

УДК 629.33:004.8

**О. Я. НІКОНОВ**, д-р техн. наук, професор ХНАДУ, Харків;  
**В. М. ШУЛЯКОВ**, аспірант ХНАДУ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ АДАПТИВНИХ НЕЙРО-ФАЗЗИ РЕГУЛЯТОРІВ АВТОМОБІЛЯ НА БАЗІ МЕТОДУ СУБТРАКТИВНОЇ КЛАСТЕРІЗАЦІЇ

У статті розглянута задача дослідження якості адаптивних нейро-фаззи регуляторів автомобіля на базі методу субтрактивної кластеризації. Побудовано чотири гібридних регулятора. Для кожного з регуляторів запропонована власна вибірка тренувальних даних. Проведено дослідження перехідних процесів замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода з розробленими нейро-фаззи регуляторами.

**Ключові слова:** електрогідравлічний слідкуючий привід, автомобіль, нейро-фаззи регулятор, субтрактивна кластеризація, тестова вибірка, тренувальні данні.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** У теперішній час спостерігається інтенсивний розвиток та практичне застосування нечітких систем для керування й регулювання різноманітних технічних об'єктів [1-4]. Актуальність нової технології, нечіткого моделювання, обумовлена тенденцією зростання складності реальних систем і відповідно їх математичних моделей. Отримати вичерпну інформацію для побудови математичної моделі складної реальної системи часто в принципі неможливо. У цих випадках доцільно використовувати методи, спеціально орієнтовані на побудову моделей, що враховують неповноту й неточність вхідних даних. Саме в таких ситуаціях технологія нечіткого моделювання є однією із найбільш конструктивних [5-6].

**Мета досліджень, постановка проблеми.** Інтеграція гідравлічних пристроїв та електронних систем керування дозволяє вирішувати задачі підвищення якості процесів керування, адаптивного налаштування та підтримки параметрів або структури системи при дії на об'єкт керування випадкових збурень, діагностики відмов та несправностей при збереженні відносно невеликих маси та габаритів комплексу «привод-система керування». Таким чином, постає актуальна задача створення енергоефективних електрогідравлічних перетворювачів на основі сучасних систем керування, здатних надійно працювати в умовах підвищеної запиленості зовнішнього середовища, великому перепаді температур, значних вібраціях та ударах та інших несприятливих факторах, що виникають при експлуатації автомобілів.

Метою роботи є дослідження якості адаптивних нейро-фаззи регуляторів автомобіля на базі методу субтрактивної кластеризації. 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.** Проведено дослідження роботи нечіткого регулятора створеного на базі електрогідравлічної слідкуючої системи, що описано в роботах [7-10] та нечітких регуляторів що описано в роботах [11-14].

За допомогою редактора ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) середовища Matlab синтезовано нечіткий регулятор для електрогідравлічного слідкуючого привода на основі адаптивної нейро-нечіткої гібридної технології (рис. 1).

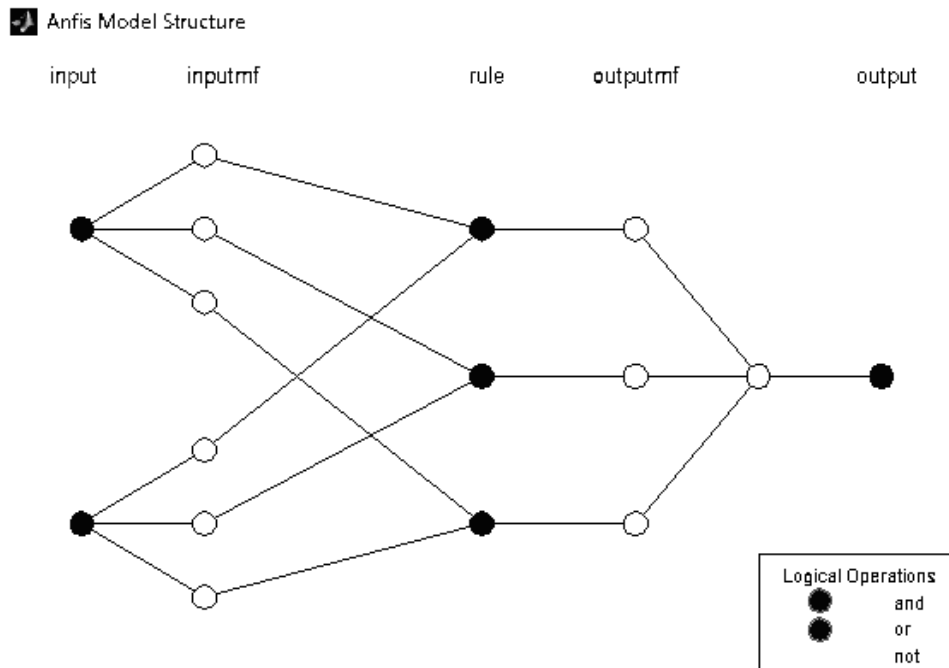


Рисунок 1 – Структура нечіткої нейронної мережі

Побудову нечіткої моделі з використанням методу субтрактивної кластеризації в середовищі Matlab (Simulink) можна розділити на 4 етапи. Перший етап: збір даних про роботу базової Simulink-моделі і створення файлу даних для навчання нечіткої структури. Другий етап: завдання властивостей нечіткої системи – при виборі методу Sub. clustering необхідно задати параметри методу субкластеризації: Range of influence – рівні впливу вхідних змінних; Squash factor – коефіцієнт пригнічення, 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. Третій етап: тренування (навчання) моделі – вибирається метод оптимізації (Optim. method), необхідна точність навчання (Error tolerance), кількість ітерацій навчання (Epochs). Четвертий етап: використання розробленої нечіткої моделі в блоці фазі-контролера у середовищі Simulink.

Нейро-нечітку мережу можна розглядати як один з різновидів систем нечіткого логічного виведення типу Сугено. При цьому функції приналежності синтезованих систем налаштовано (навчено) так, щоб мінімізувати відхилення між результатами нечіткого моделювання й експериментальних даних. На рис. 2 і 3 відображені результати моделювання та масив тестових даних у вигляді множини точок у двовимірному просторі для синтезованої мережі (рис.1). По вісі абсцис відкладено порядковий номер рядка даних у вибірці (навчальній, тестовій або контрольній), а по осі ординат – значення вихідної змінної для даного рядка вибірки.

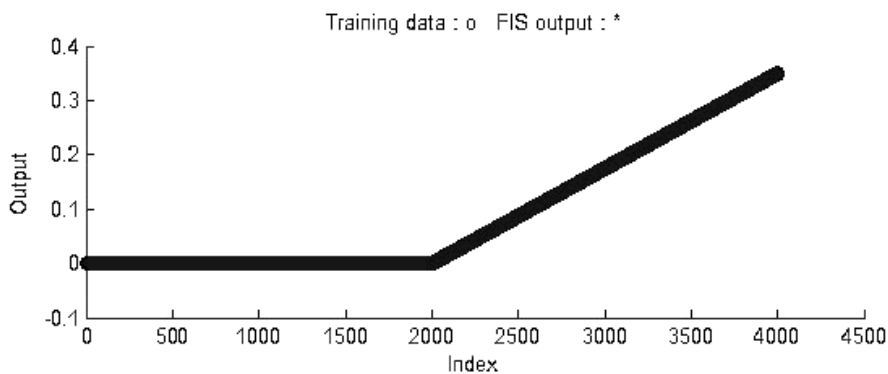


Рисунок 2 – Результати навчання нечіткої нейронної мережі

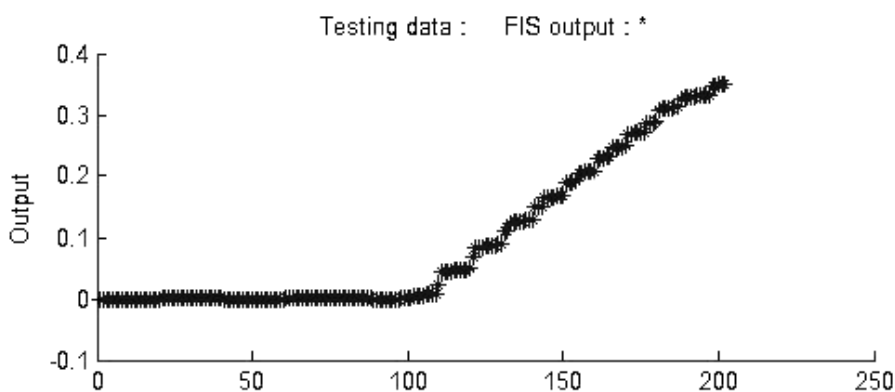
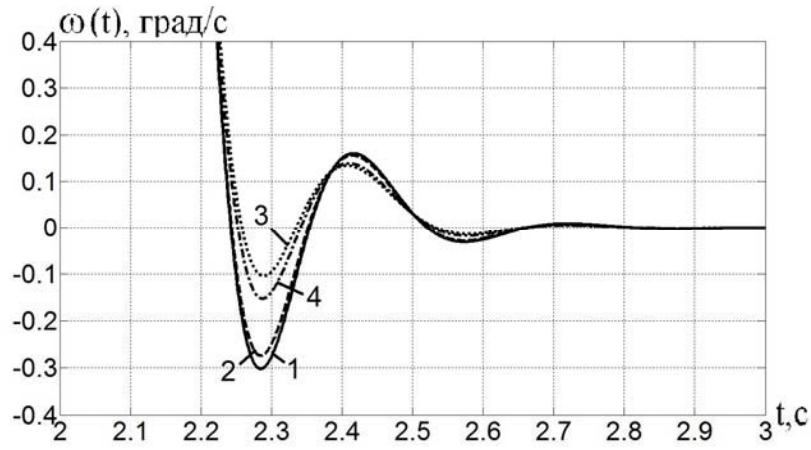


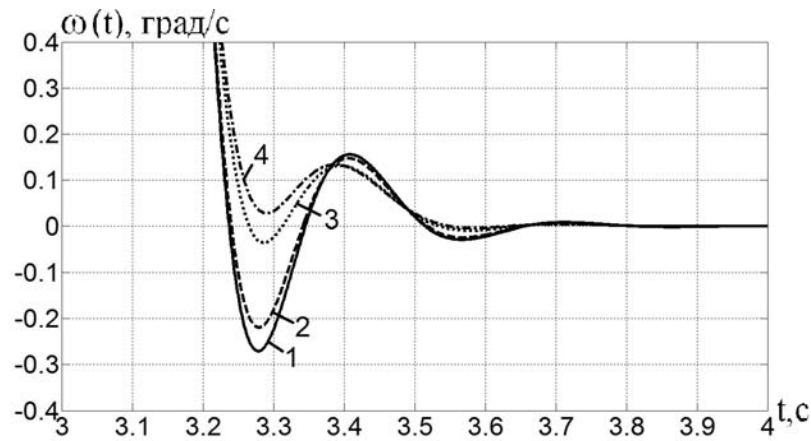
Рисунок 3 – Масив тестових даних нечіткої системи

Об'єктом дослідження є процеси функціонування електрогідравлічного слідкуючого приводу автомобіля з нейро-фаззі регулятором. Із загального обсягу експериментальних даних були створені три додаткові вибірки даних розміром відповідно у 50%, 25% та 12,5% від початкової. Навчання проводилося гібридним методом, який поєднує метод зворотнього поширення помилки з методом найменших квадратів.

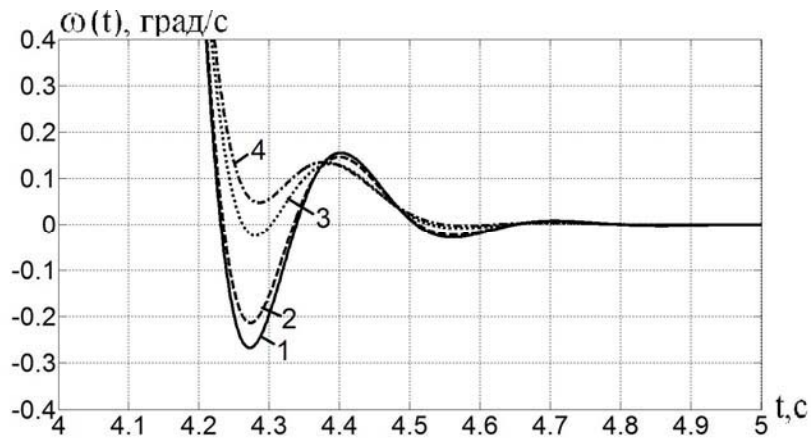
Для регуляторів (рис. 4) у кожному експерименті налаштування та тренування проводилися за однакових умов. По-перше, обиралася запропонована навчальна вибірка. Наступним кроком обирався метод генерування нечіткої структури – Subtractive clustering (генерування системи по методу субтрактивної кластеризації). Проводилися відповідні налаштування методу. 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. Нечіткі регулятори створені з використанням методу субтрактивної кластеризації: 1 – на основі 100 % від загального масиву тренувальних даних; 2 – на основі 50 % від загального масиву тренувальних даних; 3 – на основі 25 % від загального масиву тренувальних даних; 4 – на основі 12,5 % від загального масиву тренувальних даних.



а



б



в

Рисунок 4 – Перехідні процеси замкненої системи електрогідравлічного слідкуючого привода для кутової швидкості об'єкту керування: а – 10 градусів, б – 15 градусів, в – 20 градусів

Цикл навчання проводився впродовж 20 епох. Результати навчання показані на рис. 2. Наприкінці навчання отримано наступні значення нормованої середньоквадратичної помилки: для загального масиву тренувальних даних –  $3,396 \cdot 10^{-6}$ , для 50% даних –  $6,593 \cdot 10^{-6}$ , для 25% даних –  $1,489 \cdot 10^{-5}$ , для 12,5% даних –  $2,248 \cdot 10^{-5}$ .

Також 5% від загальної кількості даних було використано для формування тестової вибірки. Значення нормованої середньоквадратичної помилки склало  $4,429 \cdot 10^{-5}$ .

В результаті проведених експериментів було апробовано роботу побудованих нечітких регуляторів. На рис. 4 представлені перехідні процеси замкненої системи електрогидравлічного слідкуючого привода при обчислених значеннях варійованих параметрів блоку керування для нечітких регуляторів створених з використанням методу субтрактивної кластеризації.

На рис. 4 видно що регулятор тренований на вибірці з 50% даних (крива 2) показує добрі результати, вже для вибраного значення 10 градусів для куту повороту об'єкту керування, зменшуючи показник перерегулювання у порівнянні з першим регулятором (крива 1). Для кутів повороту 15 і 20 градусів показники поліпшуються ще більше. Регулятори що треновані на вибірках у 25 % (крива 3) та 12,5 % (крива 4) значно зменшують перерегулювання та час регулювання. На вибраному значенні 10 градусів кращий регулятор з 25 % вибіркою (крива 3), на більших значеннях регулятор з 12,5 % вибіркою (крива 4). Але відзначимо що регулятор з 25 % вибіркою (крива 3) має помилку регулювання 0,001.

В цілому використання тренувальних даних для навчання нечітких регуляторів в електрогидравлічних слідкуючих системах автомобіля дозволяє значно покращити якість перехідних процесів при регулюванні, а саме, досягти істотного зменшення перерегулювання та зменшення часу регулювання.

**Висновки.** В роботі досліджено якість адаптивних нейро-фаззі регуляторів автомобіля створених на базі методу субтрактивної кластеризації. Використання в електрогидравлічних слідкуючих системах автомобілів інтелектуальних інформаційно-керуючих систем на основі нечіткої логіки, штучних нейронних мереж та методів еволюційного моделювання, дозволяє підвищити енергоефективність, швидкодію, надійність, безвідмовність, довговічність, безпеку використання вищезазначених вузлів та агрегатів автомобіля.

**Список літератури:** 1. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В.И. Гостев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с. 2. Круглов В.В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 221с. 3. Ali H.K. Fuzzy Controller Design of Servo System / H.K. Ali // Asian Journal of Applied Science. – 2011. – P. 403–413. 4. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления / под ред. Н.Д. Егунова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с. 5. Ross T.J. Fuzzy logic with engineering applications / T.J. Ross. – McGraw-Hill, 1995. – 600 p. 6. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с. 7. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления / Н.С. Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с. 8. Ніконов О.Я. Розроблення інформаційно-структурної схеми електрогидравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів /

*О.Я. Ніконов, В.Ю. Улько* // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – № 57. – С. 214–220. **9.** *Ніконов О.Я.* Побудова нелінійної математичної моделі електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів / *О.Я. Ніконов, В.Ю. Улько* // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – № 9. – С. 108–113. **10.** *Ніконов О.Я.* Параметричний синтез інформаційно-керуючої підсистеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів / *О.Я. Ніконов* // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – № 23. – С. 49–54. **11.** *Ніконов О.Я.* Побудова нечітких регуляторів для електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобілів / *О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков* // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – 2012. – № 30. – С. 49–53. **12.** *Ніконов О.Я.* Вплив функції приналежності на якість нечітких регуляторів електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобілів / *О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков* // Радіоелектроніка та інформатика: збірник наукових праць. – 2012. – № 3. – С. 43–47. **13.** *Шуляков В.М.* Аналіз використання методу субтрактивної кластеризації при створенні нечітких регуляторів електрогідравлічних слідкуючих приводів автомобілів / *В.М. Шуляков* // Вісник НТУ «ХПИ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. – № 4(978). – С. 69–73. **14.** *Ніконов О.Я.* Дослідження ефективності нечітких регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля в умовах експлуатації / *О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков* // «Механіка та машинобудування». – НТУ «ХПИ». – Харків. – 2012 № 2. – С. 210–215.

*Надійшла до редколегії 02.04.2013*

УДК 629.33:004.8

**Дослідження якості адаптивних нейро-фаззі регуляторів автомобіля на базі методу субтрактивної кластеризації / О. Я. Ніконов, В. М. Шуляков** // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 10–15. – Бібліогр.: 14 назв.

В статье рассмотрена задача исследования качества адаптивных нейро-фаззи регуляторов автомобиля на базе метода субтрактивной кластеризации. Созданы четыре гибридных регулятора. Для каждого из регуляторов предложена собственная выборка тренировочных данных. Проведено исследование переходных процессов замкнутой системы электрогидравлического следящего привода с разработанными нейро-фаззи регуляторами.

**Ключевые слова:** электрогидравлический следящий привод, автомобиль, нейро-фаззи регулятор, субтрактивная кластеризация, тестовая выборка, тренировочные данные.

The problem of study of the quality of the adaptive neuro-fuzzy controllers of a car based on the subtractive clustering method is analyzed in this article. Four hybrid controllers were created. Own selection of training data for each of the fuzzy controllers is proposed. The research of transient processes of closed system electrohydraulic servo drive with the developed neuro-fuzzy controllers is realized.

**Keywords:** electrohydraulic servo drive, car, neuro-fuzzy controller, subtractive clustering, test selection, training data.