

УДК 629.33

В. М. ШУЛЯКОВ, аспірант ХНАДУ, Харків**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ АДАПТИВНОЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРО-ФАЗЗИ РЕГУЛЯТОРІВ**

У статті розглянута задача підвищення якості та надійності адаптивної підвіски автомобіля в умовах експлуатації на основі використання нейро-фаззи регуляторів. Проведено огляд трьох видів адаптивних підвісок. В різних умовах експлуатації розглянуто використання адаптивних нейро-фаззи регуляторів у системі управління підвіскою. Використання нейро-фаззи регуляторів дозволило покращити якість перехідних процесів при регулюванні.

Ключові слова: адаптивна підвіска, автомобіль, експлуатація, нейро-фаззи регулятор, метод субтрактивної кластеризації, демпфування.

Вступ. В теперішній час використання електронного керування параметрами підвіски автомобіля – жорсткістю і коефіцієнтом демпфування амортизаторів, зміною дорожнього просвіту для оптимальної технічної експлуатації автомобілів є реальною необхідністю.

Такий тип системи підвіски зазвичай називають активним, але під час експлуатації мова йде лише про порівняно повільну адаптацію параметрів підвіски під дорожні умови, виходячи з цього доцільніше називати таку підвіску адаптивною.

Такі системи необхідні для транспортних засобів, які працюють в умовах інтенсивних навантажень, складних умов експлуатації і підвищеної відповідальності механізмів. Також спостерігається інтенсивний розвиток та практичне застосування нечітких систем для управління й регулювання різноманітних технічних об'єктів. Використання нової технології, нечіткого управління, обумовлена тенденцією збільшення складності математичних моделей реальних систем.

Мета досліджень, постановка проблеми. Автомобільний транспорт завжди вважався найбільш небезпечним видом транспорту. Значна увага приділяється проблемам комфорту та безпеки автомобілів. При цьому все більш високі вимоги пред'являються до якості та надійності роботи автомобільних підвісок. Підвіска, поряд з плавністю ходу, впливає на безпеку автомобіля, забезпечуючи контакт його коліс з дорогою. Вдосконалення підвіски автомобіля має важливе значення, тому що якість її роботи значно впливає на експлуатаційні показники автомобіля: такі, як стійкість, надійність, довговічність, прохідність, витрата палива і т.п.

Рішення задачі покращення експлуатаційних характеристик підвісок зазвичай шукалось на шляху демпфування коливань. Однак, якщо нещодавно підвищення ефективності демпфування в підвісці зв'язувалося з удосконалюванням її конструкції в цілому й окремих елементів зокрема, у теперішній час перспективним напрямком стало створення нейро-нечітких систем адаптивного керування підвіскою.

Метою роботи є підвищення якості та надійності адаптивної підвіски автомобіля в умовах експлуатації на основі використання нейро-фаззи регуляторів. Вдосконалення систем адаптивного керування підвіскою автомобіля дозволить підвищити плавності ходу та експлуатаційні показники автомобіля такі як стійкість, надійність, довговічність, прохідність.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Підвіска автомобіля виконує одночасно декілька важливих функцій, від її конструкції і робочих характеристик залежать керованість, стійкість, плавність ходу та інші властивості автомобіля, що визначають його безпеку, комфортність, надійність і економічність. Так, на динамічність, стійкість і керованість автомобіля впливають кінематичні характеристики підвіски.

Надійність автомобіля багато в чому залежить від надійності коліс і підвіски, так як вони знаходяться найближче до дороги і піддаються найважчим умовам експлуатації. Від властивостей підвіски залежить фізіологічний та емоційний стан водія і пасажирів, оскільки вібрації, швидкі й різкі зміни положення тіла сильно стомлюють людину, втома безпосередньо залежить від змін прискорення і частоти коливань.

Властивості підвіски визначаються її характеристиками, основні з яких описують пружність пружини і в'язкість амортизатора в залежності від різних фаз їх руху. У більшості звичайних автомобілів характеристики підвіски вибираються в результаті пошуку компромісу між суперечливими вимогами стійкості, керованості і комфортності. Характеристики підвіски оптимізують з точки зору середньостатистичних умов, в яких працюватиме даний автомобіль. Характеристики таких підвісок не змінюються в процесі експлуатації автомобіля, якщо не враховувати змін, пов'язаних із зношуванням деталей підвіски.

Однак очевидно, що підвіска, оптимізована по всьому діапазону умов експлуатації автомобіля, виявляється неоптимальною в кожній з конкретних поточних дорожніх ситуацій, що відрізняються від розрахункової середньостатистичної. Є й багато інших факторів, від яких можуть залежати бажані оптимальні в поточних умовах характеристики підвіски - прискорення автомобіля, радіус повороту і т.п..

Вже давно з'явилися спроби конструювання таких підвісок, які дозволяли б управляти їх характеристиками вручну або автоматично. Наприклад, водієві надається можливість налаштувати підвіску перед виконанням конкретної поїздки відповідно до її запланованих властивостей. Так, в деяких автомобілях можна змінювати висоту дорожнього просвіту, або жорсткість підвіски, вибираючи з кількох варіантів – спортивна/жорстка підвіска або звичайна/м'яка підвіска. Іноді забезпечується можливість зміни характеристик підвіски вручну безпосередньо в процесі руху автомобіля. Однак такі маніпуляції можуть відволікати водія від керування автомобілем.

Спроби побудови підвісок, параметри яких змінювалися б адаптивно, залежно від деяких поточних умов, привели до появи різних ідей, які можна поділити на три види [1]. Перший вид представлений підвісками, у яких характеристики змінюються в результаті деяких технологічно-механічних рішень. Наприклад, спеціальний пристрій пружинно-листових амортизаторів Roadmaster робить підвіску тим жорсткішою, чим більше вага автомобіля або підвіска Monroe Kinetic, де гідравлічні діагональні зв'язки між підвісками кожного з чотирьох коліс, дозволяють без використання процесорів, датчиків і приводних механізмів «інформувати» кожне колесо про те, що відбувається з іншими, створюючи певне коригуюче зміщення коліс в різних ситуаціях, наприклад, під час поворотів або при наїзді одного колеса на перешкоду. Функціональна різноманітність дій таких підвісок не велика, при цьому потрібна установка додаткового складного технічного устаткування, яке робить машину важче, знижує її надійність.

До другого класу можна віднести підвіски, системи управління яких працюють на основі електронних схем або контролерів, що реалізують значення параметрів

підвіски по деякому детермінованому закону. Такі системи вимагають оснащення підвіски певними датчиками, і виконавчими пристроями. Контролер встановлює фіксоване відображення показників датчиків у заздалегідь визначені команди виконавчим пристроям, які реалізують вказані значення параметрів підвіски. Вочевидь, що таким чином можна реалізувати набагато складніші детерміновані закони управління, ніж за допомогою механічних і гідравлічних пристроїв. Такого роду системи можуть управляти підвіскою набагато більш динамічніше, ніж це може робити людина-водій, і можуть робити це більш точно. Основні проблеми цього класу систем пов'язані як із труднощами побудови точної математичної моделі автомобільної підвіски, так і з необхідністю створення спеціальних виконавчих пристроїв-актуаторів.

Оскільки автоматична система може управляти не тільки вибором з двох-трьох варіантів, але набагато більшим їх числом, то виникає потреба оснастити підвіску такими керованими елементами, які допускали б вибір між великим числом дискретних варіантів параметрів або змін їх континуальних значень. Прикладом таких керованих механізмів, які можна було б використовувати в якості виконавчих пристроїв - актуаторів в підвісці, є амортизатор із змінною в'язкістю. Демпфуюча властивість амортизатора досягається за рахунок того, що при стисненні або розтягуванні амортизатора в ньому здійснюється перекачування рідини з одного резервуара в інший через вузький клапан. Змінюючи діаметр пропускного отвору клапана, можна в широкому діапазоні змінювати характеристику амортизатора. Оскільки не становить великих труднощів зробити клапан з керованим отвором, то такий амортизатор є зручним актуатором. Швидкодія такого актуатора досить висока, вона обмежується можливостями перемикаючого механічного пристрою клапана.

До третього класу можна віднести адаптивні підвіски, управляючі системи яких будуються не на основі математичних моделей, а на основі підходів, характерних для задач аналізу «чорного ящика». Це системи нового покоління, засновані на ідеях автоматичної роботи зі знаннями, самонавчання, з адаптивними системами, що використовують нечітку логіку, нейромережі, гібридні системи і т.п. підходи. Роботи над такими адаптивними підвісками ведуться в даний час в ряді автомобільних компаній, але особливості технології, реалізовані в анонсованих зразках, як правило, не освітлюються.

Розробленню та дослідженню адаптивних регуляторів, побудованих з використанням нейро-фаззи технологій, присвячено ряд робіт [2-5]. В цих роботах показано, що використання нейро-фаззи технологій для управління таких електрогідравлічних систем як система підвіски автомобіля дозволяє підвищити точність та розширити області стійкості такої системи.

Матеріали та результати досліджень. Розглянемо електрогідравлічну слідкуючу систему що працює як за оптимальних так і за неоптимальних умов експлуатації [5-7] з використанням нечітких регуляторів, що описані в роботах [3-4].

За допомогою редактора ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) середовища Matlab синтезовано нечіткій регулятор (рис. 1) для електрогідравлічної слідкуючої системи на основі адаптивної нейро-нечіткої гібридної технології. У експериментах використані наступні методи: метод ґрат з використанням трикутної функції належності, метод субтрактивної кластеризації.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування електрогідравлічного слідкуючого приводу автомобіля з нейро-фаззи регулятором. Навчання проводиться гібридним методом, який поєднує метод зворотнього поширення помилки з методом

найменших квадратів. 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.

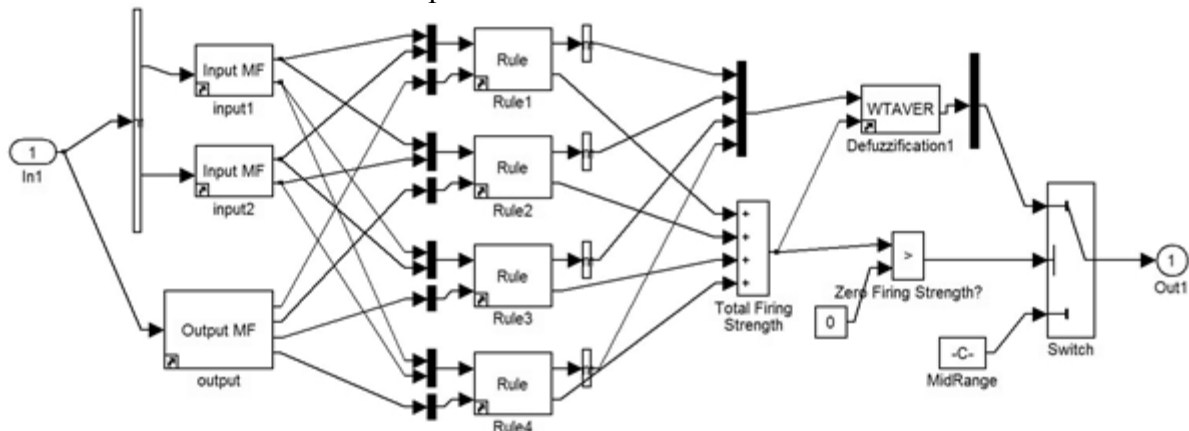


Рисунок 1 – Структурна схема нечіткого регулятора в середовищі MATLAB (Simulink)

В попередніх роботах [6-7] досліджено якість та надійність адаптивних нейро-фаззі регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля в різноманітних умовах роботи. Синтезовано два нейро-фаззі регулятора. Перший регулятор створено з використанням трикутної функції належності, другий з використанням методу субтрактивної кластеризації.

Проведені експериментальні дослідження [3-7] 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.

Висновки. В роботі досліджено підвищення якості та надійності адаптивної підвіски автомобіля в умовах експлуатації на основі використання нейро-фаззі регуляторів. Використання нейро-фаззі регуляторів в адаптивних 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 якість та надійність системи. Вищенаведене дозволить в цілому підвищити надійність, енергоефективність, швидкодію, безвідмовність, довговічність, безпеку використання вузлів та агрегатів транспортних засобів, що надзвичайно важливо для автомобілів, а також швидкохідних транспортних засобів спеціального призначення.

Список літератури: 1. *Жданов А.А.* AdCAS - система автономного адаптивного управління активної підвіскою автомобіля / *А.А. Жданов, Д.Б. Липкевич* // Труды Института системного программирования РАН. Том 7. Новые подходы в нейророботике и основанных на знаниях системах. – М.: ИСП РАН. – 2004. – С. 119–

159. **2.** *Гостев В.И.* Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / *В.И. Гостев.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с. **3.** *Ross T.J.* Fuzzy logic with engineering applications / *T.J. Ross.* – McGraw-Hill, 1995. – 600 p. **4.** *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / *Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с. **5.** *Гамынин Н.С.* Гидравлический привод систем управления / *Н.С. Гамынин.* – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с. **6.** *Никонов О.Я.* Розроблення інформаційно-структурної схеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів / *О.Я. Ніконов, В.Ю. Улько* // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – № 57. – С. 214–220. **7.** *Никонов 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. **8.** *Никонов 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. **9.** *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. **10.** *Никонов О.Я.* Дослідження надійності адаптивних нейро-фаззи регуляторів електрогідравлічних слідкуючих систем автомобіля в умовах експлуатації / *О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков* // Вестник СевНТУ серія «Машиноприборостроение и транспорт». – Севастополь. – 2013. – № 143. – С. 45–48.

Bibliography (transliterated): **1.** Zhdanov, A.A., and D.B. Lipkevich "AdCAS - sistema avtonomnogo adaptivnogo upravlenija aktivnoj podveskoj avtomobilja." Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN. Novye podhody v nejropodobnyh i osnovannyh na znanijah sistemah. № 7. 2004. 119–159. Print. **2.** *Gostev V.I.* Proektirovanie nechetkih reguljatorov dlja sistem avtomaticheskogo upravlenija. SPb.: BHV-Peterburg, 2011. Print. **3.** *Ross T.J.* Fuzzy logic with engineering applications. New York: McGraw-Hill, 1995. Print. **4.** *Rutkovskaja D. M. Pilin'skij and L. Rutkovskij.* Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moscow: Gorjachaja linija-Telekom, 2004. Print. **5.** *Gamynin N.S.* Gidravlicheskij privod sistem upravlenija. Moscow.: Mashinostroenie, 1972. Print. **6.** *Nikonov O.J. and V.J. Ulko* "Rozroblennja informacijno-strukturnoj shemi elektrogidravlichnih slidkujuchih privodiv bagatoci-l'ovih transportnih zasobiv." Vestnik NTU "KhPI ". № 57. 2010. 214–220. Print. **7.** *Nikonov O.J.* "Parametrichnij sintez informacijno-kerujuchoj pidsistemi elektrogidravlichnih slidkujuchih privodiv bagatocil'ovih transportnih zasobiv." Vestnik NTU "KhPI". № 23. 2011. 49–54. Print. **8.** *Nikonov O.J., and V.J. Ulko* "Pobudova nelinijnoj matematichnoj modeli elektrogidravlichnih slidkujuchih privodiv bagatocil'ovih transportnih zasobiv." Vestnik NTU "KhPI". № 9. 2011. 108–113. Print. **9.** *Shuliakov V.M.* "Analiz vikoristannja metodu subtraktivnoj klasterizacii pri stvorenii nechetkih reguljatoriv elektrogidravlichnih slidkujuchih privodiv avtomobiliv." ". Serija "Novi rishennja v suchasnih tehnologijah". № 978.4. 2013. 69–73. Print. **10.** *Nikonov O.J. and V.M. Shuliakov* "Doslidzhennja nadijnosti adaptivnih nejro-fazzi reguljatoriv elektrogidravlichnih slidkujuchih sistem avtomobilja v umovah ekspluatacii." Vestnik SevNTU serija "Mashinopriborostroenie i transport". № 143. 2013. 45–48. Print.

Надійшла (received) 03.03.2014