХПІ». – Харків. – 2012 № 2. – С. 210–215.
5. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления / Н.С. Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.
6. Ніконов О.Я. Розроблення інформаційно-структурної схеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів / О.Я. Ніконов, В.Ю. Улько // *Вестник НТУ «ХПІ».* – Харьков: НТУ «ХПІ», 2010. – № 57. – С. 214–220.

Надійшла до редакції 10.06.2013 р.

Никонов О.Я., Шуляков В.Н. Исследование надежности адаптивных нейро-фаззи регуляторов электрогидравлических следящих систем автомобиля в условиях эксплуатации

В статье рассмотрена задача исследования надежности адаптивных нейро-фаззи регуляторов электрогидравлических следящих систем автомобиля в условиях эксплуатации. Созданы два гибридных регулятора. Проведено исследование переходных процессов замкнутой системы электрогидравлического следящего привода с разработанными нейро-фаззи регуляторами при неоптимальных условиях работы.

Ключевые слова: нейро-фаззи регулятор, надежность, электрогидравлический следящий привод, автомобиль, субтрактивная кластеризация, треугольная функция принадлежности.

Nikonov O.J., Shuliakov V.M. Research of reliability of adaptive neuro-fuzzy controllers of electrohydraulic servo systems of a car in conditions of exploitation

The research problem of the reliability of the adaptive neuro-fuzzy controllers of the electrohydraulic servo systems of a car in conditions of exploitation is analyzed in this article. Two hybrid controllers were created. The research of transient processes of electrohydraulic servo drive closed system with the developed neuro-fuzzy controllers in not optimal operating conditions is realized.

Keywords: neuro-fuzzy controller, reliability, electrohydraulic servo drive, car, subtractive clustering, triangular membership function.