

Моніторинг автомобільних систем на основі аналізу діагностичних сигналів

Специфіка функціонування різних мехатронних систем сучасного автомобіля дає можливість аналізу діагностичних сигналів (осцилограм) різної природи, які зчитуються з характерних точок діагностики або можуть бути отримані з штатної системи бортової діагностики (OBD). Такий аналіз дозволяє досягнути більш високого рівня автоматизації пошуку причин несправностей при наявності певної кількості отриманих діагностичних параметрів. Тому є важливим удосконалення системи збору, збереження та обробки такого роду діагностичної інформації.

В роботі описаний принцип формування бази даних діагностичних сигналів (осцилограм). Збережені еталонні осцилограми та осцилограми несправностей. Основний підхід тут полягає в тому, що діагностична інформація зберігається як окремі діапазони (фрагменти) осцилограм в вигляді коефіцієнтів поліномів четвертого порядку. Окрім цього база даних містить об'єкти типових діагностичних ознак, діагностичних параметрів та структурних параметрів, а також можливі зміни структурних параметрів – несправності. Між всіма цими об'єктами існують зв'язки «багато до багатьох». Як відомо, при появі характерних несправностей в діагностичних сигналах виникають певні аномалії. Взаємозв'язки між таблицями бази даних характеризують залежності між типовими несправностями та аномаліями фрагментів діагностичних сигналів. Ступінь впливу причин несправностей на поведінку діагностичного сигналу визначається ваговими коефіцієнтами. Визначення і коригування цих коефіцієнтів лежить в основі діагностичної моделі розробленої на основі нейро-нечіткої мережі.

Також описана загальна архітектура моніторингової системи, яка ґрунтується на реалізації підходів щодо автоматизації діагностування із впровадженням інтелектуально-експлуатаційного моніторингу та сучасних ІТ-технологій. Архітектура сформована за принципом трьохрівневої. Кожен рівень інкапсульований і має доступний інтерфейс спілкування. Перший рівень містить моделі сутностей бази даних та функції доступу до бази даних, другий рівень містить всю логіку системи та діагностичні моделі, третій рівень – це рівень візуалізації та спілкування з користувачем.

Ключові слова: автомобіль; діагностичний сигнал; осцилограма; діагностичний параметр; несправність; діагностична модель, база даних.

Постановка проблеми. Сучасний автомобіль в більшості складається з мехатронних систем, специфіка функціонування яких дає можливість візуального контролю електричних сигналів, які поступають від датчиків до електронного блока керування, а також керуючих сигналів – від електронного блока до виконавчих пристроїв. Це сигнали, які можуть контролюватись штатною бортовою системою самодіагностування On Board Diagnostic (OBD). Системи бортової діагностики сучасних автомобілів постійно розвиваються і удосконалюються. На сьогоднішній день це досить чутливі системи, які контролюють понад 100 параметрів, що характеризують роботу окремих мехатронних систем автомобіля і, в більшості випадків, для визначення причин та усунення несправностей достатньо інформації, отриманої за допомогою OBD-сканера.

Проте, досить велика кількість типових несправностей автомобіля не може бути ідентифікована на основі аналізу параметрів OBD. В таких випадках необхідне стендове діагностування, яке виконується на посту діагностики із застосуванням стаціонарного чи переносного діагностичного обладнання з визначенням діагностичних параметрів «стендової групи». Частиною такого діагностування є аналіз діагностичних сигналів (осцилограм) різної природи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методики та технології діагностування автомобілів способом візуального порівняння зчитаних осцилограм з еталонними описані в багатьох наукових роботах. В роботі [1] приведена класифікація діагностичних сигналів та класифікація аномалій сигналів при появі певних несправностей. В роботі [2] показаний принцип «розподіленого» діагностування, який ґрунтується на сегментації сигналів. В роботі [3] описане застосування частотного аналізу діагностичних сигналів для оцінки стану автомобільної підвіски. В роботах [4, 5] описані різні способи ідентифікації несправностей на основі аналізу параметрів діагностичних сигналів. В роботі [9] описані теоретичні основи цифрової обробки сигналів. В роботі [10] визначені основні підходи, на основі яких може бути реалізоване застосування сучасних ІТ-технологій при формуванні архітектури діагностичних систем.

Мета дослідження. В даній роботі звертається увага на структурований підхід, щодо формування архітектури автоматизованої системи, яка направлена на вирішення або подальший розвиток таких задач:

- систематизація основних параметрів осцилограм діагностичних сигналів з метою формування бази даних;
- розробка моделей, які враховують параметри діагностичних сигналів, взаємозв'язки між ними та діагностичними і структурними параметрами;
- розробка загальної архітектури моніторингової системи.

Викладення основного матеріалу. Діагностування на основі аналізу діагностичних сигналів є частиною системи автоматизованого інтелектуально-експлуатаційного моніторингу (АІЕМ) [6]. База осцилограм є частиною загальної бази даних системи АІЕМ. Переважну частину бази осцилограм займають осцилограми роботи різних систем автомобільного двигуна. Алгоритм формування бази осцилограм покажемо на прикладі автомобільного двигуна.

Етап 1. Зчитування осцилограм сигналів.

Вихідними даними при формуванні бази осцилограм є приклади осцилограм, зчитаних з характерних точок діагностики автомобільного двигуна (рис. 1). Осцилограми зчитуються при певному зафіксованому режимі роботи двигуна або при декількох характерних режимах [7]. Режими роботи двигуна поділені на три групи: навантажувальні, швидкісні та температурні. Однакові осцилограми, зчитані при різних режимах роботи двигуна, можуть мати різну форму і різне поведіння. Тому достовірна ідентифікація режиму роботи двигуна має досить важливе значення.

Режими роботи двигуна ідентифікуються за аналізом інформації від датчиків системи керування двигуном. Така інформація може бути отримана з штатної системи бортової діагностики OBD із застосування сканера або безпосереднім приєднанням до відповідних датчиків двигуна із застосування мотор-тестера. Інформація зчитується з таких датчиків: положення і частоти обертання колінчастого вала, положення дросельної заслінки, витратоміра повітря, температури охолоджувальної рідини, температури повітря. На основі цієї інформації визначається поточний режим роботи двигуна.

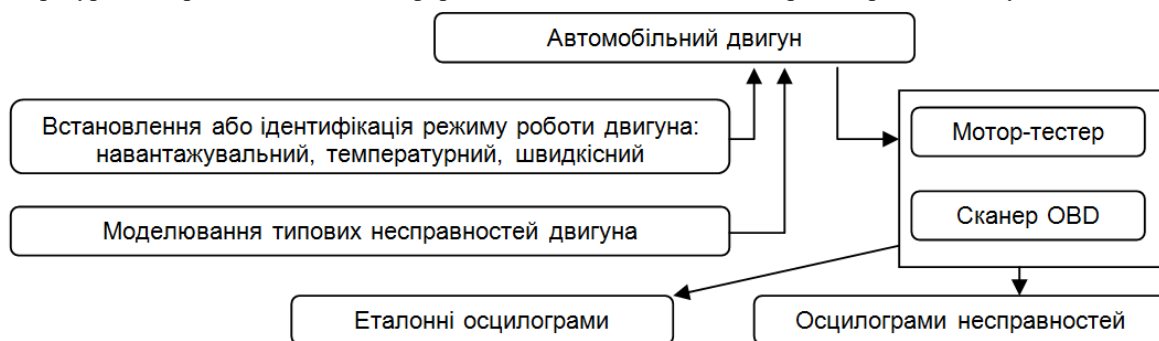


Рис. 1. Зчитування діагностичних сигналів

Для зчитування еталонних сигналів встановлюються необхідні режими роботи. Таких режимів може бути декілька. Це режими при яких найбільш ймовірно проявлення несправностей, які можуть бути ідентифіковані при аналізі даних осцилограм. Отримання осцилограм несправностей може здійснюватись двома способами: 1) примусове моделювання типових несправностей двигуна (за можливістю) і зчитування множини осцилограм на відповідних режимах роботи; 2) отримання осцилограм несправностей у процесі експлуатації автомобіля при його діагностуванні і поповнення бази даних.

На сьогоднішній день в доступних інформаційних ресурсах наявні досить розширені бази еталонних осцилограм та осцилограм несправностей. Тому цю задачу потрібно вирішувати тільки частково. Основне питання, яке розглядається в даній роботі полягає в технології автоматизованої обробки даної інформації.

Етап 2. Цифрова обробка сигналів.

Діагностичні сигнали, які можуть бути зчитані з характерних точок автомобільного двигуна можна умовно поділити на дві групи (рис. 2): 1) сигнали, що характеризують технічний стан механічної частини двигуна (розрідження у впускному колекторі, тиск в циліндрах, кутова швидкість колінчастого вала, напруга АКБ при прокручуванні стартером, тиск в масляній магістралі, тиск відпрацьованих газів, віброакустичні сигнали та ін.); 2) сигнали, що характеризують технічний стан електричної та електронної частини двигуна (сигнали високої та низької напруги системи запалювання, сигнали всіх датчиків системи керування двигуном, сигнали керування виконавчими пристроями, сигнали систем запуску та електропостачання).

Переважає більшість сигналів періодичні, які повторюються з робочими циклами двигуна. Окремі сигнали містять високочастотні складові (наприклад, сигнали напруги системи запалювання).

Сигнали, які не містять високочастотних складових на даному етапі залишаються без змін. Для сигналів із високочастотними складовими необхідно виконати попередню обробку. Для таких сигналів визначаються спектральні характеристики, а саме спектральна щільність потужності (СПЩП) непараметричним методом Уелча [9]. Подальша обробка також поділяється на два напрямки: виявлення аномальних ділянок сигналів першої групи та виявлення змін у спектральних характеристиках сигналів другої групи.

Отримані графіки розглядаються на часовому інтервалі одного робочого циклу двигуна [8]. Графік поділяється на n діапазонів. Кожен діапазон інтерполюється поліномом четвертого порядку. Таким чином один сигнал описується матрицею коефіцієнтів полінома: a_j, b_j, c_j, d_j .

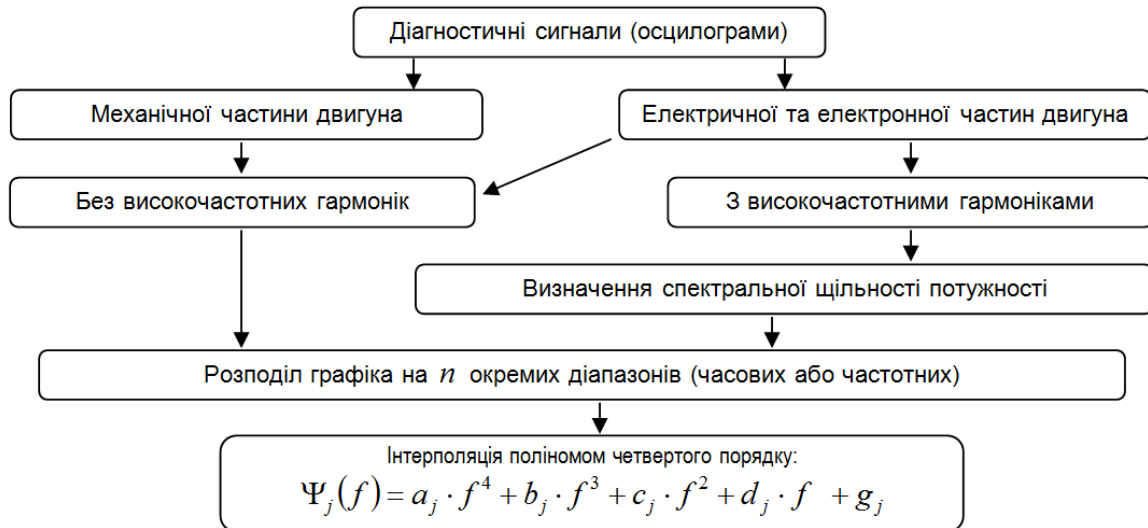


Рис. 2. Обробка діагностичних сигналів для збереження в базі даних

Етап 3. Формування бази даних.

Реляційна база даних системи АІЕМ реалізована в системі керування базами даних MySQL і конфігурована із застосуванням візуального додатка MySQL Workbench. База містить в собі велику кількість таблиць, які можна поділити на окремі категорії: 1) основні таблиці являють собою окремі сутності системи АІЕМ, в тому числі сутності об'єктів експлуатаційного моніторингу (ОЕМ), які в свою чергу поділяються на технічні, організаційні, експлуатаційні та економічні; 2) допоміжні таблиці з'являються у процесі нормалізації бази даних. Вони призначені для розширення основних таблиць і описують окремі їх властивості; 3) логічні таблиці – це динамічні таблиці логічного блоку LogicLayer, які змінюються в процесі роботи системи. Вони повністю автоматизовані і підконтрольні роботі блоку LogicLayer; 4) таблиці зв'язків. Призначені для реалізації зв'язків «багато до багатьох» між різними таблицями бази даних; 5) додаткові таблиці. Містять різну додаткову статичну інформацію.

Одна осцилограма являє собою окрему сутність бази даних, яка описується моделлю DomainModel. Така модель характеризується рядом властивостей, які співставленні з полями таблиць бази даних. До таких властивостей відносяться коефіцієнти поліномів, тип діагностичного сигналу, режим роботи двигуна, на якому отриманий сигнал та ін. Моделі осцилограм мають зв'язки «багато до багатьох» з моделями ознак несправностей, моделями структурних параметрів об'єктів моніторингу, моделями діагностичних параметрів та моделями змін структурних параметрів (несправностей).

Етап 4. Формування архітектури моніторингової системи.

Практична реалізація моніторингу окремої мехатронної системи автомобіля може бути здійснена тільки з формуванням чіткої загальної архітектури моніторингової системи [10]. Раціональний підхід при проектуванні архітектури моніторингової системи це перший досить важливий етап, який є основою її подальшого ефективного функціонування (рис. 3).

Рівень DataLayer. Першим етапом розробки даного рівня є формування множини класів DomainModel. Це моделі які описують основні сутності системи АІЕМ і співставленні з таблицями бази даних, які характеризуються власними властивостями та колекціями об'єктів інших (дочірніх) сутностей.

Даний рівень дає можливість абстрагуватись від структури бази даних та властивостей її таблиць. Основною метою є забезпечення оперування властивостями реальних об'єктів системи АІЕМ, таких як елемент автомобіля, несправність, діагностичний параметр, осцилограма діагностичного сигналу та ін.

На цьому рівні також реалізована технологія доступу до бази даних. Вона може бути реалізована різними способами: реалізація SQL-запитів (Select, Update, Insert, Delete), або використання ORM (Object-relational mapping) із LINQ-запитами, наприклад Entity Framework.

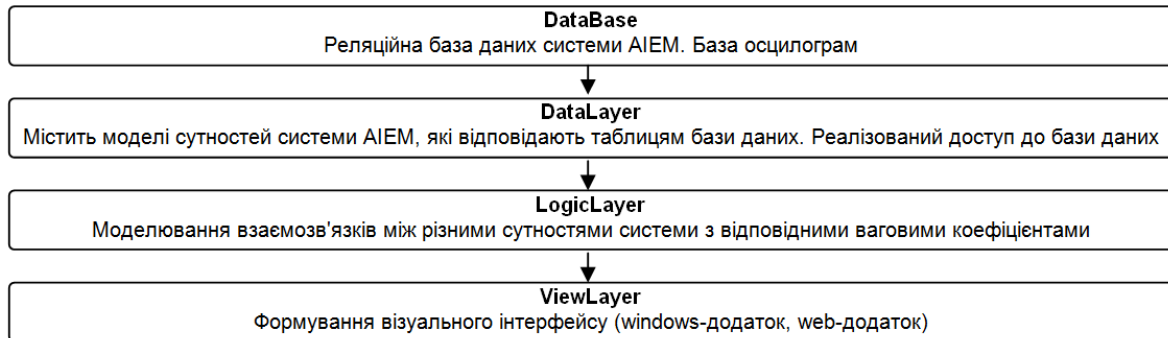


Рис. 3. Архітектура моніторингової системи

Рівень LogicLayer. Даний рівень інкапсулює в собі всю логіку роботи системи АІЕМ. Це найбільш складний рівень, який складається з багатьох модулів формування моделей параметричного та інтелектуального діагностування, розрахункових модулів, модулів прийняття експлуатаційних рішень, модулів самонавчання системи АІЕМ та ін.

Рівень LogicLayer є проміжною ланкою між рівнями DataLayer і ViewLayer. Інкапсуляція даного рівня дає можливість взаємодії з моделями DomainModel рівня DataLayer, а також з рівнем ViewLayer через визначені інтерфейси спілкування.

На даному рівні реалізована модель автоматизованої ідентифікації несправностей на основі аналізу діагностичних сигналів (осцилограм), зчитаних в процесі діагностування. Отриманому сигналу виконується цифрова обробка, як описано вище. Коефіцієнти поліномів досліджуваного сигналу порівнюються з коефіцієнтами, що містяться в базі даних. Таким чином ідентифікується окремий об'єкт осцилограми з бази даних. Це може бути еталонна осцилограма або осцилограма несправностей. Кожен об'єкт осцилограм в базі даних має зв'язки «багато до багатьох» з об'єктами структурних параметрів окремих елементів автомобіля. Об'єкти структурних параметрів характеризуються їх змінами (несправностями). Основною суттю даної діагностичної моделі є визначення вагових коефіцієнтів, які характеризують описані взаємозв'язки. Вагові коефіцієнти визначаються і коригуються в процесі функціонування системи створеною нейро-нечіткою мережею. Такий підхід дає можливість самонавчання системи.

Рівень LogicLayer також відповідає за обробку даних отриманих від рівня ViewLayer. Це дані у вигляді певних команд і запитів. Отримані команди і запити обробляються і через визначений інтерфейс повертаються на рівень ViewLayer.

Реалізація логічних модулів даного рівня можлива із застосування певних мов програмування, таких як C#, PHP, Python та ін. Також можуть бути застосовані інтерактивні програмні продукти, такі як MachCad, MatLab, Simulinc та ін. При цьому необхідно враховувати те, що система повинна бути мультиплатформова, тобто не залежати від операційної системи.

Рівень ViewLayer. Відповідає за спілкування з користувачами системи АІЕМ. Це візуальне відображення процесу роботи системи. Реалізація цього рівня може бути досить різною, але в загальному можна виділити два основних підходи: 1) розробка класичного Windows-додатку на основі Windows Form; 2) розробка WEB-додатку із застосуванням технологій сучасних JavaScript-Framework. В першому випадку ми отримуємо окремий програмний продукт (Desktop), призначений для індивідуального використання. Такий продукт може бути зв'язаний із локальним сервером на персональному комп'ютері або в локальній мережі, а також із WEB-сервером. Другий підхід передбачає використання різних пристроїв: персонального комп'ютера, ноутбука, планшета, смартфона, які зв'язані з мережею INTERNET.

Висновки. Формування структурованої архітектури моніторингової системи, яка ґрунтується на основі бази даних діагностичних сигналів у взаємозв'язку з діагностичними та структурними параметрами автомобіля дає можливість реалізації підходів щодо автоматизації діагностування із впровадженням інтелектуально-експлуатаційного моніторингу та сучасних ІТ-технологій.

Список використаної літератури:

1. Automotive signal fault diagnostics / J.A. Crossman, H.Guo, Y.L. Murphey, J.Cardillo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – P. I: Signal fault analysis, signal segmentation, feature extraction and quasi-optimal feature selection. – 2003. – No. 52 (4). – Pp. 1063–1075.

2. Automotive Fault Diagnosis / Yi Lu Murphey, A.Jacob Crossman, Chen ZhiHang, John Cardillo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – Part II: A Distributed Agent Diagnostic System. – 2003. – Vol. 52. –4. – Pp. 1076–1098.
3. Application of time-frequency analysis to the evaluation of the condition of car suspension / G.M. Szymański, M.Josko, F.Tomaszewski, R.Filipiak // Mechanical Systems and Signal Processing. –2015. – No. 58. – Pp. 298–307.
4. Дубровин В.И. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей : монография / В.И. Дубровин. – Запорожье : ОАО «Мотор-Сич», 2003. – 279 с.
5. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М. : Транспорт, 1991. – 413 с.
6. Кукурудзяк Ю.Ю. Система автоматизованого інтелектуально-експлуатаційного моніторингу технічного стану та експлуатаційних показників автомобілів / Ю.Ю. Кукурудзяк // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ : СНУ ім. В.Даля. – 2012. – № 9 (180), Ч.1. – С. 136–140.
7. Кукурудзяк Ю.Ю. Моніторинг технічного стану автомобіля при різних умовах експлуатації / Ю.Ю. Кукурудзяк // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк: Луцький національний технічний університет. – 2016. – С. 228–231.
8. Кукурудзяк Ю.Ю. Метод автоматизованого діагностування системи запалювання та системи керування автомобільним двигуном : монографія / Ю.Ю. Кукурудзяк, В.М. Ребедайло. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 143 с.
9. Марпл-мл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1990 – 584 с., ил.
10. Фримен Адам Pro ASP.NET Core MVC / Адам Фримен ; пер. с англ. – СПб. : ООО «Альфа-книга». – 2017 – 992 с.

References:

1. Crossman, J.A., Guo, H., Murphey, Y.L. and Cardillo, J. (2003), «Automotive signal fault diagnostics», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, P. I: Signal fault analysis, signal segmentation, feature extraction and quasi-optimal feature selection, No. 52 (4), Pp. 1063–1075.
2. Murphey, Yi Lu, Jacob0 A. Crossman, ZhiHang, Chen and Cardillo, John (2003), «Automotive Fault Diagnosis», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, P. II: A Distributed Agent Diagnostic System, Vol. 52, No. 4, pp. 1076–1098.
3. Szymański, G.M., Josko, M., Tomaszewski, F. and Filipiak, R. (2015), «Application of time-frequency analysis to the evaluation of the condition of car suspension», *Mechanical Systems and Signal Processing*, No. 58, Pp. 298–307.
4. Dubrovyn, V.Y. (2003), *Yntellektual'nye sredstva dyagnostyky y prognozy-rovanyja nadezhnomy avyadvygatelej*, monografyja, ОАО «Motor-Sych», Zaporozh'e, 279 p.
5. Kuznecov, E.S. (1991), *Tehnycheskaja ekspluatacyja avtomobylej*, Transport, M., 413 p.
6. Kukurudzjak, Ju.Ju. (2012), «Systema avtomatyzovanogo intelektual'no-ekspluatacijnogo monitoryngu tehničnogo stanu ta ekspluatacijnyh pokaznykiv avtomobiliv», *Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu*, SNU im. Volodymyra Dalja, Lugans'k, No. 9 (180), P. 1, pp. 136–140.
7. Kukurudzjak, Ju.Ju. (2016), «Monitoryng tehničnogo stanu avtomobilja pry riznyh umovah ekspluatacij», *Mizhvuzivs'kyj zbirnyk «Naukovi notatky»*, Luc'kyj nacional'nyj tehničnyj universytet, Luc'k, Pp. 228–231.
8. Kukurudzjak, Ju.Ju. and Rebedajlo, V.M. (2010), *Metod avtomatyzovanogo diagnos-tuvannja systemy zapaljuvannja ta systemy keruvannja avtomobil'nyj dvygunom*, monografija, VNTU, Vinnycja, 143 p.
9. Marpl-ml, S.L. (1990), *Cyfrovoy spektral'nyj analiz y ego prylozhenija*, translate by English, Myr, M., 584 p., yl.
10. Frymen, Adam (2017), *Pro ASP.NET Core MVC*, translate by English, ООО «Al'fa-knyga», SpB., 992 p.

Кукурудзяк Юрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- інтелектуальні методи підвищення ефективності технічної експлуатації автомобілів;
- методи і способи діагностування та обслуговування автомобілів із застосуванням комп'ютерного обладнання та сучасних інформаційних технологій;
- електричне, електронне та мехатронне обладнання автомобілів.

Тел.: +38 (043) 259–84–38;

+38 (097) 792–79–55.

E-mail: uk34@ukr.net.

Галушак Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- використання альтернативних видів палив, в якості палива для двигунів автомобілів;
- електричне, електронне та мехатронне обладнання автомобілів.

Тел.: +38 (097) 283–84–62.

E-mail: galuschak.d@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2018.