

## **МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА**

*Описано загальний алгоритм ідентифікації несправностей автомобільного двигуна в системі автоматизованого інтелектуально-експлуатаційного моніторингу. Визначено основні етапи підготовки збору та обробки моніторингової інформації. Запропоновано модель автоматизованої ідентифікації несправностей двигуна, що ґрунтується на інтелектуальних методах обробки інформації.*

**Постановка проблеми** Діюча планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту автомобілів має ряд загальновідомих недоліків [1]. Більш ефективною і перспективною є система ТО і ремонту "за станом", яка потребує постійного потоку інформації про технічний стан автомобілів. Окрім цього, інтенсивний розвиток і ускладнення конструкції транспортних засобів в напрямку впровадження електронних та мехатронних систем формують нові вимоги та підходи до визначення їх технічного стану [1, 2]. Науково-прикладна проблема полягає в удосконаленні методів і способів отримання діагностичної інформації в напрямку їх автоматизації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи, засоби та технології діагностування автомобільних двигунів за останні десятиліття суттєво удосконалились. Цій тематиці присвячена досить велика кількість робіт [1, 2, 4]. В існуючих наукових роботах багато уваги приділено застосуванню сучасного комп'ютерного діагностичного обладнання, інформаційних та комунікаційних технологій, використання інформації системи бортової діагностики автомобіля (OBD). Але разом з цим можна констатувати той факт, що на сьогоднішній день не існує чіткої науково обґрунтованої думки (чи розробленої системи), яка б задовольняла сучасні вимоги щодо автоматизації визначення технічного стану двигуна і його систем.

**Метою даної роботи** є розробка моделі діагностування автомобільного двигуна, яка забезпечить ідентифікацію несправностей в автоматизованому режимі в процесі моніторингу на основі діагностичної інформації отриманої з бортової системи OBD, розширення інформаційного поля та застосування інтелектуальних методів обробки даних в умовах обмеженої інформації.

**Матеріали і результати дослідження.** Система автоматизованого інтелектуально-експлуатаційного моніторингу (АІЕМ) [3] передбачає ТО і ремонт автомобілів "за станом" і направлена на допомогу прийняття оперативних коректних експлуатаційних рішень щодо можливості подальшої експлуатації або необхідності певних технічних втручань. Вона є об'єктно-орієнтованою. Елементами системи є об'єкти експлуатаційного моніторингу (ОЕМ). Перелік ОЕМ включає в себе автомобілі в цілому, їх складові та всі структурні елементи підприємства які забезпечують функціонування та підтримання роботоздатності транспортних засобів.

Розглянемо один з найбільш складних об'єктів експлуатаційного моніторингу – автомобільний двигун, який являє собою складну динамічну технічну систему. Конструкція автомобільного двигуна постійно удосконалюється і ускладнюється, але перелік його основних систем і механізмів залишається незмінним. Ці системи і механізми можуть бути прийняті як ОЕМ певного відповідного рівня.

Повний період експлуатації автомобільного двигуна триває від початку його експлуатації (новий двигун) до повного вичерпання ресурсу, списання і розукомплектування. Період експлуатації двигуна в окремо взятого власника (підприємства, приватної особи) може бути різним. Початок експлуатації не обов'язково відповідає стану нового двигуна, а завершення експлуатації не завжди співпадає зі списанням. Це стосується придбаних автомобілів, що були в експлуатації і говорить про те, що технічний стан двигуна на початку експлуатації різний і в більшості не відомий. Ефективність та тривалість експлуатації автомобіля в цілому та двигуна, як окремої його складової, безпосередньо залежать від правильної організації процесу підтримання їх роботоздатності з мінімальними затратами.

Одним з найбільш важливих факторів ефективного підтримання роботоздатності автомобільного двигуна є забезпечення постійного потоку достовірної інформації про його технічний стан та стан системи, яка забезпечує роботоздатність. Така інформація може бути отримана шляхом автоматизованого експлуатаційного моніторингу або разових діагностичних втручань. В системі АІЕМ це описується як процес "Моніторинг" та процес "Стендове діагностування". Разові поглиблені діагностичні процедури виконуються на постах діагностики або обслуговування і направлені на визначення певної кількості діагностичних параметрів. Система АІЕМ не передбачає обов'язкового виконання таких процедур. Вони можуть виконуватись тільки за необхідності.

Процес "Моніторинг" складається з трьох основних складових: моніторинг діагностичних параметрів, моніторинг технічного стану та експлуатаційний моніторинг, які здійснюються автоматизовано,

постійно і послідовно. Розглянемо першу складову, яка включає в себе процедуру ідентифікації несправностей. Загальний алгоритм ідентифікації показаний на рис. 1.

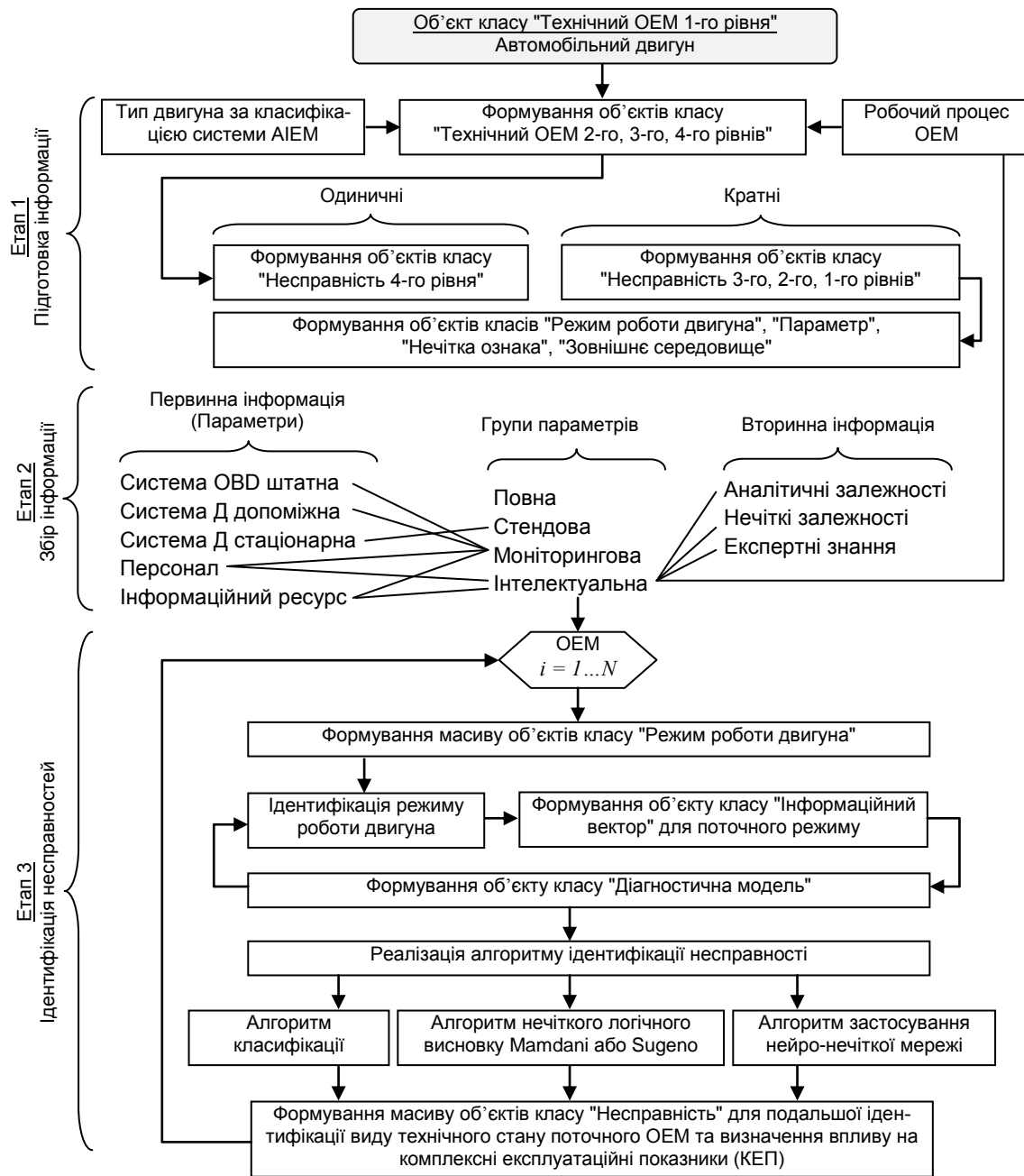


Рис. 1. Загальний алгоритм ідентифікації несправностей автомобільного двигуна

На першому етапі проводиться попередня підготовка інформації, що знаходиться в базі знань. Виконується розподіл двигуна на OEM нижчих рівнів. Клас "ОЕМ 1-го рівня" є базовим технічним класом, який характеризує об'єкти, що являють собою основні частини автомобіля: двигун, трансмісію, ходову частину, рульове керування та гальмівну систему. Кожна частина автомобіля формується як об'єкт успадкованого класу з відповідними властивостями і методами. Автомобільний двигун є одним із об'єктів успадкованого класу "ОЕМ 1-го рівня". Властивості цього класу дають можливість визначити тип двигуна за відповідною класифікацією системи АІЕМ.

Класифікація автомобільних двигунів у системі АІЕМ дещо відрізняється від загальноприйнятих. Вона є ієрархічною і орієнтованою на взаємодію із діагностичними моделями. Основною метою визначення типу двигуна є забезпечення можливості реалізації ієрархічно структурованих алгоритмів ідентифікації режимів роботи, умов експлуатації, несправностей, технічного стану та технічних дій.

В даній роботі для дослідження прийнято 4-циліндровий, 16-клапанний двигун з розподіленим впорскуванням бензину, пасовим приводом ГРМ, системою запалювання з "холостою" іскрою, класичною системою впуску повітря. Розподіл двигуна на технічні OEM нижчих рівнів здійснюється у взаємозв'язку з ієрархічною структурою класифікації двигунів. Система АІЕМ передбачає чотири рівні OEM. Перший рівень – двигун в цілому; другий рівень – системи двигуна в комплексі (всього 4 OEM другого рівня: КШМ і ГРМ, СМ і СО, СКД, електрообладнання); третій рівень – окремі вузли, механізми, групи деталей (всього 12 OEM третього рівня); четвертий рівень – окремі деталі або спряження деталей (всього 68 OEM третього рівня). Кожен об'єкт певного рівня OEM є об'єктом відповідного успадкованого класу. Основними властивостями таких класів є відповідні масиви параметрів, несправностей, технічних дій, діагностичних моделей.

На другому етапі здійснюється збір необхідної інформації. Ця інформація автоматизовано і постійно поступає до центрального сервера системи АІЕМ через сучасні засоби комунікації (Wi-Fi, Internet). Основним джерелом первинної інформації є штатна система ОВД автомобіля. За необхідності автомобіль може доповнюватись додатковою системою збору інформації. Розширення інформаційного поля здійснюється так званним блоком інтелектуальної інформації. Таким чином формуються чотири групи параметрів: повна, стендова, моніторингова та інтелектуальна. Для процесу "Моніторинг" використовуються моніторингова та інтелектуальна групи.

Третій етап здійснюється також постійно і автоматизовано в центральному сервері системи АІЕМ відповідним програмним забезпеченням. Несправності ідентифікуються почергово для кожного OEM двигуна. Отримані групи параметрів характеризуються належністю до певного режиму роботи двигуна та зовнішніх умов. Клас "Режим роботи двигуна" характеризується властивостями, які дають можливість автоматично ідентифікувати необхідний режим у процесах "Моніторинг" або "Стендове діагностування". Кількість і номенклатура режимів роботи чітко визначені для кожного OEM і забезпечують максимально можливий потік первинної інформації (об'єктів класу "Параметр") для формування об'єктів класу "Діагностична модель". Ідентифікація режимів роботи двигуна у процесі "Моніторинг" здійснюється автоматизовано. У процесі "Стендове діагностування" необхідні режими роботи двигуна можуть моделюватись.

Клас "Несправність" для автомобільного двигуна в цілому містить досить велику кількість об'єктів, тому їх послідовний аналіз під час діагностування складає вагомі труднощі, а в більшості він не можливий. В процесі формування бази знань досить важливим є класифікація та групування несправностей, створення ієрархічної структури.

Клас "Несправність" має властивість "рівень". Система АІЕМ передбачає чотири рівні несправностей. Кожен рівень відповідає рівню OEM двигуна. Несправності четвертого рівня відносяться до категорії "Одиничні", а несправності вищих рівнів – до категорії "Кратні". Одиничними вважаються елементарні несправності, які умовно не можуть бути представлені сукупністю інших несправностей. Кратна несправність являє собою сукупність деякої кількості одиничних несправностей [4]. Кожен OEM 4-рівня характеризується одномірним масивом можливих одиничних несправностей:

$$MH_i^4 = \{H_{i1}^4, H_{i2}^4, \dots, H_{in}^4\}, \quad (1)$$

де  $H_{in}^4$  – одинична несправність 4-го рівня.

Кожен OEM 3-го рівня характеризуються одномірним масивом кратних несправностей або двохмірним масивом одиничних несправностей.

$$MH_i^3 = \{H_{i1}^3, H_{i2}^3, \dots, H_{in}^3\} = \{MH_{i1}^4, MH_{i2}^4, \dots, MH_{in}^4\};$$

$$MH_i^3 = \left\{ \begin{array}{l} H_{11}^4(a_{11}^4), H_{12}^4(a_{12}^4), \dots, H_{1n}^4(a_{1n}^4) \\ H_{21}^4(a_{21}^4), H_{22}^4(a_{22}^4), \dots, H_{2n}^4(a_{2n}^4) \\ \dots \\ H_{m1}^4(a_{m1}^4), H_{m2}^4(a_{m2}^4), \dots, H_{mn}^4(a_{mn}^4) \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де  $H_{in}^3$  – одинична несправність 3-го рівня;

$a_{nm}^4$  – ваговий коефіцієнт, що характеризує ступінь впливу несправності 4-го рівня на несправність третього рівня.

Діагностична модель кожного OEM відповідного рівня розробляється з метою встановлення взаємозв'язку між масивом об'єктів класу "Параметр", які відносяться до моніторингової або інтелектуальної групи даного OEM та об'єктів класу "Несправність".

Діагностичні моделі нижчих рівнів дають можливість визначення безпосередньо причин виникнення несправностей, що дозволяє чітко визначити необхідність виконання певних технічних дій. Чим нижчий рівень OEM для якого розробляється діагностична модель, тим точніше може бути визначений перелік технічних дій. Але для OEM 4-го рівня (окремі деталі або спряження деталей) розробка діагностичних моделей складає вагомий труднощі з причини утрудненого отримання інформаційного потоку і формування масиву об'єктів класу "Параметр" в процесі "Моніторинг". Параметри, що характеризують технічний стан OEM 4-го рівня в переважній більшості можуть бути визначені тільки при частковому розбиранні двигуна, або в деяких випадках в процесі "Стендове діагностування".

Основу розробки діагностичних моделей складають OEM 3-го рівня (окремі вузли, механізми, групи деталей). При розподілі двигуна на OEM третій рівень формується таким чином, щоб кожному OEM цього рівня відповідав масив об'єктів класу "Параметр" моніторингової та інтелектуальної груп. Кількість та діагностична цінність елементів цього масиву повинна давати можливість ідентифікації несправностей 3-го рівня та ідентифікації виду технічного стану даного OEM з необхідним рівнем достовірності.

В загальному модель ідентифікації несправностей для OEM третього рівня можна представити в такому виді:

$$MH_{i=1..N}^3(H_{i1}^3, H_{i2}^3, \dots, H_{in}^3) = F \left\{ \begin{array}{l} P_1^1(k_1^1), P_2^1(k_2^1), \dots, P_m^1(k_m^1) \\ P_1^2(k_1^{21}), P_2^2(k_2^{21}), \dots, P_m^2(k_m^{21}) \\ \dots \\ P_1^z(k_1^z), P_2^z(k_2^z), \dots, P_m^z(k_m^z) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість OEM 3-го рівня;

$n$  – кількість несправностей 3-го рівня в поточному OEM;

$z$  – кількість режимів роботи двигуна на яких доцільно і можливо отримувати діагностичну інформацію для поточного OEM;

$P_m^z$  – об'єкт класу "Параметр" для режиму роботи двигуна  $z$  ;

$m$  – кількість параметрів моніторингової та інтелектуальної груп, що характеризують поточний OEM;

$k_m^z$  – ваговий коефіцієнт залежності параметра  $P_m^z$  від несправності  $H_{in}^3$  на режимі роботи двигуна  $z$  .

Окремий рядок матриці (3) являє собою інформаційний вектор певної несправності на певному режимі роботи двигуна. Кількість режимів роботи двигуна для різних несправностей є різною, а отже різною є і кількість інформаційних векторів. Новий інформаційний вектор додається до масиву в тому випадку, якщо він відрізняється від існуючих переліком параметрів, їх кількістю або значеннями, які по різному інтерпретують наявність несправності чи її відсутність.

Ідентифікація несправностей для OEM 2-го і 1-го рівнів здійснюється шляхом реалізації відповідностей та ступені впливу несправностей 3-го рівня на несправності вищих рівнів.

Залежність (3) є основою для реалізації алгоритмів ідентифікації несправностей окремих OEM двигуна. Вибір того чи іншого алгоритму для окремого OEM залежить від повноти інформаційного вектора несправності, що ідентифікується та діагностичної цінності його елементів. В системі АІЕМ передбачено три алгоритми ідентифікації несправностей: 1) алгоритм класифікації; 2) алгоритм нечіткого логічного висновку Mamdani або Sugeno; 3) алгоритм застосування нейро-нечіткої мережі. В межах даної статті детальне описання реалізації алгоритмів не передбачене.

Кожен об'єкт класу "Несправність" у свої властивостях містить масиви об'єктів класу "Технічна дія". Клас "Технічна дія" містить об'єкти, що відповідають всім можливим роботам обслуговування та ремонту відповідного OEM, які передбачені заводом-виробником, нормативно-технічною та сервісною документацією. Вибір певного оптимального переліку об'єктів класу "Технічна дія" є основою формування об'єктів класу "Експлуатаційне рішення" і основною метою моделей прийняття експлуатаційних рішень в системі АІЕМ. Властивості класу "Технічна дія" характеризують досить велику кількість взаємозв'язків з властивостями успадкованих класів організаційних OEM, таких як "Підприємство", "Персонал", "Виробничий підрозділ", "Робочий пост", "Робоче місце", "Обладнання".

**Висновки.** Ідентифікація несправностей OEM різних рівнів є одним з перших етапів реалізації автоматизованого інтелектуально-експлуатаційного моніторингу автомобільного двигуна і автомобіля в цілому. На цьому етапі в автоматизованому режимі встановлюється факт наявності чи відсутності неспра-

вностей для всіх OEM двигуна, що є основою ідентифікації виду технічного стану відповідного OEM. Наступні етапи передбачають визначення впливу певних несправностей OEM двигуна на комплексні експлуатаційні показники, що характеризують надійність, ефективність, вплив на навколишнє середовище та безпеку руху. Значення комплексних експлуатаційних показників є основою моделей допомоги прийняття експлуатаційних рішень.

#### Список використаної літератури:

1. *Волков В.П.* Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем: монография / Под редакцией *В.П. Волкова; В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов, П.Б. Комов, И.В. Грищук, Ю.В. Волков, Е.А. Комов.* – Донецк: Изд-во "Ноулидж" (донецкое отделение), 2013. – 398 с.
2. *Говорущенко Н. Я.* Системотехника транспорта (на примерах автомобильного транспорта). В 2-х частях / *Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко.* – Харьков : РИО ХГАДТУ, 1998. – Т.1 – 255 с.; – Т.2 – 219 с.
3. *Кукурудзяк Ю.Ю.* Система автоматизованого інтелектуально-експлуатаційного моніторингу технічного стану та експлуатаційних показників автомобілів / Вісник Східноукраїнського національного університету / Науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. Володимира Даля. – 2012. – №9(180), частина 1. – С. 136–140.
4. Основы технической диагностики. Кн. 1: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. *П.П. Пархоменко.* – М. : Энергия, 1976. – 464 с.

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

Наукові інтереси:

- технічна експлуатація автомобілів;
- інтелектуальні методи та інформаційні технології в діагностуванні і обслуговуванні автомобілів;
- вдосконалення технологічних процесів та організації ТО і Р автомобілів;
- електричне, електронне та мехатронне обладнання автомобілів.

Тел.: роб. (0432)59-84-38; дом. (0432)27-70-03; моб. (097) 792-79-55.

E-mail: uk34@ukr.net

**Кукурудзяк Ю.Ю.** Модель ідентифікації несправностей автомобільного двигуна

**Кукурудзяк Ю.Ю.** Модель идентификации неисправностей автомобильного двигателя

**Kukurudzyak Yu.** The identification model of the automobile engine disrepairs

УДК 629.3.083

**Модель идентификации неисправностей автомобильного двигателя / Ю.Ю. Кукурудзяк**

Описаны общий алгоритм идентификации неисправностей автомобильного двигателя в системе автоматизированного интеллектуально-эксплуатационного мониторинга. Определены основные этапы подготовки, сбора и обработки мониторинговой информации. Предложена модель автоматизированной идентификации неисправностей двигателя, основанной на интеллектуальных методах обработки информации.

УДК 629.3.0837

**The identification model of the automobile engine disrepairs / Kukurudzyak Yu.**

We describe a general algorithm for identifying car engine disrepairs in a automated intellectual operational monitoring system. The main stages of the preparation, collection and processing of monitoring information. We propose a model for the automated identification of engine disrepairs based on intelligent information processing methods.