

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Автомобільний факультет

НАУКОВІ ПРАЦІ

**88-ї Міжнародної
наукової конференції
студентів університету**

30 березня - 3 квітня 2026 р.
(Посвідчення УкрІНТЕІ від 11 грудня 2025 року № 977)



Харків, 2026

УДК 001.891:378

Л 47

**Рекомендовано до друку вченою радою автомобільного факультету
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
(Протокол № 9/26 від 18 травня 2026 року)**

Редактори: Д.М. Леонтєв, О.В. Воропай, О.В. Біловол

Відібрані наукові праці 88-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету від 23 березня – 03 квітня 2026 р. м. Харків, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Л 47 Наукові праці 88-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету від 23 березня – 03 квітня 2026 року / Редактори: Д.М.Леонтєв, О.В. Воропай, О.В. Біловол – Харків: ФОП Бровін О.В., 2026. – 410 с.

ISBN

Наукові праці учасників 88-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, присвячені актуальним проблемам сучасної науки, техніки, освіти та інноваційного розвитку. Матеріали охоплюють широкий спектр наукових напрямів, зокрема фундаментальні та прикладні дослідження, інформаційні технології, інженерію, природничі й гуманітарні науки.

У публікаціях висвітлено результати наукових пошуків здобувачів, сучасні підходи до розв'язання теоретичних і практичних задач, а також перспективи подальшого розвитку наукових досліджень і міждисциплінарної співпраці.

Збірка призначена для здобувачів освіти бакалаврського, магістерського рівня вищої освіти, а також для аспірантів, викладачів, науковців та всіх, хто цікавиться сучасними тенденціями розвитку науки й освіти.

УДК 001.891:378

© Д.М. Леонтєв, О.В. Воропай, 2026

© ХНАДУ, 2026

ЗМІСТ

Секція 1. АВТОМОБІЛІ

Білоус Г.	11
Тенденції розвитку автомобільного газобалонного обладнання	
Гольцев О.	15
Несуча система автомобіля	
Гончаров П.	21
Перспективи розвитку електропневматичних гальмівних систем вантажних автомобілів	
Грабар А.	26
Аналіз впливу форми кузова автомобіля на коефіцієнт аеродинамічного опору	
Дехтяр А.	33
Порівняльний аналіз дискових і барабанних гальм транспортних засобів	
Доценко І.	43
Конструктивні особливості сучасних автоматичних коробок передач	
Єнютін Ю.	49
Аналіз конструкцій головної передачі	
Коркунов А.	54
Використання штучного інтелекту в автомобілях	
Мазелюк П.	61
Аналіз впливу температури навколишнього середовища на запас ходу електромобіля	
Осінний В.	64
Конструктивні особливості рульових механізмів сучасних автомобілів	
Петрук Д.	70
Електронні системи керування ДВЗ	
Письменний М.	77
Коливання підресорених та непідресорених мас транспортного засобу категорії N2 при наїзді його коліс на одиничну перешкоду	
Ророг В.	87
Сучасні тенденції розвитку електромобілів	

Семикопний Р.	91
Пасивна безпека автомобіля	

Тонкашев С.	97
Використання водневих паливних елементів у транспортних засобах	

Якушко Д.	103
Вплив аеродинаміки на ефективність автомобіля	

Секція 2. ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ І СЕРВІС НА ТРАНСПОРТІ

Алейніков М.	110
Оцінка витрат енергоносіїв гібридними автомобілями в умовах експлуатації	

Бірченко М.	112
Методика визначення електромагнітного випромінювання електромобіля	

Бреславець В.	115
Дослідження взаємодії легкового автомобіля з повноопорним стендом при гальмівних випробуваннях	

Власов С.	119
Зниження викидів відпрацьованих газів бензиновими двигунами	

Гергіль Д.	122
Дослідження процесу гальмування автомобіля під час руху по криволінійній траєкторії	

Глушан А.	125
Метод діагностування тягової акумуляторної батареї	

Глушко І.	127
Удосконалення обслуговування ходової частини легкового автомобіля	

Гризлов Д.	129
Дослідження тягово-швидкісних властивостей електромобілів	

Гур'єв Д.	133
Труднощі зимового пуску дизельних двигунів	

Дворічанський В.	135
Особливості аеродинамічного розрахунку параметрів мікроклімату в салоні автомобіля	

Захарченко Д.	139
Дослідження технічного стану елементів ходової частини легкового автомобіля	
Зінченко Д.	141
Несправності лямбда-зонда	
Зосімов М.	143
Особливості вимірювання параметрів тягових властивостей автомобілів на роликовому стенді	
Зубко Я.	146
Аналіз методів та засобів діагностування гальмівної системи легкового автомобіля	
Капацій А.	148
Оцінка паливної економічності автомобілів з бензиною паливною системою	
Кожушко В.	151
Дослідження можливості збільшення приведеної інерційної маси роликового стенда	
Косінов М.	157
Спосіб вимірювання часу спрацьовування на інерційному роликовому стенді	
Кукленко Д.	163
Діагностування автоматичних коробок передач	
Лещенко О.	166
Дослідження роботи двигуна автомобіля працюючого на сумішевому паливі	
Лустік І.	170
Особливості технічного обслуговування електромобілів та гібридних транспортних засобів	
Медведь М.	172
Забезпечення ресурсу автоматичних коробок передач гібридних легкових автомобілів	
Міщенко І.	177
Особливості діагностування двз гібридної силової установки	
Модало О.	180
Інженерні рішення для підвищення енергоефективності автомобілів під час експлуатації	

Мокрий Д.	182
Діагностування автомобілів з автоматичною коробкою передач	
Мусієнко І.	184
Електропровідність традиційних антифризів, представлених на ринку УКРАЇНИ	
Орел В.	188
Порівняльна оцінка експлуатаційних властивостей автомобілів з альтернативними джерелами енергії	
Осадчий С.	192
Дослідження зміни діелектричної властивості моторної оливи при експлуатації автобусів	
Островерх В.	196
Застосування інформаційних технологій під час сервісного обслуговування автомобілів	
Остроушко Б.	200
Діагностування ходової частини автомобіля	
Павленко Б.	203
Оцінка паливної економічності автомобілів з дизельною паливною системою	
Пашенко Д.	205
Особливості розрахунку приведеної інерційної маси роликового стенду	
Рудінчук М.	209
Дослідження курсової стійкості легкових автомобілів при гальмуванні	
Сазонов Р.	213
Перспектива використання альтернативних джерел енергії на автомобільному транспорті	
Сахаров П.	215
Дослідження інформаційних систем контролю технічного стану вузлів і агрегатів легкових автомобілів VOLKSWAGEN	
Світличний Р.	218
Вплив цифровізації СТО на якість та швидкість обслуговування клієнтів	
Симивол М.	220
Дослідження зміни ефективності гальмування легкових автомобілів VOLKSWAGEN в процесі експлуатації	

Скиба О.	224
Дослідження паливної економічності і екологічних показників автомобілів, що працюють на альтернативному паливі	
Спорнік Д.	229
Екологічні стандарти ЄВРО-6 та їх вплив на систему технічного обслуговування автомобілів	
Стогній Д.	231
Порівняльна оцінка якості чистих охолоджувальних рідин легкових автомобілів	
Стрілець Я.	235
Дослідження впливу викидів шкідливих речовин що містяться у відпрацьованих газах автомобілів на людину	
Туркін І.	237
Дослідження зміни фізико-хімічних властивостей моторної оливи при експлуатації автомобіля «FORD FOCUS»	
Філяєв Д.	242
Дослідження робочих процесів двигуна автомобіля, що працює на альтернативному паливі	
Харченко О.	245
Дослідження робочих процесів активної системи безпеки автомобіля та її технічне обслуговування	
Хворост С.	248
Прогнозування залишкового ресурсу гібридної силової установки автомобіля	
Чирков Д.	250
Дослідження зміни характеристик гальмівних систем легкових автомобілів VOLKSWAGEN в процесі експлуатації	
Чурілов В.	253
Аналіз підсилювачів рульового управління	
Шаруда Г.	255
Дослідження впливу енергонавантаження на знос гальм легкових автомобілів VOLKSWAGEN в процесі експлуатації	
Шевченко Д.	258
Дослідження впливу конструктивних особливостей на процес гальмування автомобіля класу С	

Шевченко Д.	263
Дослідження систем керування двигуном легкових автомобілів VOLKSWAGEN	
Шемет Е.	266
Дослідження і напрямки покращення екологічної безпеки	
Яровий О.	270
Математичне моделювання енергетичних характеристик привода гібридних легкових автомобілів	
Ярцев Д.	274
Дослідження зміни продуктів зносу в моторній оливі при експлуатації автобуса VAN HOOL	

Секція 3. ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Жуйборода К.	277
Застосування на двигуні VOLKSWAGEN GOLF з безпосереднім порскуванням бензину різних способів сумішоутворення	
Льорчик В., Нікітченко В., Чірва А.	282
Застосування двигуна Стірлінга для транспортного засобу	
Ронзик І.	286
Застосування гібридної силової установки на легковому автомобілі	
Савич В., Савченко І., Санін В.	290
Гібридна силова установка на базі двигуна Стірлінга	

Секція 4. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І РЕМОНТУ МАШИН

Костенко Ю., Соловйова Н.	295
Формування педагогічної компетентності у менеджера системи управління якістю	
Пашенко А.	296
Розвиток експериментальних методів дослідження напружено-деформованого стану автотракторних коліс	
Свільонок Д.	298
Дослідження причини аварійних відмов двигуна KM385BT	
Kozlov Y.	299
Analysis of international experience in assessing compliance with safety requirements of changes made to the design of a vehicle, including those in operation	

Секція 4. ДЕТАЛІ МАШИН І ТММ

Александров Д.	301
Аналіз динаміки удару транспортного засобу під кутом до перешкоди	
Задорожний Д.	305
Застосування CFD методів в лабораторній роботі «Експериментальне дослідження рівняння Бернуллі»	
Коваленко С.	308
Порівняльний аналіз роботи клепсід різних форм	
Коржов Д.	311
Зменшення прояву дефекту «павутиння» на прототипах, виготовлених за технологією FDM	
Мусієнко І.	318
Зіставлення плоских проєкцій довільної просторової системи сил при розрахунку стійкості дорожньої опори РМГ-4	
Перехода К., Щетінін О.	322
Система автоматизованого проектування мостів MIDAS CIVIL	
Чернов В.	327
Визначення залежності (незалежності) між параметрами при проведенні непрямих вимірювань	
Шарапата А.С., Горлов Я.	330
Розвиток бурильних технологій. Еволюція. Сучасні тенденції	

Секція 5. АВТОМОБІЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА

Алієв Б.	338
Дослідження аксіального синхронного двигуна для силової установки електромобіля	
Божко А.	341
Дослідження високопотужного тягового інвертора для електромобіля	
Босенко Б.	345
Методи діагностики електромобілів з використанням CAR SCANNER ELM OBD2	
Журавльов Є.	354
Дослідження інтегрованого бортового зарядного пристрою електромобіля	

Іванов А.	360
Дослідження кооперативного адаптивного круїз-контроля для групи електромобілів	
Ісаєнко О.	363
Використання штучного інтелекту в передових системах допомоги водієві	
Корощенко А.	366
Дослідження багатофазної бездротової системи заряду електромобілів	
Красильников Є.	370
Дослідження комбінованої дротової/бездротової системи заряду електромобілів	
Кушнарєнко М.	373
Дослідження неізолюваного двонаправленого перетворювача постійного струму для системи V2X	
Лосєв В.	376
Дослідження інтернету акумуляторних батарей для електромобілів	
Нарижній О.	380
Особливості розвитку технічної діагностики електромобілів	
Парфьонов В.	391
Проблеми впровадження інтернету транспортних засобів	
Постельник С.	395
Використання штучного інтелекту в системах управління акумуляторами електромобілів	
Сербінов І.	399
Дослідження ізолюваного двонаправленого перетворювача постійного струму для системи V2X	
Соломко М.	403
Аналіз та перспективи впровадження технологій “Від транспортного засобу до всього” для сучасних електромобілів	
Тютюнников О.	406
Аналіз можливостей використання акумуляторно-суперконденсаторних систем накопичення енергії для електромобілів	

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ГАЗОБАЛОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Сучасна автомобільна індустрія перебуває під тиском жорстких екологічних норм (Euro 6d, Euro 7) та волатильності цін на нафтопродукти. У цих умовах газобалонне обладнання трансформується з «бюджетного рішення для старих авто» на високотехнологічну систему, що інтегрується в найсучасніші двигуни з турбонаддувом та прямим впорскуванням [1].

Технологічна еволюція ГБО автомобіля пройшла шлях від випаровування до рідкого фазового впорскування

Наразі сучасним ГБО є системи 7-го покоління [2].

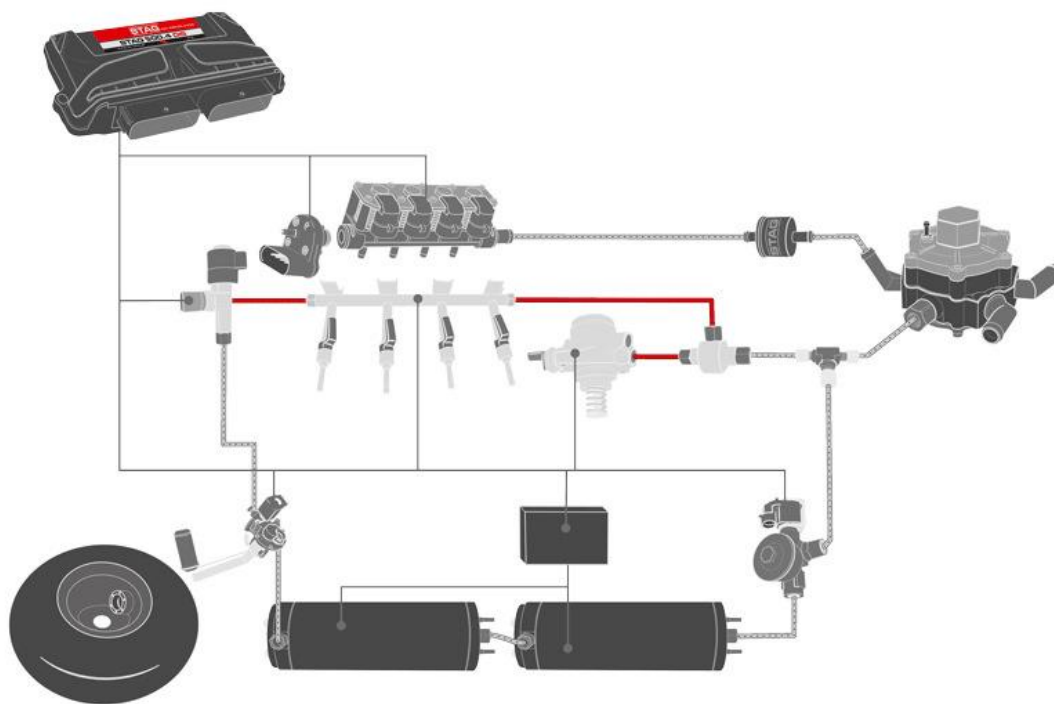


Рисунок 1 – Газобалонне обладнання автомобіля 7-го покоління

ГБО 7-го покоління є ще досить рідкісним і зустрічається нечасто. Виробники обладнання представляють такі вигоди цього ГБО:

- ГБО універсального призначення, підходить на більшість сучасних автомобілів, при цьому вирізняється досить простим монтажем.
- Під час встановлення не знадобиться модернізація насоса високого тиску, що подає бензин.
- Просте компонування газової системи - монтаж ГБО проводиться аналогічно Q-поколінню компанії STAG.

- Підвищена стійкість до появи помилок, оскільки немає потреби емуляції форсунок для бензину.
- Забезпечує підтримку моторів із двома типами форсунок (direct+ multi).
- Зовнішні насоси забезпечують простий і доступний сервіс обладнання.
- У ГБО 7 покоління використовуються стандартні вузли обладнання: редуктор, електромагнітні клапани, форсунки, газовий балон, трубки, дроти, кріпильні деталі.

Газобалонна система 7 покоління, здійснює подачу газового палива в циліндри в двох фазах - як в рідкій, так і пароподібній. Таке рішення на сьогоднішній день є найбільш інноваційним, яке повністю відрізняється від усіх вже наявних газових систем для встановлення на транспортні засоби.

Обладнання 7 покоління максимально вдало підходить для моторів, де передбачено безпосереднє впорскування бензину, але воно може дуже швидко адаптуватися для двигунів інших типів, які виробляє автомобільна промисловість.

Останніми роками все частіше зустрічаються автомобільні двигуни, які мають одночасно розподілене і безпосереднє впорскування палива. ГБО 7 покоління STAG 500 DIS - це єдине ГБО у світі, яке може успішно функціонувати в таких системах.

Переваги ГБО 7 покоління

Система оснащена абсолютно інноваційним алгоритмом роботи, що дозволяє двигуну функціонувати тільки на газовому паливі, без використання бензину. Газове паливо в циліндри подається одночасно в двох фазах (рідкій і газоподібній). Таке рішення дає змогу усунути недоліки, які має ГБО 6-го покоління, а також вдало підходить для моторів, що мають систему впорскування бензину двома форсунками.

Однією з головних переваг цієї системи вважається дуже простий монтаж і подальше калібрування. Алгоритм роботи майже повністю збігається з ГБО 4 покоління: немає потреби в модернізації насоса високого тиску, для виконання монтажу застосовуються стандартні деталі, трубки термопластикові, форсунки, редуктор, електромагнітні клапани, газовий балон.

Зазвичай загальна будова ГБО автомобіля [3] складається з:

- Редуктора-випарника, який служить для підігріву суміші пропан-бутану, її випаровування і зниження тиску до величини, близької до атмосферного тиску.
- Газового редуктора, який розроблений для малолітражних автомобілів з об'ємом двигуна до 1,6 л. Завдяки своїй компактності легко поміщається в підкапотному просторі автомобіля. Може мати вакуумне або електронне управління.
- Електромагнітного газового клапана, що служить для перекриття газової магістралі при стоянці або роботі двигуна на бензині. Забезпечений фільтром для очищення паливної суміші.

- Електромагнітного бензинового клапану, який у карбюраторних автомобілях відсікає подачу бензину при роботі двигуна на газі. В інжекторних автомобілях його функції виконує емулятор форсунок.

- Перемикача видів палива – встановлюється в салоні автомобіля і призначений для переведення двигуна з одного виду палива на інший з місця водія без зупинки двигуна. Зустрічаються перемикачі, на яких з допомогою світлодіодів показується рівень газу в балоні.

- Мультиклапана, що монтується на горловину балона. Включає в себе заправний і видатковий клапана, показчик рівня газу і забірну трубку. Спеціальний швидкісний клапан перекриває витік газу при аварійному пошкодження газової магістралі.

- Венткоробки, яка кріпиться на горловину балона. Всередині неї поміщається мультиклапан. У разі витіку газу з балона венткоробка відводить його пари з багажного відділення назовні.

- Ємності для газу. Зустрічаються циліндричні балони і торроїдальні (для ніші під “запаску”). За правилами техніки безпеки заповнюються не більше, ніж на 80% від повного об’єму. Розрізняють балони 4 поколінь: першого типу – повністю сталеві; другого – з легованої сталі з композитної обмоткою); третього – алюмінієвий посуд з композитної обмоткою) і четвертого типу – найсучасніші й довговічні – з композитних матеріалів. Саме останні є найдорожчими, але і найлегшими.

Як працює ГБО

Зріджений нафтовий газ (пропан-бутан) під тиском надходить з балона в газову магістраль високого тиску. Витрата газу з балона відбувається за допомогою мультиклапана, через який також здійснюється заправлення за допомогою виносного заправного пристрою. По магістралі газ в рідкій фазі потрапляє в газовий клапан-фільтр, який очищає газ від суспензій і смолистих відкладень і перекриває подачу газу при вимиканні запалювання або при переході на бензин.

Далі очищений газ по трубопроводу надходить у редуктор-випарник, де тиск газу знижується з шістнадцяти атмосфер до одного. Інтенсивно випаровуючись, газ охолоджує редуктор, тому останній приєднується до системи водяного охолодження двигуна. Циркуляція тосола дозволяє уникнути обмерзання редуктора і його мембран. Під дією розрядження, створюваного у впускному колекторі працюючого двигуна, газ з редуктора по шлангу низького тиску через дозатор надходить у змішувач, встановлений між повітряним фільтром і дросельними заслінками карбюратора. Іноді замість установки змішувача здійснюється безпосередня врізка газових штуцерів в карбюратор.

Управління режимами роботи здійснюється за допомогою перемикача видів палива, встановленого на панелі приладів. При виборі позиції “ГАЗ” перемикач відкриває електромагнітний газовий клапан і відключає електромагнітний бензиновий клапан. І, навпаки, при переході з газу на бензин, перемикач газовий клапан закриває і відкриває бензиновий. З допомогою

світлодіодів перемикач дозволяє контролювати, яке паливо використовується в даний момент.

Оскільки газ переходить із рідкого стану в газоподібний безпосередньо в камері згоряння, він різко охолоджує її. Це дозволяє уникнути головної проблеми минулого — перегріву випускних клапанів.

Економія палива: Відсутній цикл прогріву на бензині. Автомобіль може запускатися на газі навіть у мороз, оскільки системі не потрібен гарячий антифриз для роботи редуктора.

Гібридне ГБО (CNG/LPG + Electric)

Інженери зосередилися на розробці алгоритмів для гібридних авто (HEV/PHEV). Основна складність тут — постійні цикли ввімкнення/вимкнення двигуна. Сучасні блоки керування ГБО підтримують функцію «Hot Start», яка дозволяє миттєво активувати газову суміш, не чекаючи стабілізації обертів, що критично для міських заторів.

Полегшення та безпека. Композитні рішення.

Застосування балонів Типу 4 (повністю полімерний лейнер, обмотаний вуглеволокном) змінює сприйняття ГБО:

1. Вага: Вага системи зменшується на 40–60 кг, що позитивно впливає на ресурс підвіски та керування.

2. Безпека: Композит не піддається втомному руйнуванню металу. У разі пожежі такі балони поступово випускають газ через стінки (піроліз), запобігаючи фізичному вибуху.

Захисні покриття

Нове покоління мультиклапанів отримало електромагнітні відсікачі з вищою швидкістю спрацювання та спеціальне нанопокриття, що запобігає засміченню системи неякісним паливом (важкими фракціями та смолами).

Інтелектуальне управління та цифровізація

OBD-корекція в реальному часі

Сучасні контролери (ЕБУ) працюють у постійному зв'язку з бортовим комп'ютером автомобіля через протокол OBD II.

Система автоматично підлаштовує склад газової суміші, орієнтуючись на паливні корекції бензинового блоку.

Це мінімізує ризик появи помилки «Check Engine» та забезпечує ідеальну стехіометричну суміш у всіх режимах навантаження.

Хмарні сервіси та телематика

Флоти комерційних автомобілів тепер використовують телематичні модулі, які:

Передають дані про витрату газу на сервер у реальному часі.

Аналізують стиль водіння та його вплив на знос газових форсунок.

Дозволяють сервісним центрам проводити дистанційну дефектовку обладнання.

Екологічний вектор та майбутнє (Bio-LPG та Водень)

Газове обладнання адаптується до нових видів палива:

Bio-LPG: Газ, отриманий із відновлюваних джерел (відходів сільського господарства). ГБО не потребує жодних модифікацій для переходу на біопаливо, що робить його ключовим інструментом декарбонізації.

H2-ready системи: Ведуться розробки форсунок та редукторів, здатних працювати з сумішшю метану та водню (HCNG), що зменшує викиди CO₂ ще на 20–30% порівняно зі звичайним газом.

Висновки та перспективи

Розвиток ГБО у 2026 році демонструє відхід від простого «копіювання» бензинової системи до створення автономного інтелектуального комплексу.

Ключові висновки:

1. Продуктивність: ГБО більше не означає втрату динаміки.
2. Надійність: Завдяки прямому впорскуванню рідкої фази ресурс двигуна може навіть зростати.
3. Екологія: Газ залишається найреальнішим містком між ерою ДВЗ та повною електрифікацією.

Для професійної експлуатації важливо пам'ятати: чим складніша система ГБО, тим вищі вимоги до кваліфікації персоналу, що здійснює монтаж та обслуговування.

Література

1. <https://gazmax.com.ua/hbo-4-pokolinnia>
2. <https://avtocentr.sumy.ua/gazobalonne-obladnannya-avtomobilya/>
3. Трактори і автомобілі: Навчальний посібник / В.С.Бучок. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 331 с.

Науковий консультант Ярмита О.О., доцент кафедри автомобілів імені А.Б.Гредрескула, канд. техн. наук

Гольцев Олексій, ст. гр АА-31-23

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

НЕСУЧА СИСТЕМА АВТОМОБІЛЯ

Несуча система автомобіля слугує для розміщення двигуна, кузова всіх агрегатів, механізмів, систем та з'єднання в єдине ціле всіх елементів ходової частини.

До несучої системи автомобіля пред'являються вимоги - жорсткість, надійність та довговічність при невеликій вазі. Дешевизна та технологічність виготовлення. Оптимальність розташування агрегатів, вузлів, механізмів та систем автомобіля. Забезпечення комфорту та безпеки пасажирів при використанні в пасажирських автотранспортних засобах. Захист пасажирів, вантажів від вібрацій. Надійна шумо, пило, газо, тепло і гідроізоляція та захист

від корозії пасажирських салонів. Забезпечення низького розташування вантажу та можливість використання засобів механізації при навантаженні (розвантаженні). Можливість установки додаткового обладнання на автомобіль та автоматичних систем керування рухом.

Можна навести класифікацію несучої системи автомобілів:

1. Рамна (Драбинна, хребтова, об'єднана, периферійна, Х-подібна).
2. Кузовна (За призначенням – вантажні, пасажирські, вантажопасажирські. За конструкцією – каркасні, напівкаркасні, безкаркасні. За розподілом навантаження – кузова з несучим корпусом та кузова з несучою основою, де навантаження розподіляється між рамою та кузовом).

Конструкції і схеми несучої системи (Рама, кузов, тягово-зчіпний пристрій, модульні елементи) можна побачити на рисунках 1-7 [1].



Рисунок 1. Несуча система легкового автомобіля

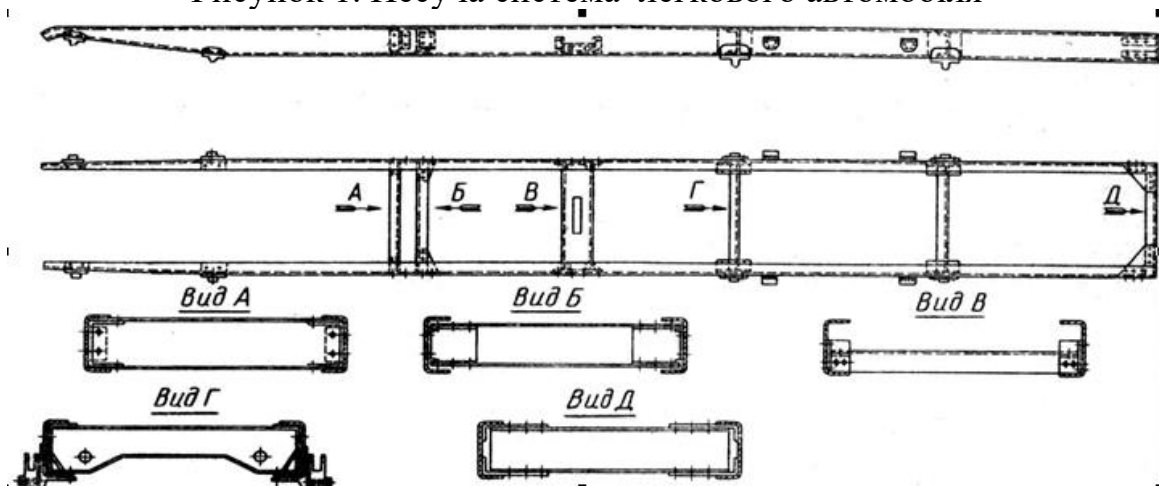


Рисунок 2. Драбиноподібна несуча система (рама) вантажного автомобіля



Рисунок 3. Несуча система Mercedes Benz AXOR 1843 LS.

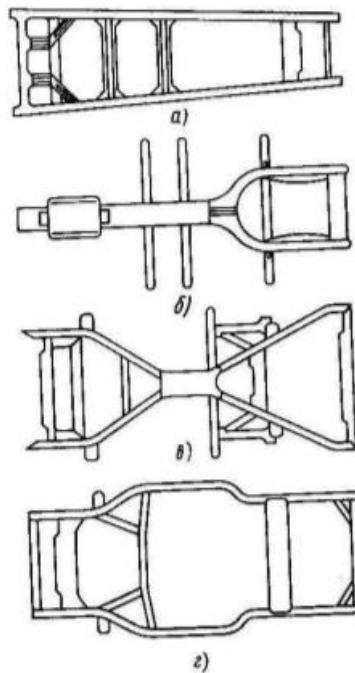


Рисунок 4. Схеми несучих систем (рам) легкового автомобіля.
(а-драбинна, б-хребтова, в- Х- подібна, г- периферійна)

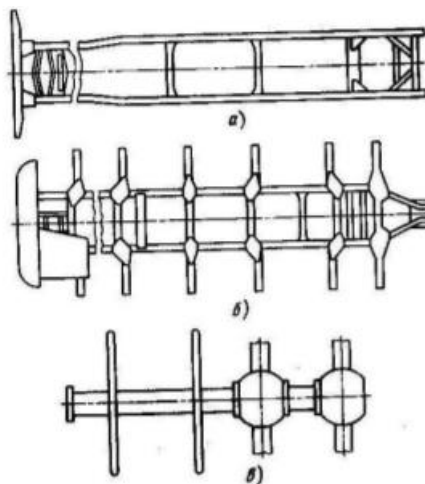


Рисунок 5. Схеми несучих систем вантажних автомобілів та автобусів.
(а- драбинна, б- об'єднана драбинна, в- хребтова).

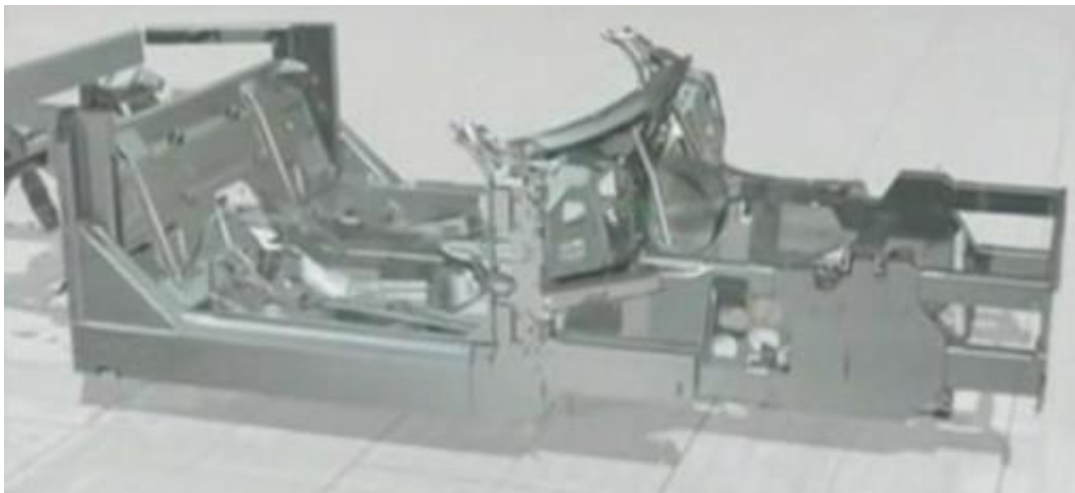


Рисунок 6. Несуча система (рама) кузова Ферарі.



Рисунок 7. Несуча система BMW.

На несучу систему діють сили тяжіння агрегатів та вузлів, що розміщені на ній, корисне навантаження та сили інерції при русі, що виникають при розгоні, гальмуванні, повороту, під час коливань тощо. При рамній конструкції, згинальні моменти, що діють на раму сприймаються лонжеронами, які забезпечують необхідну жорсткість рами [2].

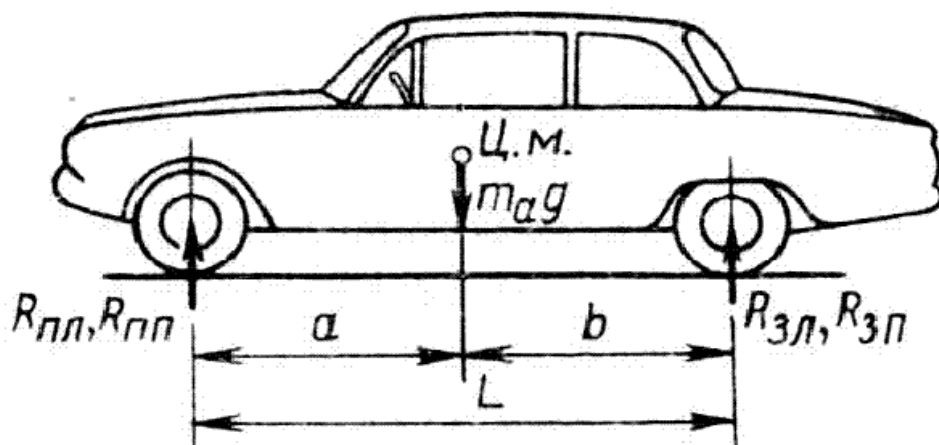


Рисунок 8. Схема симетричних навантажень (рівна дорога).

При симетричному навантаженні, якщо центр ваги автомобіля лежить в площині симетрії, то навантаження на колеса правої і лівої сторін однієї осі будуть однаковими:

$$R_{nn} = R_{nl} = 0,5m_a g(b/L) \quad R_{zn} = R_{zp} = 0,5m_a g(a/L)$$

Де m_a – маса автомобіля;

a і b – відстані від центра ваги автомобіля відповідно до осей передніх і задніх коліс; L – база автомобіля.

При цьому несуча система навантажуватиметься симетричними зусиллями, що викликають її згинання.

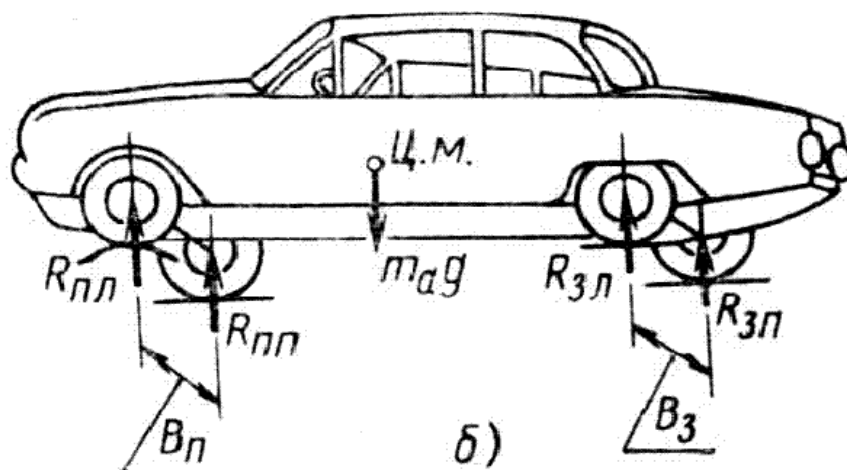


Рисунок 9. Схема несиметричного навантаження (Нерівна дорога).

Навантаження на колеса, що наїждять на нерівності дороги можуть значно збільшуватись. При розрахунках величину нерівності приймають для легкових автомобілів біля 20 см, для вантажних біля 30 см. Розрахунок на міцність рами, а особливо кузова досить складний і його виконують з використанням обчислювальних машин. Фактичні напруження та деформації, що виникають у рамі або кузові, визначають в процесі стендових та дорожніх випробовувань.

Аналіз конструкції несучої системи

При аналізі конструкції несучої системи враховуються конструктивні параметри автомобіля, вимоги до несучої системи та результати розрахунків.

Несучі системи можуть бути рамні або безрамні [3].

З конструкцій несучої системи, найбільше розповсюдження отримали рамні конструкції драбинні на вантажних автомобілях та на автобусах роздільного типу, периферійні рами на легкових автомобілях. Найбільше застосування отримали лонжеронні рами. Незважаючи на велику жорсткість, хребтові рами застосовуються обмежено. Кузов вантажного автомобіля з безкапотною кабіною дозволяє раціональніше використати габаритну довжину. Кузова легкових автомобілів з рамною конструкцією дозволяють краще робити видозміни конструкції. Безрамні схеми передачі крутного моменту забезпечують зменшення маси автомобіля.

До позитивної сторони рамної несучої системи відноситься:

1. Амортизаційний ресурс, який є більшим ніж ресурс вузлів та агрегатів автомобіля.
2. Забезпечення необхідної жорсткості та стабільного взаємного розташування агрегатів, вузлів та механізмів автомобіля протягом всього амортизаційного пробігу.
3. Можливість оптимального розташування вузлів та агрегатів.
4. Налагодженість виробництва.
5. Можливість компонування вантажної платформи або техніки спеціального призначення.
6. Простота обслуговування та ремонту.
7. Мала маса несучих систем легкових автомобілів.
8. Велика жорсткість на скручування хребтових рам та можливість розташування всередині рами елементів трансмісії, дає змогу нижче розташувати вантажну платформу.
9. Можливість уніфікації.

До негативної сторони рамної несучої системи відноситься:

1. Відсутність в несучій системі елементів конструкції, які зменшували наслідки дорожньо-транспортних пригод.
2. Рамні конструкції легкових автомобілів мають граничний амортизаційний ресурс через вплив корозії металу, або потребують застосування матеріалів, які не піддаються корозії або спеціальної обробки та ретельного обслуговування. Зменшується жорсткість.
3. Ремонт лонжеронних несучих систем та кузовів вимагає якісної підготовки спеціалістів ремонтників

З конструкцій несучої системи, найбільше розповсюдження отримали рамні конструкції драбинні на автобусах роздільного типу, периферійні рами на легкових автомобілях.

З каркасних, скелетних та оболонкових кузовів легкових автомобілів, найбільше розповсюдження завдяки можливості використання штампів та автоматизації зварювальних процесів, знайшли оболонкові кузова.

Скелетні кузова мають полегшений каркас, який приварюється до облицювання.

Облицювання зі сталі, дюралюмінію або склопластика дозволяє сформувати об'єм та підвищити жорсткість кузова.

В автобусних конструкціях найбільше застосування отримали каркасні кузова виготовлені з тонкостінних труб, що дозволило зменшити масу та підвищити жорсткість та міцність.

Останнім часом в несучих системах все більше використовуються легкі матеріали. Просліджується тенденція створення модульної конструкції кузова

Література

1. Молчанов В. А. Несуча система автомобіля: Навч. посіб. з будови автомобіля для учнів ПТНЗ/ В. А. Молчанов. – Хмельницький, 2012. – 144 с.

2. Кисликов Ф. І., Лущик В. І. Будова і експлуатація автомобілів : навч. посіб. — Кривий Ріг : КДТУ, 2022. — 180 с.

3. Бескаравайний М. І. Будова автомобіля : навч. посіб. — Львів : НУ «Львівська політехніка», 2021. — 148 с.

Науковий консультант Писарцов О.С., доцент кафедри автомобілів імені А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

Гончаров Павло, ст гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИХ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Сучасні умови розвитку автомобільного транспорту характеризуються стрімким зростанням обсягів вантажних перевезень, підвищенням інтенсивності руху на дорогах та ускладненням експлуатаційних режимів транспортних засобів. За таких умов питання забезпечення безпеки дорожнього руху набуває особливої актуальності, адже технічний стан транспортного засобу безпосередньо впливає на рівень аварійності.

Одним із ключових елементів, що визначає безпеку руху вантажних автомобілів, є гальмівна система, від справності якої залежить можливість своєчасного зниження швидкості, утримання транспортного засобу на схилі та запобігання неконтрольованому руху.

За даними аналітичних звітів європейських і національних транспортних агентств, від 18 % до 27 % дорожньо-транспортних пригод з участю вантажних

автомобілів пов'язані з відмовами або незадовільним технічним станом гальмівних систем. Типовими причинами є нерівномірність гальмування, зниження ефективності робочих механізмів, знос гальмівних колодок і дисків, несправності пневматичного приводу та електронних систем керування ABS/EBS [1].

В умовах високих навантажень, значних мас транспортних засобів та інтенсивної експлуатації саме гальмівна система є одним із найбільш навантажених і уразливих агрегатів. Особливої уваги потребують сучасні вантажні автомобілі, які широко використовуються в міжнародних та внутрішніх вантажних перевезеннях. З огляду на складність їхньої конструкції, застосування електропневматичних систем керування, багатоканальних модулів EBS, дискових гальм з високими тепловими навантаженнями, питання діагностики та підвищення надійності набувають стратегічного значення для транспортних компаній.

Відсутність систем моніторингу реального зносу, недостатня інформативність стандартних діагностичних перевірок та людський фактор призводять до експлуатації транспортних засобів із прихованими дефектами. Тому важливим завданням є дослідження існуючих методів діагностики гальмівних систем, проведення практичної оцінки їхнього стану та розробка рекомендацій щодо підвищення надійності.

Гальмівна система є однією з найважливіших складових безпеки вантажного автомобіля. Традиційні пневматичні системи, які тривалий час використовувалися у комерційному транспорті, поступово замінюються електропневматичними системами (EBS — Electronic Braking System) [2].

Це пов'язано з необхідністю підвищення точності керування, скорочення гальмівного шляху та інтеграції з сучасними електронними системами автомобіля. Електропневматичні системи вже понад 20 років використовуються у Європі та демонструють високу ефективність і надійність.

Сутність електропневматичних гальмівних систем

Електропневматична гальмівна система поєднує: електронне керування, пневматичний виконавчий механізм. На відміну від традиційних систем, де сигнал передається пневматично, в EBS команда передається електрично до кожного колеса, що забезпечує значно швидшу реакцію та точніше регулювання тиску [3]

Основні переваги:

- скорочення часу спрацювання гальм;
- рівномірний розподіл гальмівних сил;
- підвищення стабільності руху;
- покращення діагностики системи.

Сучасні тенденції розвитку

1 Перехід до цифрового керування (Brake-by-Wire)

Однією з ключових тенденцій є розвиток технології brake-by-wire, при якій механічний або пневматичний зв'язок замінюється електронним керуванням.

Такі системи:забезпечують миттєву передачу сигналу; дозволяють реалізувати автономне гальмування; є базою для безпілотного транспорту [4].

2. Інтеграція з системами ADAS

Електропневматичні гальмівні системи стають основою для: адаптивного круїз-контролю (ACC), автоматичного екстреного гальмування (AEB), систем стабілізації (ESP).

Завдяки точному електронному керуванню EBS може активувати гальма значно частіше і точніше, ніж традиційні системи.

3. Модульність і уніфікація конструкцій

Сучасні системи мають модульну архітектуру:

- електронний блок керування (ECU),
- електропневматичні модулі,
- датчики та виконавчі елементи.

Це дозволяє: легко модернізувати систему; адаптувати її до різних типів транспортних засобів; зменшити складність обслуговування [5].

Інтеграція з електротранспортом

З розвитком електромобілів EBS забезпечує поєднання пневматичного та рекуперативного гальмування; ефективне використання енергії; зменшення зносу гальмівних механізмів [4].

Перспективні напрями розвитку

1 Автономні транспортні засоби

Електропневматичні системи є ключовими для безпілотних вантажівок, оскільки забезпечують автоматичне гальмування; працюють незалежно від водія; підтримують високий рівень безпеки.

2 Підвищення рівня безпеки

Очікується розвиток: багаторівневої резервованості (redundancy); самодіагностики систем; захисту від кіберзагроз.

Сучасні системи вже здатні реагувати швидше, ніж водій, що суттєво зменшує гальмівний шлях [5].

3 Інтелектуальні системи управління

Майбутні EBS будуть: аналізувати дорожні умови в реальному часі; прогнозувати необхідність гальмування; адаптуватися до навантаження автомобіля.

4 Зменшення маси та енергоспоживання

Нові матеріали та технології дозволяють: зменшити вагу компонентів; підвищити енергоефективність; збільшити ресурс системи.

Переваги впровадження електропневматичних систем

Використання EBS забезпечує скорочення гальмівного шляху; підвищення керованості; зниження експлуатаційних витрат; покращення комфорту водія; підвищення безпеки перевезень. Крім того, такі системи дозволяють зменшити знос гальмівних елементів і підвищити ефективність транспорту.

Проблеми впровадження EBS

Незважаючи на переваги, існують певні обмеження присутні висока вартість впровадження; складність електронних компонентів; необхідність кібербезпеки; потреба у резервних системах.

Висновки

Електропневматичні гальмівні системи є перспективним напрямом розвитку вантажного автомобілебудування. Вони забезпечують високий рівень безпеки, точності керування та інтеграції з сучасними електронними системами.

Основними тенденціями є перехід до повністю електронних систем керування (brake-by-wire), інтеграція з автономними технологіями та підвищення інтелектуальності систем. У майбутньому такі системи стануть базовим стандартом для вантажних автомобілів.

Література

1. Gillespie T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. — Warrendale: SAE International, 1992. — 495 p.
2. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. — 4th ed. — Hoboken: Wiley, 2008. — 488 p.
3. Electronic Braking Systems (EBS) // Bendix Commercial Vehicle Systems. — URL: <https://www.bendix.com> (дата звернення: 27.03.2026).
4. Electronic Braking System // ZF Friedrichshafen AG. — URL: <https://www.zf.com> (дата звернення: 27.03.2026).
5. Electronic braking control systems // Knorr-Bremse. — URL: <https://www.knorr-bremse.com> (дата звернення: 27.03.2026).

Науковий керівник Альокса М.М., професор кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, канд.техн.наук

Грабар Антон, ст. гр АА-31-23

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОРМИ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ НА КОЕФІЦІЄНТ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ

Сучасний етап розвитку автомобілебудування визначається глобальним переходом до екологічно чистого транспорту, посиленням норм щодо викидів та масовою електрифікацією. Зі збільшенням середньої швидкості руху на автомагістралях на перший план виходить проблема оптимізації енергозатрат. Для легкових автомобілів (категорія М1) саме подолання опору повітря стає головним фактором витрати енергії при русі на швидкостях понад 80 км/год, залишаючи позаду витрати на тертя кочення шин та механічні втрати у трансмісії [1].

У контексті електромобілів значення коефіцієнта аеродинамічного опору набуває критичної ваги. Оскільки нарощування ємності тягових батарей неминуче призводить до суттєвого збільшення маси та вартості транспортного засобу, найбільш раціональним шляхом збільшення запасу ходу є покращення

обтічності. Зниження навіть на кілька сотих часток дозволяє відчутно підвищити загальну енергоефективність автомобіля, що робить аеродинаміку одним із ключових інструментів у конкурентній боротьбі автовиробників.

Метою даної статті є комплексний аналіз впливу загальної форми кузова, а також його окремих конструктивних елементів на формування повітряних потоків і підсумковий показник аеродинамічного опору автомобіля.

Науковий підхід до аеродинаміки автомобіля пройшов тривалий шлях еволюції, початково запозичивши базові принципи з авіабудування. Перші серйозні спроби створити аеродинамічно ефективні кузови припадають на 1930-ті роки. У цей період інженери, ще не маючи досконалих інструментів моделювання, інтуїтивно тяжіли до природних еталонів обтічності — зокрема, до форми краплі води, яка має найменший опір у повітряному середовищі. Знаковим представником цієї епохи стала чехословацька Tatra 77 (1934 рік) — один із перших серійних автомобілів, спроектованих з урахуванням законів аеродинаміки. Завдяки витягнутому, звуженому задньому звису та плавним лініям, автомобіль демонстрував видатні швидкісні характеристики навіть за умови використання відносно малопотужного двигуна.



Рисунок 1 – Легенда 1930-х — Tatra 77

Наступний фундаментальний зсув в автомобільному дизайні відбувся у 1980-х роках, які увійшли в історію як «ера клина». Саме в цей час провідні автовиробники почали масово застосовувати повномасштабні аеродинамічні труби для доведення форм серійних легкових автомобілів. Кузови набули характерних клиноподібних силуетів із сильно нахиленими лобовими склами та завищеною лінією багажника (так званий «хвіст Камма»). Еталоном цього підходу стала модель Audi 100 (у кузові C3, 1982 рік), яка встановила новий галузевий стандарт для масових седанів, досягнувши рекордного на той час коефіцієнта аеродинамічного опору $C_x = 0.30$ [2].



Рисунок 2 – Еталон 1980-х — Audi 100 C3

Сучасний етап розвитку (від початку 2010-х років і донині) характеризується переходом від виключно емпіричних випробувань до масового використання обчислювальної гідродинаміки (CFD — Computational Fluid Dynamics). Застосування суперкомп'ютерів дозволяє інженерам віртуально моделювати поведінку мікропотоків повітря та турбулентність ще на етапі раннього 3D-проектування. Цей інструментарій, стимульований жорсткими вимогами до енергоефективності та запасу ходу електромобілів, дозволив сучасній індустрії досягти нових рекордів обтічності. Сьогодні передові електромобілі преміум-сегмента (наприклад, Mercedes-Benz EQS, Lucid Air) демонструють безпрецедентні показники C_x на рівні 0.20–0.21, що робить їх найбільш аеродинамічно досконалими серійними транспортними засобами в історії [3,4].

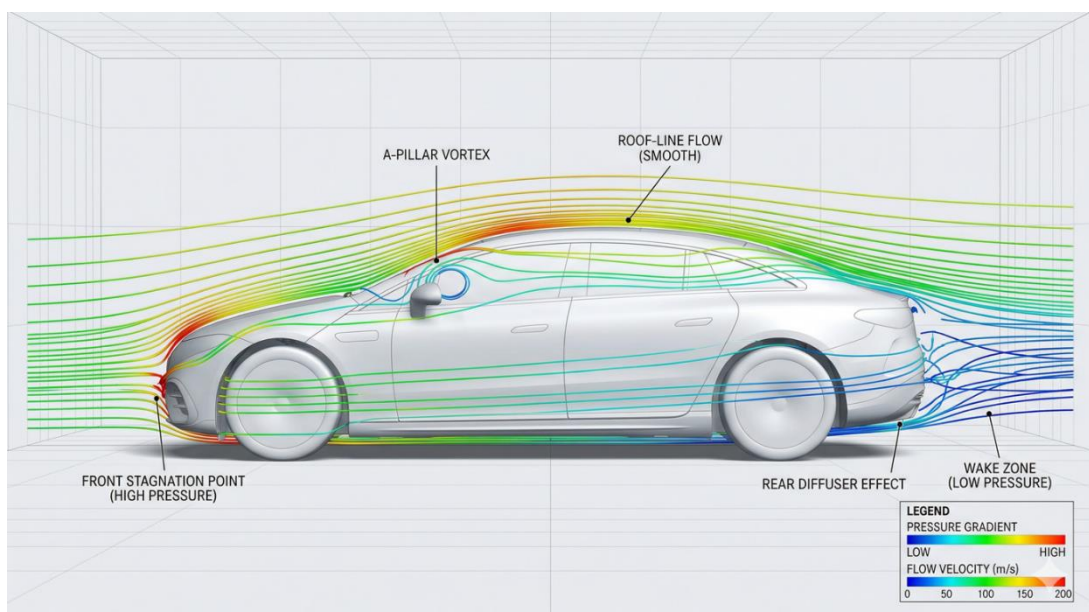


Рисунок 3 – Сучасний рекордсмен — Mercedes-Benz EQS

Фізика проблеми та енергетичні втрати

Коефіцієнт аеродинамічного опору (позначається як C_x або C_d) — це безрозмірна величина, яка характеризує ступінь обтічності твердого тіла під час його руху в газоподібному середовищі. Значення C_x не залежить від абсолютних габаритів автомобіля чи його маси, а визначається виключно його геометричною формою, пропорціями, якістю поверхонь (шорсткістю) та наявністю виступаючих деталей, що провокують відрив повітряного потоку та утворення турбулентних завихрень.

Для розрахунку сили, з якою повітряне середовище протидіє руху транспортного засобу, використовується базова формула аеродинамічного опору:

$$F_w = \frac{1}{2} * p * C_x * A * v^2$$

де:

F_w — сила аеродинамічного опору (вимірюється в Ньютонах);

p — щільність повітря (приблизно $1,225 \text{ кг/м}^3$ за нормальних умов);

C_x — коефіцієнт аеродинамічного опору;

A — площа максимального поперечного перерізу автомобіля (фронтальна площа або мідель);

v — швидкість руху транспортного засобу відносно повітря.

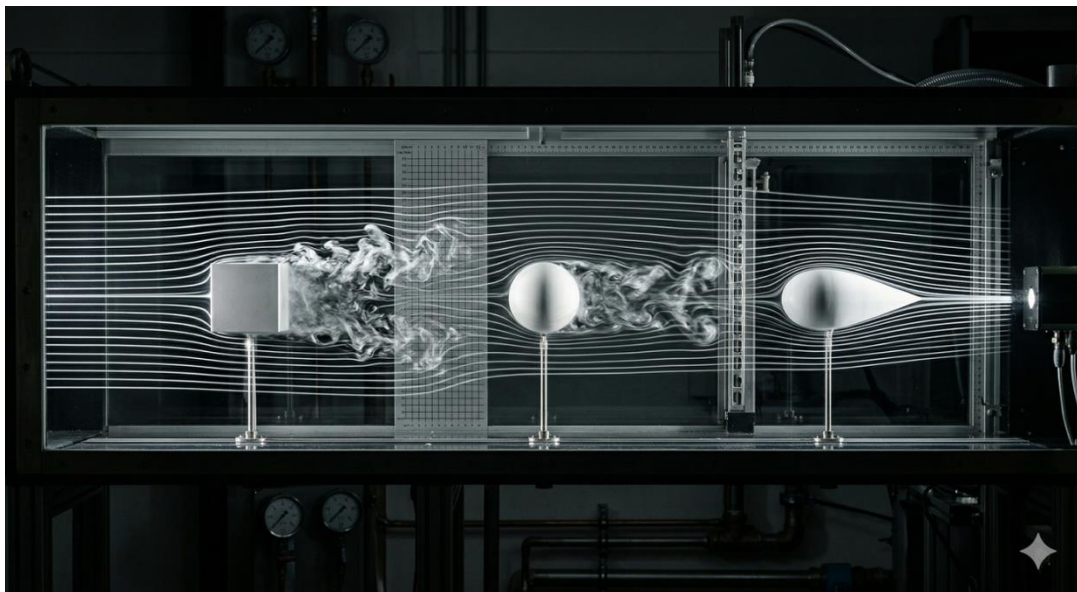


Рисунок 4 - Порівняння обтічності різних форм

Аналіз наведеної формули демонструє критичну залежність: сила опору повітря зростає пропорційно квадрату швидкості (v^2). Крім того, потужність, яку двигун має витратити на подолання цієї сили, зростає пропорційно кубу швидкості.

З точки зору енергетичних втрат ця фізична закономірність формує чітку статистику розподілу витрат енергії (палива в автомобілях з ДВЗ або заряду тягової батареї в електромобілях). Під час руху в умовах щільного міського трафіку (до 50 км/год) основна частка енергії витрачається на подолання опору

кочення шин та механічні втрати. Однак, при досягненні швидкостей 80–100 км/год аеродинамічний опір стає домінуючим фактором, і частка енергії, що витрачається виключно на «розштовхування» повітря, перетинає позначку в 50%. На автомагістральних швидкостях (понад 120 км/год) цей показник сягає 70–80%. Саме тому зниження коефіцієнта C_x є найефективнішим інженерним рішенням для збільшення запасу ходу та покращення енергоефективності без фізичного збільшення ємності джерел енергії.

Головні зони кузова, що впливають на аеродинаміку

Автомобіль під час руху взаємодіє з повітряним середовищем як складний тривимірний об'єкт. Підсумковий коефіцієнт C_x є результатом балансу між фронтальним тиском повітря та зоною розрідження позаду. Для досягнення максимальної енергоефективності інженери детально опрацьовують чотири ключові макрозони кузова.

Фронтальна частина: розподіл потоку та точка гальмування

Передня частина автомобіля першою зустрічає незбурений потік повітря, формуючи так звану «точку гальмування» (stagnation point) — місце, де швидкість потоку падає до нуля, а тиск є максимальним. Від розташування цієї точки залежить, як повітря буде розподілятися: над дахом, під днищем чи вздовж боковин. Головна мета при проектуванні фронтальної зони — забезпечити максимально плавний перехід ліній [5]. Кут нахилу капота та лобового скла має бути достатньо пологим, щоб уникнути різкого відриву потоку (утворення локальних мікрозавихрень на стиках). Форма переднього бампера проектується таким чином, щоб мінімізувати потрапляння повітря під днище автомобіля, оскільки це не лише збільшує опір, але й створює небажану підймальну силу на високих швидкостях.

Днище автомобіля: приховане джерело турбулентності Історично днище автомобіля залишалося найбільш аеродинамічно «брудною» зоною. Нагромадження елементів вихлопної системи, карданних валів, важелів підвіски та піддонів картера створює колосальний опір. Повітря, потрапляючи у цей лабіринт, різко гальмується, утворюючи хаотичну турбулентність. У сучасних автомобілях, особливо електромобілях (де відсутня вихлопна система), ця проблема вирішується встановленням повністю плоского аеродинамічного днища. Гладка поверхня дозволяє повітрю проходити під машиною без перешкод і з високою швидкістю. Згідно із законом Бернуллі, прискорення потоку призводить до падіння тиску під автомобілем. Це не лише суттєво знижує загальний опір повітря (на 10–15%), але й генерує корисну притискну силу, що покращує стабільність авто на автомагістралі.

Задня частина: критична зона формування аеродинамічного сліду

Всупереч інтуїтивному сприйняттю, найбільший аеродинамічний опір створює не передня частина автомобіля (яка «розрізає» повітря), а його задня частина. Коли повітряний потік огинає дах і починає спускатися до багажника, він має тенденцію до відриву від поверхні. У місці відриву позаду автомобіля утворюється величезна зона низького тиску — так званий аеродинамічний слід (wake). Цей вакуум буквально працює як парашут, засмоктуючи автомобіль назад (це явище називається опором тиску). Ідеальною формою для мінімізації

сліду є видовжена крапля, але такий довгий хвіст є непрактичним для повсякденної експлуатації. Геніальним інженерним компромісом стало використання «хвоста Камма» (**Kammback**) — рішення, названого на честь німецького аеродинаміка Вунібальда Камма. Суть концепції полягає в тому, що задня частина даху плавно спускається вниз, а потім різко і вертикально обривається. Такий різкий зріз «обманює» повітряний потік, змушуючи його поводитися так, ніби краплеподібний хвіст продовжується далі, що кардинально зменшує об'єм турбулентної зони позаду автомобіля



Рисунок 5 - Плоске днище електромобіля



Рисунок 6 - Хвіст Камма (Kammback) на прикладі Toyota Prius

Колісні арки та колеса: генератори хаосу Обертові колеса, розміщені у відкритих колісних арках, є одним із найскладніших елементів для аеродинамічної оптимізації. За даними досліджень у сучасних аеродинамічних

трубах, на колеса припадає від 20% до 30% загального опору автомобіля. Проблема полягає в тому, що колесо працює як потужний міксер: воно захоплює повітря, закручує його і викидає назовні з-під арки. Це порушує ламінарний (рівний) потік повітря, що йде вздовж боковин кузова. Саме тому дизайнери прагнуть мінімізувати зазори між шиною та крилом, а також впроваджують спеціальні аеродинамічні колісні диски з максимально закритою і пласкою поверхнею, які зменшують ефект «захоплення» повітря всередину арки.

Сучасні технологічні рішення (Active Aero та віртуальні елементи)

Традиційна (пасивна) оптимізація форми кузова має свої фізичні та компонувальні межі. Тому для досягнення екстремально низьких значень коефіцієнта C_x (нижче 0.25) сучасні автовиробники переходять від статичного дизайну до динамічного керування повітряними потоками. Цей підхід реалізується через системи активної аеродинаміки (Active Aero) та максимальне усунення виступаючих елементів кузова.

Активна аеродинаміка: адаптація до умов руху Ідеальна аеродинамічна форма для швидкості 50 км/год та 150 км/год суттєво відрізняється. Крім того, автомобілю потрібен баланс між обтічністю та ефективним охолодженням агрегатів.

Керовані жалюзі радіатора (Active Grille Shutters): Радіаторна решітка є одним із найбільших джерел аеродинамічних втрат, оскільки повітря, потрапляючи у моторний відсік, стикається з масивом деталей і гальмується. Сучасні системи оснащені моторизованими заслінками. На високих швидкостях, коли інтенсивне охолодження двигуна чи тягової батареї не потрібне, жалюзі закриваються. Це змушує повітряний потік плавно огинати передню частину кузова, знижуючи загальний опір на 3–5%.

Висувні спойлери та антикрила: Для збереження «чистого» краплеподібного силуету на малих швидкостях ці елементи повністю сховані в кузов. При досягненні певної швидкості (зазвичай понад 90-110 км/год) вони автоматично висувуються або змінюють кут атаки (наприклад, у Porsche Panamera). Це дозволяє змістити точку відриву повітряного потоку далі від кузова, зменшуючи аеродинамічний слід, та за необхідності згенерувати додаткову притискну силу на задній осі для стабільності.

Керування потоками: «повітряні штори» (Air Curtains) Як було зазначено раніше, колісні арки генерують величезну кількість хаотичної турбулентності. Щоб ізолювати цю зону без використання фізичних кришок на колеса (що псує зовнішній вигляд), інженери розробили технологію «повітряних штор». У передньому бампері розташовуються спеціальні вертикальні повітрозабірники. Вони захоплюють повітря з фронтальної зони і під тиском випускають його через вузькі щілини безпосередньо перед передніми колесами. Цей високошвидкісний струмінь утворює невидиму аеродинамічну «завісу», яка перекриває зовнішню площину колеса. В результаті основний потік повітря, що йде вздовж боковини автомобіля, не змішується з турбулентністю всередині колісної арки, а плавно ковзає поверх неї [7].



Рисунок 7 - Повітряні штори (Air Curtains) на передньому бампері

Усунення перешкод: віртуальні елементи кузова На високих швидкостях навіть найменші виступаючі деталі стають значними перешкодами.

Віртуальні дзеркала (Virtual Mirrors): Традиційні бічні дзеркала заднього виду є масивними об'єктами, які не лише збільшують лобову площу (мідель) автомобіля, але й створюють позаду себе сильні завихрення та аеродинамічний шум. Заміна їх на тонкі кронштейни з мініатюрними камерами (як це реалізовано в Audi e-tron або Lexus ES) дозволяє знизити загальний C_x приблизно на 0.01–0.02, що дає відчутну надбавку до запасу ходу.

Приховані дверні ручки: Ще одним стандартом для сучасних енергоефективних автомобілів стали дверні ручки, що повністю ховаються врівень з панеллю дверей. Це забезпечує абсолютно гладку бокову поверхню, виключаючи виникнення локальних мікрозавихрень на кожних дверцятах.



Рисунок 8 - Віртуальні дзеркала-камери (Virtual Mirrors)

Висновки

Аналіз впливу форми кузова на коефіцієнт аеродинамічного опору доводить, що аеродинаміка перетворилася з інструменту досягнення максимальних швидкостей спортивних авто на головний засіб підвищення загальної енергоефективності масового транспорту. На автомагістральних швидкостях саме аеродинамічно вивірена форма кузова є основним інструментом зниження витрат енергії. Для сучасних автомобілів категорії М1, і особливо для електромобілів, мінімізація показника C_x є найбільш раціональним шляхом збільшення запасу ходу без додаткового нарощування маси та вартості акумуляторних батарей.

Перспективи розвитку автомобільного дизайну вказують на неминучий глобальний перехід до максимально «чистих» та цілісних силуетів. Майбутнє належить біонічним, краплеподібним формам, де традиційні виступаючі елементи повністю зникнуть. Фізичні дзеркала, масивні дверні ручки, антени та відкриті решітки радіаторів масово замінюватимуться прихованими компонентами та віртуальними цифровими аналогами. У поєднанні з інтелектуальними системами активної аеродинаміки (Active Aero), які здатні змінювати геометрію кузова в режимі реального часу залежно від умов руху, це дозволить наблизити аеродинамічні показники серійних автомобілів до їхніх абсолютних фізичних оптимумів. Завдяки цьому індустрія зможе забезпечити новий рівень екологічності, акустичного комфорту та економічності транспортних засобів.



Рисунок 9 - Автомобіль майбутнього (Абсолютна обтічність)

Література

1. Кац, Дж. Аеродинаміка гоночних і легкових автомобілів: теорія та практика. *Автомобільна інженерія*, Київ, 2015. С. 45–60.
2. Іванов, О. П., Сидоренко, В. М. Проектування кузовів легкових автомобілів: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2019. 210 с.

3. Петренко, В. М. Дослідження впливу активних аеродинамічних елементів на енергоефективність електромобілів. *Автомобільний транспорт*, 2021. Вип. 48. С. 112–119.
4. Hucho, W. H. (Ed.). *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering*. SAE International, 1998. 936 p.
5. Müller, A., & Schmidt, F. Active Aerodynamics in Modern Electric Vehicles. *Journal of Automotive Engineering*, 2022. Vol. 14. P. 88–104.
6. Katz, J. Aerodynamics of race cars and passenger vehicles. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2006. Vol. 38. P. 27–63.

Науковий консультант: Писарцов О.С., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредрескула, канд. техн. наук

Дехтяр Антон, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДИСКОВИХ І БАРАБАННИХ ГАЛЬМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Залежно від конструкції фрикційної частини розрізняють барабанні та дискові гальмівні механізми. Гальмівний механізм складається з обертової та нерухомої частин. В якості частини, що не обертається, гальмівні колодки або стрічки в якості обертової частини барабанного механізму використовується гальмівний барабан, конструкція якого представлена на рисунку 1. [1, 2]

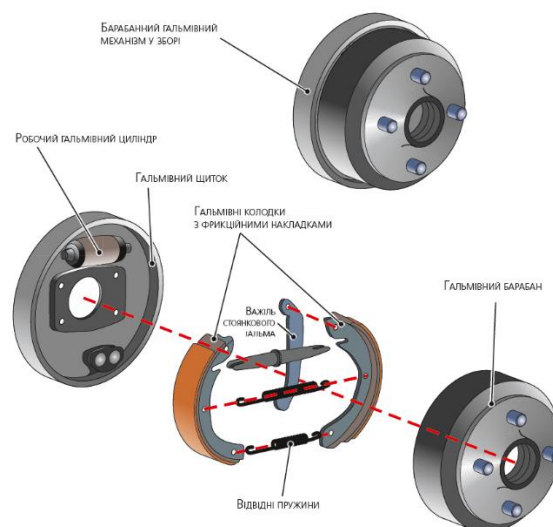


Рисунок 1 – Конструкція барабанного механізму

Частина дискового механізму, що обертається, представлена гальмівним диском, нерухома – гальмівними колодками. На передній та задній осях сучасних легкових автомобілів встановлюються, як правило, дискові гальмівні механізми. Дисковий гальмівний механізм складається з гальмівного диска, що обертається, з двох нерухомих колодок, встановлених усередині супорта з обох боків, конструкція якого представлена на рисунку 2.

Супорт закріплений на кронштейні. У пазах супорта встановлені робочі циліндри, які при гальмуванні притискають гальмівні колодки до диска. Гальмівний диск під час гальмування сильно нагрівається. Охолодження гальмівного диска здійснюється потоком повітря. Для найкращого відведення тепла на поверхні диска виконуються отвори. Такий диск називається вентильованим. Для підвищення ефективності гальмування та забезпечення стійкості до перегріву на спортивних автомобілях використовуються керамічні гальмівні диски [3, 4]. Гальмівні колодки притискаються до супорта пружинними елементами. До колодок прикріплено фрикційні накладки. На сучасних автомобілях гальмівні колодки оснащуються датчиком зношування. Гальмівний привід забезпечує керування гальмівними механізмами. У гальмівних системах

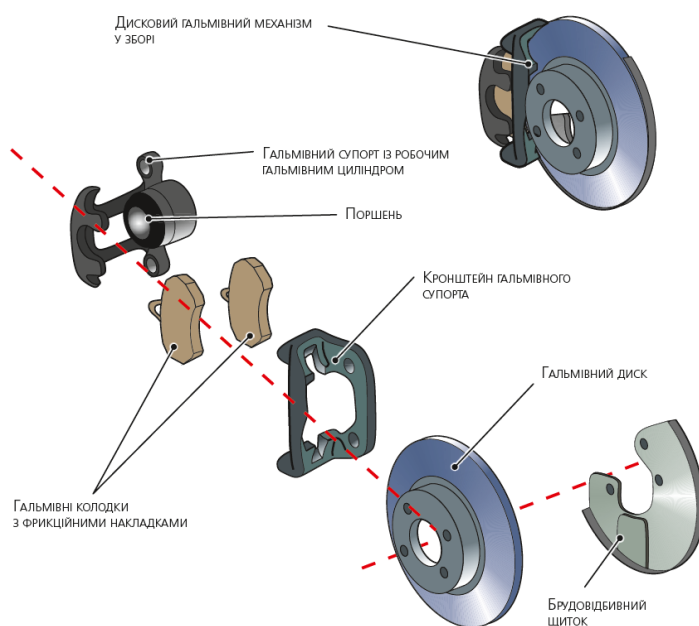


Рисунок 2 – Конструкція дискового гальмівного механізму

автомобілів застосовуються такі типи гальмівних приводів: механічний; комбінований; гідравлічний; пневматичний; електричний; Механічний привід використовується в стоянковій гальмівній системі. Механічний привід є системою тяг, важелів і тросів, що з'єднує важіль гальма стоянки з гальмівними механізмами задніх коліс. Він включає важіль приводу, 33 троси з регульованими наконечниками, вирівнювач тросів та важелі приводу колодок. На деяких моделях автомобілів стоянкова система приводиться в дію від ножної педалі, так зване стоянкове гальмо з ножним приводом.

Останнім часом в стоянковій системі широко використовується електропривод, а сам пристрій називається електромеханічне стоянкове гальмо. Гідравлічний привід є основним типом приводу у робочій гальмівній системі. Конструкція гідравлічного приводу включає гальмівну педаль, підсилювач гальм, головний гальмівний циліндр, колісні циліндри, з'єднувальні шланги та трубопроводи. Гальмівна педаль передає зусилля від ноги водія на головний гальмівний циліндр. Підсилювач гальм створює додаткове зусилля, що передається від педалі гальма. Найбільше застосування на автомобілях знайшов вакуумний підсилювач гальм.

Головний гальмівний циліндр створює тиск гальмівної рідини та нагнітає її до гальмівних циліндрів. На сучасних автомобілях застосовується здвоєний (тандемний) головний гальмівний циліндр, який утворює тиск для двох контурів. Над головним циліндром розширювальний бачок, призначений для поповнення гальмівної рідини у разі невеликих втрат [5].

Колісний циліндр забезпечує спрацювання гальмівного механізму, тобто. притискання гальмівних колодок до гальмівного диска (барабану). Для реалізації гальмівних функцій робота елементів гідроприводу організована за незалежними контурами. При виході з ладу одного контуру його функції виконує інший контур. Робочі контури можуть дублювати один одного, виконувати частину функцій один одного або виконувати тільки свої функції (здійснювати роботу певних гальмівних механізмів). Найбільш затребуваною є схема, в якій два контури функціонують діагонально.

На сучасних автомобілях до складу гідравлічного гальмівного приводу включені різні електронні системи: антиблокувальна система гальм; підсилювач екстреного гальмування; система розподілу гальмівних зусиль; електронна блокування диференціала. Пневматичний привід використовується у гальмівній системі вантажних автомобілів. Комбінований гальмівний привід є комбінацією декількох типів приводу. Наприклад, електропневматичний привід.

Принцип роботи гальмівної системи розглянуто з прикладу гідравлічної робочої системи. При натисканні на гальмо педаль навантаження передається до підсилювача, який створює додаткове зусилля на головному гальмівному циліндрі. Поршень головного гальмівного циліндра нагнітає рідину через трубопроводи до колісних циліндрів. При цьому збільшується тиск рідини у гальмівному приводі. Поршні колісних циліндрів переміщують гальмівні колодки до дисків (барабанів). При подальшому натисканні на педаль збільшується тиск рідини та відбувається спрацювання гальмівних механізмів, що призводить до уповільнення обертання коліс та появи гальмівних сил у точці контакту шин із дорогою. Чим більше прикладена сила до гальмівної педалі, тим швидше та ефективніше здійснюється гальмування коліс. Тиск рідини при гальмуванні може досягати 10–15 МПа. При закінченні гальмування (відпускання гальмівної педалі), педаль під впливом зворотної пружини переміщається у вихідне положення. У вихідне положення переміщається поршень головного гальмівного циліндра. Пружинні елементи відводять колодки від дисків (барабанів). Гальмівна рідина з колісних циліндрів

трубопроводами витісняється в головний гальмівний циліндр. Тиск у системі падає [2, 5].

Переваги і недоліки застосування дискових гальм

Для оцінки ефективності гальмівного механізму за кордоном прийнята характеристика гальма, під якою розуміють відношення окружної гальмівної сили на радіусі гальмівного барабана до приводної сили, що притискає колодки до барабана. Характеристика гальма залежить від різних конструктивних геометричних параметрів, а також від коефіцієнта тертя між накладкою і барабаном. Так як до теперішнього часу в автомобілебудуванні не існує фрикційного матеріалу, не схильного до зменшення коефіцієнта тертя в процесі експлуатації, то, природно, що гальмо, що володіє найменшим самопосиленням, залежить від коефіцієнта тертя, є найменш чутливим до коливань останнього. У зв'язку з цим відсутність самопосилення у дискового гальма вважатимуться його перевагою. Перевагою дискового гальма (рис. 3) є стабільність гальмівного моменту, що розвивається, при деякому коливанні коефіцієнта тертя гальмівних накладок.



Рисунок 3 – Дисковий гальмівний механізм

Внаслідок цього автомобіль, забезпечений дисковими гальмами, зберігає стабільність своїх гальмівних характеристик в діапазоні температур, що найчастіше зустрічається в експлуатації. Навіть при нагріванні гальмівного диска до високої температури, при якій барабанне гальмо втрачає до 50% своєї ефективності, зниження ефективності гальмування дискового гальма незначно, що пояснюється знову ж таки відсутністю самопосилення і стабільністю коефіцієнта тертя. У барабанному ж гальмі фактор самопосилення відіграє дуже істотну роль і в дуже великій мірі залежить від коефіцієнта, так що навіть при незначному коливанні останнього (від зростання температури) самопосилення, а значить і величина гальмівного моменту, і ефективність дії всього гальма в цілому дуже сильно змінюються. Лінійність залежності гальмівного моменту від приводного зусилля забезпечує водію за наявності

дискових гальм на автомобілі краще «почуття» гальмівної сили та більший ефект від застосування автоматичних пристроїв для регулювання гальмівного моменту з метою запобігання коліс та втрати керованості автомобілем.

За наявності дискових гальм такі регулятори (наприклад, інерційної дії) залежно від перерозподілу навантажень по осях автомобіля дають кращі результати, ніж у разі барабанних гальм [3, 5]. Автоматичний пристрій, що змінює співвідношення гальмівних сил по осях залежно від інтенсивності гальмування, за наявності барабанних гальм обмежено у своїх можливостях, оскільки коливання величини коефіцієнта тертя на гальмівних барабанах передніх і задніх коліс призводять до відмінності в дії гальм, що значно перевищує діапазон регулювання самого автоматичного устрою. Вплив відмінності температур барабанних гальм передніх і задніх коліс може значно порушити розподіл гальмівних зусиль, що призводить до нестійкості руху автомобіля і може викликати занесення при екстреному гальмуванні. З цієї точки зору для автомобільних гальм важливіше не високе значення коефіцієнта тертя, а його стабільність. І дискові гальма за рахунок своєї вищої стабільності дії дозволяють застосовувати автоматичний пристрій. Статистична оцінка великого числа дослідів показує, що при однакових початкових умовах величина відхилення за повільність від його середнього значення, що оцінює рівномірність гальмування, у дискових гальм наполовину менше, ніж у барабанних. Гальмування автомобіля при наявності на ньому дискових гальм відбувається на будь-якій швидкості плавно, без вібрацій та рівномірно всіма колесами. Практично це означає, що дискові гальма можуть забезпечити автомобілю більшу безпеку руху [2].

Теплове розширення барабана у барабанних гальм істотно позначається на величині зазорів, передатному відношенні в приводі та величині холостого ходу. Для цих гальм існує певна труднощі для здійснення автоматичного регулювання зазору між накладкою та барабаном. Дискове гальмо не ставить перешкод для використання пристрою автоматичного регулювання зазору. В експлуатації та обслуговуванні дискове гальмо простіше та зручніше барабанного. Внаслідок того, що дискове гальмо працює без самопідсилення, його встановлення на автомобіль вимагає збільшення тиску в гальмівному приводі з тим, щоб забезпечити необхідне зусилля притискання гальмівних колодок. Цього можна досягти при збільшенні передавального відношення приводу: у дискового гальма вільний хід поршня робочого гідроциліндра приблизно в 4 рази менше вільного ходу поршня робочого циліндра барабанного гальма.

Внаслідок дії великих зусиль скоба дискового гальма схильна до значних деформацій. При виборі величини зазору в гальмі повинні бути враховані теплове розширення скоби та биття диска за рахунок деформації цапфи та люфту підшипників. Установка дискових гальм на всі колеса викликає певні труднощі щодо гальма стоянки. Щодо чутливості дискових гальм до вологості та забруднення деякі фірми вирішують це питання встановленням щитів, що прикривають диск, інші – використанням дискових гальм із постійним контактом накладок та диска, завдяки чому гальмо завжди злегка розігріте та

самоочищається. У дисковому гальмі з одним робочим циліндром можливе виникнення згинального моменту, який підвищує навантаження на підшипники і вимагає їх посилення. Посилення підшипників маточини побічно зменшує биття диска, оскільки ліфт їх менше.

Високі вимоги пред'являються до геометричної точності робочих поверхонь дискового гальма з метою забезпечення малого експлуатаційного зазору. Дискове гальмо висуває підвищені вимоги до ізоляції гальмівної рідини, оскільки її робоча середня температура вища, ніж у рідині у приводі барабанних гальм. Деякі фірми використовують з цієї причини неметалеві поршні в робочих циліндрах (метал добре проводить тепло), інші ставлять відповідні ущільнення та ізоляційні шайби [5]. Гальмівні накладки для дискових гальм повинні володіти підвищеною зносостійкістю через великі питомі тиски на поверхнях, що контактують. Дискове гальмо має підвищену вартість, яка частково обумовлюється більш дорогими накладками, застосування підсилювача в приводі та необхідністю оплати ліцензій, оскільки всі незначні та значні зміни та покращення в конструкції фірми негайно патентують, передбачливо припускаючи їх значущість.

Усі фірми, що випускають зараз дискові гальма, купують та продають ліцензії на винаходи у цій галузі. «Чистої» конструкції дискового гальма зараз немає. Як правило, він розроблений однією фірмою, покращений іншою, і в ньому використовуються будь-які вузли за ліцензією третьої фірми.

Переваги дискових гальм: - при підвищенні температури характеристики дискових гальм досить стабільні, тоді як у барабанних знижується ефективність; - температурна стійкість дисків вища, зокрема через те, що вони краще охолоджуються; - вища ефективність гальмування дозволяє зменшити гальмівний шлях; - менші вага та розміри; - підвищується чутливість гальм; - час спрацьовування зменшується; - зношені колодки просто замінити, на барабанних доводиться робити зусилля на припасування колодок, щоб одягнути барабани; - близько 70% кінетичної енергії автомобіля гаситься передніми гальмами, задні дискові гальма дозволяють знизити навантаження на передні диски; - температурні розширення впливають на якість прилягання гальмівних колодок [2, 5].

Сучасні тенденції розвитку дискових гальмівних механізмів

Барабанні гальма і зараз часто зустрічаються на автомобілях. Як і дискові, вони мають ряд переваг та недоліків, які найчастіше визначають сферу їх застосування. «Барабани», як і раніше, дешевше і простіше у виробництві. «Барабани» мали перевагу перед ранніми дисковими гальмами ще й тому, що конструктивно мають ефект механічного самопосилення. Завдяки тому, що нижні частини колодок пов'язані один з одним, тертя барабан передньої колодки посилює притискання до нього задньої колодки.

Цей ефект сприяє багаторазовому збільшенню гальмівного зусилля, що передається водієм, і швидко підвищує дію, що гальмує, при посиленні тиску на педаль. Простота, дешевизна та низькі вимоги до систем управління гальмами в наш стрімкий вік зводяться нанівець однією дуже важливою обставиною. Оскільки при гальмуванні кінетична енергія за допомогою тертя

гальмівних колодок барабан (або диск) перетворюється на теплову енергію (тобто гальма нагріваються), необхідно ефективно це тепло розсіювати.

І тут барабанні гальма програють дисковим, оскільки розсіюють тепло не надто добре. Це тому, що фрикційні накладки знаходяться всередині барабана. Такий серйозний недолік призводить до цілого кола проблем. Надмірне нагрівання може спричинити деформацію барабана. Це, своєю чергою, призводить до того, що гальмівні накладки прилягають щодо нього нерівномірно. Все це знижує дію, що гальмує (особливо при частому відгальмовуванні). Ось чому на швидкісних машинах барабанні гальма навіть позаду вже не зустріти. Застосування оребрених алюмінієвих або 40 недеформованих посиленних стандартних барабанів, використання більш широких і довгих накладок дозволяють дещо знизити ці проблеми, але тоді йдуть всі переваги барабанних гальм: низька ціна, простота виготовлення і т. п., а результат не дуже помітний.

До повального впровадження дискових гальм призвело до збільшення швидкісних можливостей автомобілів. Спочатку такі гальма зайняли своє місце у передніх колесах, що зумовлено великими навантаженнями на передній осі, що виникають при гальмуванні, а тепер і ззаду їх можна зустріти все частіше [2, 5]. Дискові гальма розсіюють тепло набагато краще, ніж барабанні. І сам диск, і скоба для кріплення гальмівних механізмів, і гальмівні колодки відкриті для доступу повітря. Вільне обдування гальм практично виключає зниження гальмівної дії. Але «диски», як правило, не мають ефекту самопосилення, як барабанні гальма, що накладає підвищені вимоги до підсилювача гальм. Як «мінуси» можна також згадати дещо вищу вартість виробництва і більш швидке знос фрикційних накладок через більший тиск при гальмуванні. Як одна з основних переваг дискових гальм можна згадати їх меншу вагу в порівнянні з барабанними, а це одна з головних складових безпружинних мас, боротьба за зниження яких ведеться виробниками по всіх напрямках. Боротьба за зниження безпружинних мас і поліпшення відведення тепла призвела конструкторів до створення так званих вентильованих дисків. Вони є своєрідним сендвіч з двох дисків, між якими пророблені спеціальні отвори, що формують своєрідні лопаті, на кшталт турбіни. Завдяки цим лопатям та каналам тепло відводиться більш ефективно, а вага диска знижується.

Існує ще один важливий аспект впливу тепла на роботу гальм. При високих навантаженнях гальмівні диски можуть нагріватись до дуже високих температур. Тут виробники гальмівних систем йдуть різні технічні хитрощі. Так, наприклад, багато фірм пропонують розбірні гальмівні диски. Вони є безпосередньо робочий диск у вигляді бублика, скріплений болтовим з'єднанням із середньою частиною, яка і кріпиться на маточину. Також часто можна зустріти гальмівні диски з перфорацією та канавками (шліцами). Пророблені по всій робочій площині диска наскрізні отвори знижують вагу диска, сприяють більш ефективному зниженню температури при роботі, видаляють гази, що утворюються при терті колодок об диск. До речі, ці робочі гази можуть створювати подібність повітряної подушки та знижувати

Перфорація запобігає і короблення гальмівного диска. Канавки разом з отворами сприяють видаленню води, бруду, пилу та ін., що знижує ризик подряпати гальмівний диск. Відведення газів також у їхній юрисдикції. І канавки, і перфорація збільшують додаткову гальмівну силу та зменшують зношування. Вказавши всі ці переваги канавок, не можна не сказати і про те, навіщо вони спочатку були розроблені. Знову ж таки, автоспорт із його підвищеними навантаженнями на гальма зажадав ефективного очищення гальмівних колодок. Справа в тому, що при роботі на великих навантаженнях гальмівні колодки дуже швидко покриваються тонким шаром нагару - фрикційного матеріалу, що вигорів і відпрацьований. Якщо його не зняти примусово, колодка перетворюється на слизьку лижу. Канавки, шліці практично зрізають цей відпрацьований шар, оновлюючи колодку. Це дозволяє підтримувати працездатність колодок протягом усієї гонки.

[illegible]

40

Ще краще рішення запропонувала американська компанія Delphi. Її інженери модернізували весь дисковий гальмівний механізм. Запропоновано оригінальну ідею дводискового гальма для передніх коліс автомобіля, що отримав невідгадливу назву Twin Disk. Тут для гальмування використовуються не дві, а три гальмівні колодки. До звичайної пари додається середня колодка, розташована між двома «плаваючими» дисками, не пов'язаними один з одним перегородками. Завдяки такому компонованню гідравлічний поршень переносить своє зусилля не на дві площини гальмівного диска, як завжди, а відразу на чотири. Тим самим, ефективність гальм, динаміка гальмування збільшується в 1,7 рази в порівнянні зі звичайними дисковими гальмами. Зусилля на педаль знижується майже вдвічі. Крім того, вентиляція таких дисків значно краще, вони менше нагріваються, а отже, довше «живуть». Від конструкції до матеріалів. Тут також можна зустріти багато різних підходів. Найчастіше можна зустріти гальмівні барабани та диски з чавуну. Мотоциклетні гальмівні диски виготовляють із нержавіючої сталі, щоб захистити їх від корозії. Але чавун все ж таки володіє кращими фрикційними якостями. Зростання швидкостей і, як наслідок, збільшення вимог до гальм призводять до появи нових матеріалів для створення гальмівних дисків. Так, у світі автоспорту використовують диски на основі вуглеволокна. Такі гальма значно легші за своїх чавунних побратимів і працюють дуже ефективно. Однак карбонові гальма працюють лише за дуже високих температур. Те, що для звичайних сталевих чи чавунних дисків може вважатися екстремально високою температурою, для карбонових дисків – нормальний робочий стан. Тобто на звичайних автомобілях у звичайних умовах експлуатації такі гальма просто не працюватимуть – не встигнуть розігрітися. З цієї причини застосування вуглепластикових композитів у гальмах обмежується болідами Формула-1 та автомобілями, що беруть участь в інших подібних перегонах. Та й ціна таких виробів не маленька. Гальмівні колодки – найважливіший елемент гальмівної системи. Саме від них залежить ефективність роботи гальм.

Хороші, правильні колодки будуть не тільки довго і надійно виконувати свої функції, але й збережуть гальмівний диск чи барабан цілим та неушкодженим довгі роки. Навпаки, погані, неякісні колодки можуть зіпсувати гальмівний диск, зробивши у ньому глибокі канави, тощо. буд. Гальмівні колодки бувають різними. Причому йдеться не про конструкцію та дизайн, а в першу чергу про матеріал фрикційних накладок, які власне і здійснюють гальмування. Фрикційних сумішей на сьогодні існує безліч.

У кожної фірми своя рецептура та свої інгредієнти. До складу суміші можуть входити 15 та більше різних компонентів. Їхні пропорції чітко витримані. Будь-яка зміна частки того чи іншого компонента може істотно змінити властивості майбутніх гальмівних накладок, аж до повної непрацездатності. Основа фрикційної суміші – армуючий компонент. Саме від нього залежить міцність, термостійкість та стабільність гальмівних властивостей виробу.

В останні роки склалися стійкі види фрикційних виробів, що отримали свою назву, саме ґрунтуючись на їхньому армуючому компоненті. Виділяються

азбестові, безазбестові та органічні (на основі органічних волокон) компоненти. Перші, як видно з назви, як армуючий елемент використовують азбест. Шкідливість цього матеріалу для людини вже стала притчею в мовах.

У багатьох посібниках з ремонту та обслуговування автомобілів говориться, що міняти гальмівні колодки, що містять азбест, і навіть знімати колеса (якщо у вас такі гальма) необхідно гранично обережно, завчасно подбавши про захист органів дихання і зору. Безазбестові матеріали є фрикційними, в яких роль армуючого компонента виконують інші складові. Це може бути сталева вата, мідна, латунна стружка, різні полімерні композиції.

Найсучасніші на даний момент фрикційні матеріали виконують на основі органічних волокон. У таких колодок найкращі гальмівні властивості. Недарма саме вони встановлюються на сучасні боліди Формула-1, де навантаження на гальма (за мірками міських автомобілів) є просто позамежними [2, 5]. Колодки також повинні охолоджуватися, але, на відміну від дисків, вони повинні не пропускати тепло через себе. Нагріваючись самі, вони обов'язково почнуть гріти робочі гальмівні циліндри, а вони, у свою чергу, гальмівну рідину, і якщо вона закипить, гальма перестануть працювати, з усіма наслідками. Ось чому так важливо забезпечити тепловий бар'єр між фрикційними накладками та металевою основою гальмівної колодки.

Дискові гальма ефективніші, ніж барабанні, і довговічніші, що робить їх кращим вибором для нових автомобілів. Однак це не означає, що барабанні гальма скоро припинять роботу. Їх менша вартість і можливість ремонту роблять задні барабанні гальма життєздатним варіантом для більшості автовласників

Література

1. Робочі процеси автомобілів: навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін., Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 492 с.
2. Боровських Ю.І., Ковальов Ю. В., Морозов К. А. Будова автомобілів. – К., 1991.- 245с.
3. Кисляков В.Ф., Лущик. В.В. Будова і експлуатація автомобілів: підручник.– К. : Либідь, 2013. – 400 с.
4. Клименко В.І., Клименко В.І., Давиденко І.А., Сараєв О.В. Дослідження впливу антиблокувальної системи на ефективність гальмування легкового автомобіля / Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Х.: ХНАДУ. – 2011. – Вып. 29. – С. 245 –249.
5. Мельников Д.І. Трактори і автомобілі. – К.: Вища школа, 2012. – 264с.

Науковий керівник Новіна Н.Н., асистент кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЧНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ

Автоматична коробка передач (також автоматична трансмісія, АКП) це різновид коробки передач автомобілів, що забезпечує автоматичний (без прямої участі водія) вибір відповідним поточним умовам руху передаточного числа, залежно від великої кількості факторів [1].

Сучасні коробки передач (КПП) орієнтовані на паливну ефективність, комфорт та швидкість перемикавання. Провідні позиції займають автоматичні КП (як ZF 8HP), роботизовані з двома зчепленнями (DSG) та варіатори (CVT), що забезпечують плавний рух. Класична «механіка» зберігає популярність завдяки надійності, а роботи з двома зчепленнями пропонують найшвидші перемикавання (долі секунди).

Основні типи сучасних трансмісій:

- Класичний автомат (АКПП / Гідротрансформатор): Найпоширеніший тип, що забезпечує високий комфорт, плавність ходу та адаптується до стилю водіння. Прикладом ефективності є 8-ступінчасті коробки ZF.
- Роботизована коробка (РКПП / DSG/DCT): Поєднує механічну основу з двома зчепленнями (парні/непарні передачі), що забезпечує перемикавання без розриву потоку тяги. Вона швидша за автоматичні, але може бути менш довговічною.
- Варіатор (CVT): Безступінчаста трансмісія, що забезпечує ідеальну плавність прискорення без перемикань, сприяючи економічній витраті палива. Ідеальний для міського циклу.
- Механічна коробка передач (МКПП): Залишається вибором для ентузіастів, забезпечуючи максимальний контроль над автомобілем, високий ККД та надійність.
- Преселективна коробка передач - друге покоління роботизованих коробок передач. Найбільш відомий представник цього виду – Volkswagen DSG (розробник Borg-Warner), вона ж встановлюється на Audi S-tronic, а також Getrag Porsche PDK, Mitsubishi SST, DCG, PSG, Ford Dualshift [2].
- TipTronic – напівавтоматичний режим роботи АКП, уперше реалізований компанією Porsche. Термін «типтронік» часто застосовується для назви всіх аналогічних конструкцій інших виробників, хоча воно і є торговельною маркою Porsche (інші виробники називають аналогічні конструкції інакше). У цьому режимі вибір передачі здійснюється водієм вручну підштовхуванням важеля селектора в напрямках «+» й «-» — перехід на наступні передачі нагору й униз. Ознака TipTronic-подібних АКП – H-подібний виріз для переміщення важеля селектора а також символи + й -.
- *Секвентальна КП* – механічна КП з гідравлічним механізмом перемикавання передач і електронним керуванням зчепленням. Педаль зчеплення відсутня - водію необхідно лише пересувати важіль КП вперед або назад (таку техніку застосовують спортсмени), причому робити це можливо незалежно від

положення педалі акселератора. Якщо на будь-якій передачі підняти оберти двигуна до спрацьовування обмежувача то автоматичне перемикання передач вгору не відбувається – так само, як у випадку з механічною КП. Якщо ж повністю зупинити автомобіль, а потім знов натиснути на педаль акселератора, то автоматично увімкнеться перша передача, це зроблено лише для того, щоб не заставляти водія зайвий раз пересувати важіль.

- *Steptronic* – назва типу АКП із можливістю ручного перемикання передач, розробленого й застосовуваного BMW (безпосередньо випускаються фірмою ZF).

У КП *Steptronic* важіль пересувається вперед та назад по двох паралельних секторах. У правому секторі *Steptronic*, на відміну від простий АКП не має позицій «1» «2» й «3» обмежуюче перемикання. Там розташовані чотири положення P (parking, стоянка), R (задній хід), N (нейтраль) і D (drive, рух). У цьому секторі також є положення «M/S» (Manual/Sport) це положення активує «спортивний» режим перемикання АКП. У цьому режимі АКП буде втримувати передачу до досягнення максимальних обертів двигуна й тільки після досягнення підвищить передачу.

Як тільки важіль КП виявляється в положенні M/S, він «перетворюється» у джойстик. Якщо штовхнути його догори, то включиться вища передача, а сам джойстик повернеться у вихідне серединне положення; якщо штовхнути вниз - включиться понижена передача. Таким чином, суть системи *Steptronic* у швидкому перемиканні передач, порівняно зі звичайною МКП.

Гідромеханічні коробки передач

Звичайно автоматична гідромеханічна КП для легкових автомобілів складається з (рис. 1) гідротрансформатора, планетарного редуктора зі ступеневим перемиканням і фрикційними пристроями з гідроприводом (гальмові стрічки й муфти) [3].

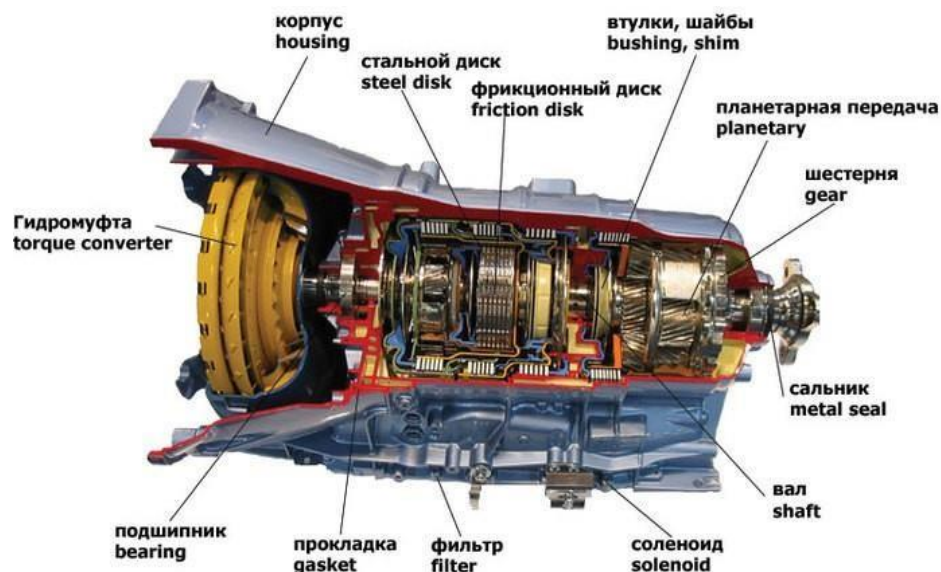


Рис. 1. Загальна будова автоматичної гідромеханічної коробки передач

Усередині коробки встановлюється також гідронасос для керуючого тиску, що подається на гідроприводи фрикціонів. Для автоматичного перемикачності швидкостей АКП дообладнана блоком електромагнітних клапанів, що встановлюється під планетарним редуктором й управляється електричними сигналами від електронного блоку керування (ЭБУ-АКП).

Вхідними сигналами для ЭБУ-АКП, за сукупністю яких формується послідовність маніпуляцій (перемикачності) у блоці електромагнітних клапанів, можуть бути наступні сигнали:

- ✓ частота обертання колінчастого валу ДВЗ (від ДКВ);
- ✓ частота обертання вторинного (вихідного) валу АКП або швидкість руху автомобіля (від КД);
- ✓ положення дросельної заслінки й швидкість її переміщення (від ДПДЗ);
- ✓ навантаження ДВЗ (від ДНД);
- ✓ температура ДВС (від ДТД);
- ✓ температура масла в АКП;
- ✓ положення важеля АКП (від МОП);
- ✓ положення перемикача програм (якщо такий є);
- ✓ положення перемикача режиму "Kickdown" (від ДТТ).

Оскільки всі перераховані сигнали керування являють собою неелектричні параметри, то вони перетворюються в електричні (аналогові або цифрові) сигнали за допомогою зазначених датчиків для АКП [3]. Якщо автомобіль обладнаний електронними системами керування двигуном (ЕСУД) і гідравлічними гальмами (ЕСУГ), то частина керуючих сигналів для АКП береться із цих систем. Наприклад, від системи ABS використовуються сигнали колісних датчиків (КД), по яких обчислюються середня швидкість руху автомобіля або частота обертання вторинного вала АКП. Від системи керування двигуном до АКП надходять сигнали про частоту обертання й про навантаження ДВС, а також сигнал про положення й швидкість переміщення дросельної заслінки.

Будова та принцип дії гідротрансформатора

На відміну від звичайної механічної коробки передач автоматична КП із гідротрансформатором не має постійного передаточного числа в кожному з положень перемикачності швидкостей, чим забезпечується безступінчаста передача крутного моменту від двигуна до ведучих коліс при троганні автомобіля з місця й при розгоні [4].

Пояснюється це тим, що передаточне число АКП, поки в ній не заблокований гідротрансформатор, може змінюватися під впливом перерозподілу крутного моменту між трьома робочими колесами гідротрансформатора.

Корпус гідротрансформатора обертається разом з насосним колесом. Турбіна з корпусом не зв'язана (за винятком періоду блокування ГТ) – вона з'єднана з валом коробки. Реактор при цьому закріплений через обгінну муфту – вона не дає йому провертатися під напором потоку, коли різниця у швидкості обертання насосного й турбінного коліс велика, але дозволяє обертатися разом

з ними в одному напрямку, коли автомобіль рухається з постійною швидкістю й проковзування ГТ мінімально. Так вдається підняти ККД коробки. По такій траєкторії циркулює масло в ГТ. Відкидає зовнішнім контуром насосного колеса воно попадає на лопатки турбіни, перенаправляється до центра, розвертається до насосного колеса, обгинає лопатки реактора й повертається до центра насоса, щоб повторити шлях. Перше робоче колесо з'єднане жорстко з колінчастим валом ДВЗ і називається *насосним*. Своїми лопатками насосне колесо нагнітає трансмісійне масло під відцентровим тиском (що залежить від частоти обертання ДВЗ) на лопатки другого (*турбінного*) колеса, що приводить в обертання вторинний (вихідний) вал АКП, з яким турбінне колесо зв'язане жорстко. Третє робоче колесо встановлене на муфті вільного ходу між насосним і турбінним колесами. Це колесо називається *реактором*. Лопатки реактора приймають потік масла від турбінного колеса й змінюють напрямок потоку таким чином, що він (потік) повторно направляється на лопатки турбінного колеса. Турбіна одержує додатковий момент обертання, що підсумується з моментом, отриманим турбінним колесом від насосного колеса. Таким чином, сумарний крутний момент на виході гідротрансформатора може бути більше, ніж на його вході, і визначається частотою обертання турбінного колеса.

Якщо швидкість руху автомобіля знижується під впливом збільшення навантаження (підйом у гору), то частота обертання турбінного колеса падає, а крутний момент збільшується. При збільшенні швидкості автомобіля (при розгоні на прямій ділянці дороги) частота обертання турбіни збільшується, що приводить до зменшення крутного моменту в гідротрансформаторі, отже, тягова сила на ведучих колесах зменшується.

При деякій частоті обертання вторинного (вихідного) валу АКП реактор починає провертатися відносно муфти вільного ходу і гідротрансформатор втрачає властивості перетворювача крутного моменту. При цьому швидкості обертання первинного й вторинного валів АКП стають майже однаковими. Діапазон зміни крутного моменту за допомогою гідротрансформатора обмежений збільшенням в 2,5...3 рази. Цього досить для забезпечення нормальної роботи АКП в одному з фіксованих положень перемикача швидкостей. Але цього недостатньо для усталеної роботи двигуна на всіх можливих режимах руху автомобіля. Тому автоматична КП містить у своєму складі багатоступінчасту механічну коробку з перемиканням швидкостей за допомогою електромагнітних клапанів.

Самі клапани управляються сигналами від ЕБУ-АКП.

Будова та принцип дії механічної частини АКП

Гідротрансформатор не може перетворювати швидкість обертання й переданий крутний момент у потрібних межах. Та й забезпечити рух заднім ходом йому не під силу. Тому до нього приєднують набір з окремих планетарних передач із різним передаточним коефіцієнтом – фактично одноступінчастих КП в одному корпусі рис. 3. Планетарна передача являє собою механічну систему, що складається з декількох шестерень - сателітів,

що обертаються навколо центральної шестерні. Сателіти фіксуються разом за допомогою водила. Зовнішня кільцева шестерня має внутрішнє зачеплення із планетарними шестернями. Сателіти, закріплені на водилові, обертаються навколо центральної шестерні, як планети навколо Сонця (звідси й назва - планетарна передача), зовнішня шестерня - навколо сателітів. Різні передаточні відношення досягаються шляхом фіксації різних деталей відносно один одного.

Роботизована коробка передач DSG

Роботизована коробка передач DSG (Direct Shift Gearbox) - це коробка передач прямого перемикавання. У цей час вона є самою сучасною автоматизованою коробкою, установлюваною на масові моделі легкових автомобілів [5].

У механічній коробці передач, потік потужності від двигуна до коліс при перемиканні швидкостей переривається. Це викликає поштовх перемикавання передачі або переривання крутного моменту. У випадках неправильного, або несвоечасного включення передачі, автомобіль може помітно посмикуватися.

Коробка DSG (рис. 2) працює по іншому, вона поєднує в одному корпусі дві механічні коробки передач, одну для парних швидкостей, а іншу для непарних, і кожна з яких оснащена своїм зчепленням. Це необхідно для того, щоб включати дві передачі одночасно.

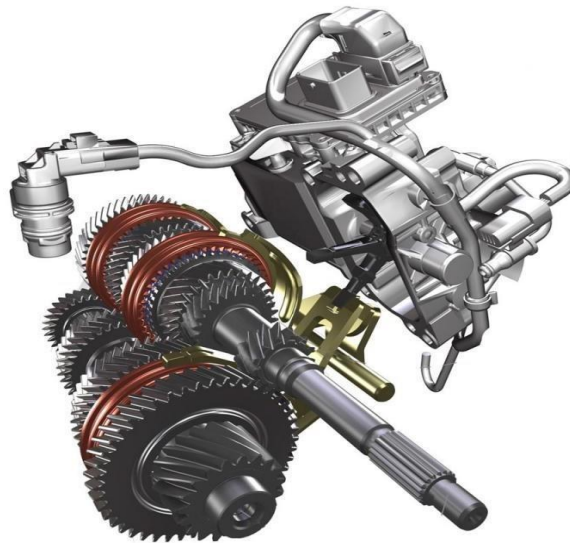


Рисунок 2. Конструкція роботизованої механічної коробки передач

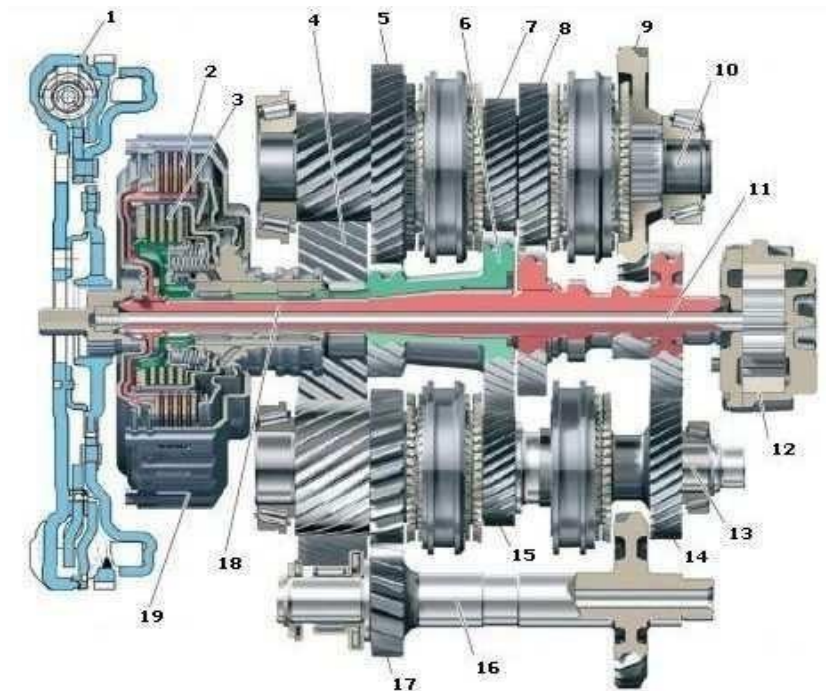
Поки автомобіль розганяється на парній швидкості, шестерні наступної, непарної, уже перебувають у зачепленні. Коли оберти двигуна досягають точки включення наступної передачі, зчеплення парної передачі розмикається, а непарної одночасно замикається, при цьому передача тяги між коробками відбувається без розриву потоку потужності, а зміна швидкості виходить швидкої й майже непомітною. І все це при мінімальних втратах енергії

- будучи похідною від звичайної “механіки” коробка успадковує і високу ефективність передачі потужності. Управляється все це автоматикою, тому в системі відсутня педаль зчеплення, і ручка керування КП така, як в

автоматичних гідромеханічних коробках.

Коробка DSG управляється електронікою, і при наборі швидкості комп'ютер майже миттєво перемикає передачі, заощаджуючи паливо, зберігаючи динаміку й згладжуючи ривки, тому що відразу після включення, наприклад, четвертої передачі він готовий включити п'яту. А якщо водій у процесі розгону вирішив пригальмувати, то системі керування потрібно набагато більше часу для відключення більш високої передачі й підготовки до включення більш низької передачі. На це йде вже не 100 мс, а до напівсекунди.

Не завжди вдається забезпечити й низькі втрати енергії. Проблема в тому, що сухі зчеплення (такі ж, як й у ручних коробок) в DSG трансмісіях можуть перегріватися, тому в моделях, розрахованих на потужні мотори, замість них застосовуються пакети фрикціонів, що працюють у маслі. Вони краще тримають навантаження, але через більше проковзування й гідродинамічні втрати ефективність передачі потужності знижується до 96%, у той час як ручні коробки і їх роботизовані версії досягають величини в 98-99%. Втім, це, звичайно, краще звичайного “автомата” з його 91-94%. Розробники заявляють, що коробка DSG заощаджує до 10% палива.



1 – двомасовий маховик; 2 – перша фрикційна муфта; 3 – друга фрикційна муфта; 4 – ведена шестерня головної передачі; 5 – ведена шестерня 2 передачі; 6 – первинний вал другого ряду; 7 – ведена шестерня 4 передачі; 8 – ведена шестерня 3 передачі; 9 – ведена шестерня 1 передачі; 10 – вторинний вал 1; 11 – вал масляного насоса; 12 – масляний насос; 13 – вторинний вал 2; 14 – ведена шестерня 5 передачі; 15 – ведена шестерня 6 передачі; 16 – вісь шестерні заднього ходу; 17 – шестерня заднього ходу; 18 – первинний вал першого ряду; 19 – здвоєне зчеплення

Рисунок 3. Загальна будова коробки передач DSG

Незаперечним мінусом є вартість коробки й величезні проблеми з ремонтпридатністю. У зв'язку із чим, виникає необхідність правильного обслуговування КПП і своєчасною заміною масла.

Ключовими трендами сучасних автоматичних передач є наступні напрямки:

- Від 6-8 до 10-ступінчастих автоматів, що дозволяє тримати двигун в оптимальному діапазоні обертів.
- Гібридизація: Вбудовування електромоторів у коробку передач.
- Електронне керування: Перемикання здійснюється електронікою, часто без фізичного зв'язку між селектором та трансмісією.

1. Сирота В.І., Сахно В.П. Автомобілі. Основи конструкції. Навчальний посібник. Київ: Арістей, 2007. 288 с.
2. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems: automotive technology: vehicle maintenance and repair. Elsevier Ltd, 2011. Pp. 512.
3. Подригало М.А., Коряк О.О. Динаміка автомобіля з автоматичною безступінчастою коробкою передач. Вісник ХНАДУ.2020. № 90. С. 73–79. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.73.
4. Кисликов В.Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: підруч.. 6-те вид. Київ: Либідь, 2006. 400 с.
5. Механічна коробка передач. Роботизована КПП: веб-сайт. URL: <https://avtoad.com.ua/base/mechanicna-korobka-peredac-robotizovana-kpp> (дата звернення: 17.02.2026).

Науковий керівник Лукашов І.В., асистент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула

Єнютін Юрій, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГОЛОВНОЇ ПЕРЕДАЧІ

Головна передача призначена для збільшення підведеного до неї крутного моменту, перетвореного в коробці передач та передачі його до коліс через диференціал і напіввісі, розташовані, як правило, під прямим кутом до подовжньої осі автомобіля.

Зубчасті колеса головної передачі працюють у більше важких умовах, ніж зубчасті колеса коробки передач, тому що вони завжди перебувають під навантаженням при русі автомобіля. При розгоні автомобіля на нижчій передачі головна пара працює на малій частоті обертання, проте, на неї діють значні сили, що висуває підвищені вимоги до її міцності [1].

З усіх агрегатів автомобіля головна передача є найбільш навантаженою, так як являється кінцевим елементом трансмісії і тому до неї висувають наступні вимоги:

- мінімальні розміри по висоті для забезпечення максимально можливого дорожнього просвіту;
- можливо більше низький рівень шуму;
- загальні технічні вимоги.

Крутний момент, переданий колісною передачею планетарного типу, розподіляється між декількома (три-п'ять) сателітами, тому в порівнянні зі звичайною передачею одночасно працюють кілька пар зачеплень. Це значить, що знижується навантаження на кожне із зубчастих коліс і зменшується зношування зубів.

Головна передача (рис. 1) – зубчастий або ланцюговий механізм трансмісії автомобілів і інших самохідних машин, служить для збільшення моменту і передачі його до провідних коліс під кутом 90 градусів. Головна передача служить для постійного збільшення моменту двигуна, що підводиться до привідних коліс, і зменшення швидкості їх обертання, до необхідних значень [2].

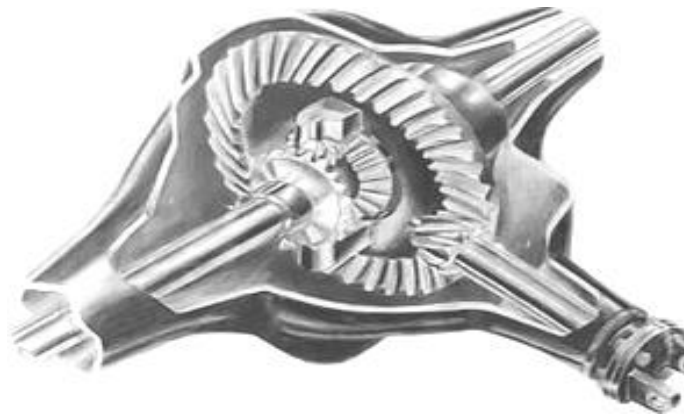


Рисунок 1 – Головна передача

Головна передача забезпечує максимальну швидкість руху автомобіля на вищій передачі і оптимальну витрату палива відповідно до її передавального числа. Передавальне число головної передачі залежить від типу і призначення автомобіля, а також потужності і швидкохідності двигуна. Величина передавального числа головної передачі зазвичай складає 6,5-9,0 у вантажних автомобілів і 3,5...5,5 в легкових автомобілів. На автомобілях застосовуються різні типи головних передач (рис.2).

Одинарні головні передачі складаються з однієї пари шестерень, з ведучої - малої конічної шестерні, виконаної разом з валом, та веденої – великої конічної шестерні. Для досягнення безшумної і плавної роботи застосовують шестерні зі спіральними зубами.

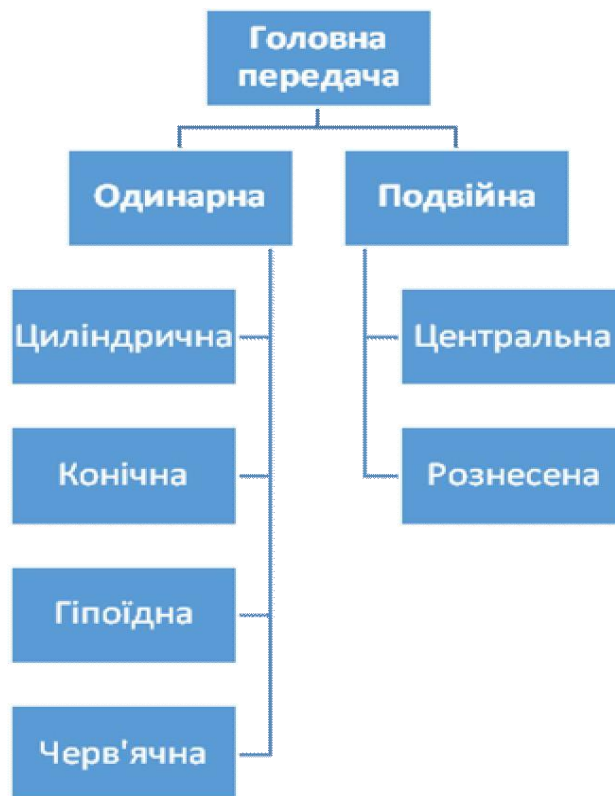
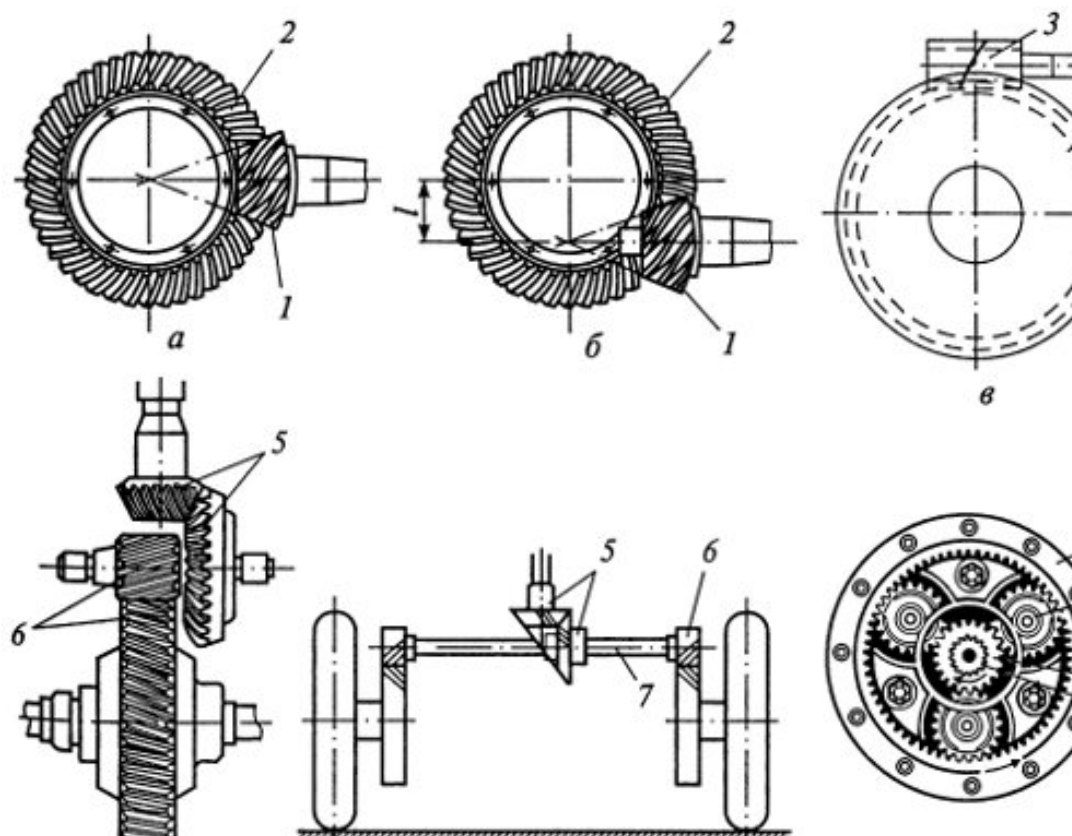


Рисунок 2 – Типи головних передач

Циліндрична головна передача застосовується в передньопривідних легкових автомобілях при поперечному розташуванні двигуна і розміщується в загальному картері з коробкою передач і зчепленням (рис. 3). Її передавальне число дорівнює 3,5,...,4,2, а шестерні можуть бути прямозубими, косозубими і шевронними. Циліндрична головна передача має високий ККД - не менше 0,98, але вона зменшує дорожній просвіт у автомобіля і більш галаслива [3].

Конічна головна передача (рис. 3, а) застосовується на легкових автомобілях і вантажних автомобілях малої й середньої вантажопідйомності. Вал малої конічної шестерні встановлений на двох конічних і одному циліндричному підшипниках

Осі провідною 1 і веденої 2 шестерень в конічній головній передачі лежать в одній площині і перетинаються, а шестерні виконані зі спіральними зубами. Передача має підвищену міцність зубів шестерень, невеликі розміри і дозволяє знизити центр ваги автомобіля. ККД конічної головної передачі зі спіральним зубом 0,97 ... 0,98. Передавальні числа конічних головних передач 3,5 ... 4,5 у легкових автомобілів і 5 ... 7 у вантажних автомобілів і автобусів.



а, б, в — одинарні; г, д — подвійні; е — редуктор;

1 — провідна шестерня; 2 — відома шестерня; 3 — черв'як; 4 — черв'ячна передача; 5 — конічна шестерні; 6 — циліндричні шестерні; 7 — піввісь

Рисунок 3 – Головні передачі

Гіпоїдна головна передача (рис. 3, б) має широке застосування на легкових і вантажних автомобілях. Осі провідною 1 і веденої 2 шестерень гіпоїдної головної передачі на відміну від конічної чи не лежать в одній площині і не перетинаються, а перехрещуються. Передача може бути з верхнім або нижнім гіпоїдним зміщенням. Гіпоїдна головна передача з верхнім зміщенням використовується на багатовісних автомобілях, так як вал провідної шестерні повинен бути прохідним, а на передньопривідних автомобілях - виходячи з умов компоновки.

Головна передача з нижнім гіпоїдним зміщенням широко застосовується на легкових автомобілях. Передавальні числа гіпоїдних головних передач легкових автомобілів 3,5 ... 4,5, а вантажних автомобілів і автобусів 5 ... 7. Гіпоїдна головна передача в порівнянні з іншими більш міцна і безшумна, має високу плавність зачеплення, малогабаритна і її можна застосовувати на вантажних автомобілях замість подвійної головної передачі. Вона має ККД, рівний 0,96 ... 0,97. При нижньому гіпоїдні зміщенні є можливість нижче розташувати карданну передачу і знизити центр тяжіння автомобіля, підвищивши його стійкість.

Однак гіпоїдна головна передача вимагає високої точності

виготовлення, складання та регулювання. Вона також вимагає через підвищений ковзання зубів шестерень застосування спеціального гіпоїдного масла з сірчистими, свинцевими, фосфорними та іншими присадками, що утворюють на зубах шестерень міцну масляну плівку.

Черв'ячна головна передача (рис. 3, в) може бути з верхнім або нижнім розташуванням черв'яка 3 щодо черв'ячної шестерні 4, має передавальне число $4 \dots 5$ і в даний час використовується рідко. Її застосовують на деяких багатовісних многопривідних автомобілях. У порівнянні з іншими типами черв'ячна головна передача менше за розмірами, більш безшумна, забезпечує плавніше зачеплення і мінімальні динамічні навантаження. Однак передача має найменший ККД ($0,9 \dots 0,92$) і по трудомісткості виготовлення і застосовуваних матеріалами (олов'яниста бронза) є найдорожчою.

Подвійні головні передачі застосовуються на вантажних автомобілях середньої й великої вантажопідйомності, на повнопривідних тривісних автомобілях і автобусах для збільшення передавального числа трансмісії, щоб забезпечити передачу великого крутного моменту. ККД подвійних головних передач знаходиться в межах $0,93 \dots 0,96$.

Подвійні головні передачі мають дві зубчасті пари і зазвичай складаються з пари конічних шестерень зі спіральними зубами і пари циліндричних шестерень з прямими або косими зубами. Наявність циліндричної пари шестерень дозволяє не тільки збільшити передавальне число головної передачі, а й підвищити міцність і довговічність конічної пари шестерень. У центральній головній передачі (рис. 3, г) конічна і циліндрична пари шестерень розміщені в одному картері в центрі провідного моста. Крутний момент від конічної пари через диференціал підводиться до провідних коліс автомобіля.

У рознесеної головної передачі (рис. 3, д) конічна пара шестерень 5 знаходиться в картері в центрі ведучого моста, а циліндричні шестерні 6 - в колісних редукторах. При цьому циліндричні шестерні з'єднуються півосями 7 через диференціал з конічною парою шестерень.

Крутний момент від конічної пари через диференціал і піввісь 7 підводиться до колісним редукторів. Широке застосування в рознесених головних передачах отримали однорядні планетарні колісні редуктори. Такий редуктор (рис 3, е) складається з прямозубих шестерень - сонячної, коронній і трьох сателітів. Сонячна шестірня наводиться в обертання через піввісь 7 і перебуває в зачепленні з трьома сателітами, вільно встановленими на осях, жорстко пов'язаних з балкою моста.

Сателіти входять в зачеплення з коронною шестірнею, прикріпленою до маточини колеса. Крутний момент від центральної конічної пари шестерень 5 до маточини провідним коліс передається через диференціал півосі 7, сонячні шестерні, сателіти і коронні шестерні.

При поділі головної передачі на дві частини зменшуються навантаження на піввісь і деталі диференціала, а також зменшуються розміри картера і середній частині ведучого моста. В результаті збільшується дорожній просвіт і тим самим підвищується прохідність автомобіля. Однак рознесена головна

передача складніша, має велику металоємність, багатовартісна і трудомістка в обслуговуванні [4].

У цілому, можна відзначити, що в сучасних умовах можливо удосконалення конструкції головної передачі автомобілів і усунення недоліків шляхом застосування прогресивного обладнання, розрахунку і конструювання, а також обліку вимог дорожньої та екологічної безпеки.

Література

1. Кубіч В. І. Трансмсія колісних автомобілів і гусеничних машин : навч. посіб. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 408 с.
2. Кубіч В. І., Слинко Г. І. Складові частини об'єктів транспортного машинобудування : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і доп. /В. І. Кубіч, Г. І. Слинко. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 363 с.
3. Кисликов В. Ф., Луцик В. В. Будова й експлуатація автомобілів : підручник. 6-те вид. – К. : Либідь, 2006. – 400 с.
4. Будова автомобіля : навч. посіб. / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський, І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин. – Мелітополь : ВПЦ «Люкс», 2021. – 247 с.
5. Klymenko, V. I., Voronkov, O. I., Leontiev, D. M., Mykhalievych, M. H., Yaryta, O. O., Ponikarovska, S. V., ... & Fandieieva, A. Y. (2023). Construction and layout of automobiles and internal-combustion engines: study guide.
- 6.

Науковий керівник Холодов М.П., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, к.т.н.

Коркунов Антон , ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМОБІЛЯХ

Штучний інтелект (AI) революціонізує автомобільну промисловість, покращуючи дизайн, виробництво, експлуатацію та технічне обслуговування автомобілів. Від безпілотних автомобілів та інформаційно-розважальних систем на базі штучного інтелекту до прогнозованого технічного обслуговування та автоматизованих ланцюжків поставок, штучний інтелект запускає нову еру інновацій та ефективності в усій автомобільній екосистемі.

Важливість штучного інтелекту в сучасних транспортних засобах полягає в його здатності підвищувати безпеку, персоналізувати досвід користувачів, знижувати експлуатаційні витрати та прискорювати перехід до автономних і підключених транспортних засобів. За допомогою штучного інтелекту виробники можуть оптимізувати виробництво, покращити діагностику транспортних засобів і забезпечити розумніші та інтуїтивніші враження від водіння.

Станом на 2024 рік застосування ШІ в автомобільній промисловості стрімко зростає. Провідні автовиробники та постачальники вкладають значні кошти в рішення на основі ШІ, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку, що швидко розвивається. Від штучного інтелекту у виробництві автомобілів до штучного інтелекту в автономних транспортних засобах, штучний інтелект більше не є футуристичною концепцією — це важливий компонент сучасної стратегії автомобільних інновацій.

Ключові сфери застосування ШІ в автомобільній промисловості

Автономні та безпілотні транспортні засоби

ШІ є основою технології автономних транспортних засобів, що дозволяє автомобілям сприймати навколишнє середовище, приймати рішення та безпечно переміщатися без втручання людини.

- Машинне навчання в автономних транспортних засобах дозволяє системам безперервно навчатися на основі даних водіння, покращуючи продуктивність з часом.
- Комп'ютерне бачення та об'єднання датчиків поєднують вхідні дані від камер, LIDAR, радарів і ультразвукових датчиків для створення 360° розуміння навколишнього середовища в реальному часі.
- Алгоритми ШІ обробляють ці дані, щоб виявляти перешкоди, інтерпретувати дорожні знаки та прогнозувати поведінку пішоходів та інших транспортних засобів. Такі провідні компанії, як Tesla, Waymo, NVIDIA та Cruise, є піонерами в розвитку ШІ для безпілотних автомобілів.

ШІ у виробництві та складанні автомобілів

Штучний інтелект оптимізує кожен етап виробництва автомобіля за допомогою автоматизації та інтелектуальних систем.

- Розумна робототехніка на основі ШІ оптимізує складальні лінії, підвищуючи швидкість і точність.
- Контроль якості за допомогою штучного інтелекту використовує комп'ютерне зір для виявлення дефектів у реальному часі, зменшуючи відходи та відкликання.
- Прогнозне технічне обслуговування в автомобільному виробництві мінімізує час простою обладнання завдяки прогнозуванню потенційних збоїв на основі історичних даних і даних у реальному часі.

Системи безпеки та допомоги водієві

ШІ підвищує безпеку транспортних засобів за допомогою передових технологій допомоги водієві.

- Функції ADAS на основі штучного інтелекту, як-от допомога у дотриманні смуги руху, адаптивний круїз-контроль і екстрене гальмування, покладаються на обробку даних у реальному часі, щоб допомогти водіям і запобігти аваріям.

- Системи оцінки ризиків аналізують оточення, поведінку водія та умови дорожнього руху, щоб попередити або вжити заходів. Ці інновації зменшують смертність і встановлюють нові стандарти безпеки автомобілів.

Інформаційно-розважальна система та персональні помічники в автомобілі

Сучасні автомобілі тепер пропонують інформаційно-розважальні системи на основі штучного інтелекту, які забезпечують підключене, інтелектуальне водіння.

- Обробка природної мови (NLP) дозволяє водіям взаємодіяти з системами за допомогою голосових команд для навігації, музики та спілкування.
- Штучний інтелект персоналізує вміст і налаштування на основі вподобань користувача та звичок водіння, створюючи персоналізовані враження від автомобіля.

Прогнозне технічне обслуговування та діагностика автомобіля

Штучний інтелект відіграє ключову роль у діагностиці транспортних засобів, аналізуючи дані датчиків у реальному часі, щоб виявити аномалії, перш ніж вони стануть серйозними проблемами.

- Системи прогнозованого технічного обслуговування сповіщають власників або менеджерів автопарків про ймовірність виходу з ладу компонента, скорочуючи час простою та витрати на ремонт.
- Діагностика на основі ШІ покращує ефективність, надійність і тривалість життя автомобільних компонентів

Підключені транспортні засоби та інтеграція Інтернету речей

ШІ розширює можливості підключених автомобілів, забезпечуючи зв'язок у реальному часі між транспортними засобами, інфраструктурою та мережами.

- Завдяки V2X (Vehicle-to-Everything) ШІ дозволяє автомобілям обмінюватися даними для безпечнішої навігації, оптимізації трафіку та виявлення небезпеки.
- Штучний інтелект аналізує масивні потоки даних від датчиків IoT для підтримки прийняття рішень у реальному часі, підвищуючи безпеку та продуктивність.

ШІ в автомобільній інженерії та дизайні

Штучний інтелект змінює автомобільну техніку та дизайн, забезпечуючи розумніші, швидші та ефективніші процеси розробки продуктів. Тепер інженери покладаються на штучний інтелект, щоб симулювати реальну продуктивність, оптимізувати конструкції автомобіля та прискорити час виходу на ринок.

- Симуляції та краш-тестування на основі штучного інтелекту дозволяють автомобільним інженерам прогнозувати та аналізувати поведінку автомобіля за різних умов, не покладаючись виключно на фізичні прототипи. Ці симуляції

заощаджують кошти та підвищують безпеку завдяки виявленню структурних недоліків на ранній стадії проектування.

- Алгоритми генеративного проектування використовують машинне навчання для оцінки тисяч альтернатив дизайну на основі попередньо визначених обмежень, таких як вага, міцність матеріалу та аеродинаміка. Штучний інтелект допомагає інженерам оптимізувати компоненти автомобіля для підвищення продуктивності, паливної ефективності та екологічності.
- Автоматизуючи повторювані інженерні завдання та надаючи інтелектуальні рекомендації, штучний інтелект значно прискорює розробку продукту, дозволяючи виробникам виводити інноваційні транспортні засоби на ринок швидше, ніж будь-коли.

III в автомобільному ланцюгу поставок

Штучний інтелект відіграє ключову роль у трансформації автомобільного ланцюжка поставок, роблячи його розумнішим, швидшим і стійкішим. Використовуючи технології штучного інтелекту, виробники та постачальники покращують ефективність роботи, знижують витрати та зводять до мінімуму збої.

- Штучний інтелект для оптимізації запасів дає змогу відстежувати в реальному часі та інтелектуально керувати запасами на кількох підприємствах. Алгоритми штучного інтелекту аналізують моделі попиту, терміни виконання робіт і продуктивність постачальників, щоб забезпечити оптимальний рівень запасів, зменшуючи як надмірні запаси, так і брак.
- Прогнозування попиту та автоматизація логістики керуються моделями машинного навчання, які з високою точністю прогнозують споживчий попит, ринкові тенденції та сезонні коливання. Логістичні системи на основі штучного інтелекту автоматизують маршрутизацію, планування та керування складом, щоб оптимізувати доставку та скоротити час виконання.
- Аналітика ланцюга постачання в режимі реального часу на основі штучного інтелекту забезпечує наскрізну видимість у всьому ланцюжку постачання. Постійно аналізуючи дані з датчиків IoT, систем ERP і зовнішніх джерел, AI виявляє вузькі місця, прогнозує затримки та пропонує коригувальні дії, забезпечуючи безперебійну роботу навіть під час нестабільності ринку.

Найкращі платформи та інструменти для III в автомобільному секторі
Автомобільна промисловість все більше покладається на передові платформи штучного інтелекту для стимулювання інновацій, ефективності та безпеки протягом життєвого циклу продукту. Ці інструменти забезпечують інтелектуальні дані й автоматизацію, необхідні для конкуренції на ринку, що швидко розвивається, від розробки автономних автомобілів до розробки вимог.

Вимоги до Visure Платформа ALM

Visure Requirements ALM Platform — це провідне рішення на базі III для розробки вимог в автомобільному секторі. Це дозволяє автомобільним компаніям керувати складними вимогами, тестуванням, ризиками та процесами

відповідності, одночасно прискорюючи розвиток і підтримуючи якість протягом усього життєвого циклу автомобіля.

Ключові особливості:

- Розробка та перевірка вимог на основі ШІ
- Відстеження в реальному часі за вимогами, тестами та ризиками
- Підтримка ISO 26262, ASPICE та інших автомобільних стандартів
- Автоматизований аналіз впливу та управління змінами
- Повна інтеграція з такими інструментами, як MATLAB Simulink, Jira та IBM DOORS.
- Пропонуючи відповідність і відстежуваність за допомогою штучного інтелекту, Visure допомагає оптимізувати розробку важливих для безпеки автомобільних додатків, що робить його ідеальним для OEM-виробників і постачальників, які створюють автономні, підключені та електричні транспортні засоби.

Переваги ШІ в автомобільній промисловості

Інтеграція штучного інтелекту в автомобільну промисловість забезпечує значні переваги протягом усього життєвого циклу транспортного засобу — від проектування та виробництва до водіння й технічного обслуговування. Ось головні переваги трансформації сектора:

Підвищена ефективність і економія коштів

ШІ автоматизує складні та повторювані процеси у виробництві автомобілів, логістиці ланцюга постачання та розробці продукту, скорочуючи трудовитрати та час виробництва.

- Прогнозне технічне обслуговування зводить до мінімуму незаплановані простої, виявляючи потенційні збої до їх виникнення.
- Оптимізація запасів за допомогою штучного інтелекту забезпечує своєчасну доступність, зменшуючи витрати на зберігання та відходи.

Покращена безпека та прогнозована інформація

ШІ підвищує безпеку транспортного засобу за допомогою передових систем, які допомагають або беруть на себе завдання водіння.

- ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) на основі штучного інтелекту зменшує людські помилки, допомагаючи запобігати зіткненням.
- Штучний інтелект також забезпечує оцінку ризиків у реальному часі та моделювання аварій під час проектування автомобіля для покращення цілісності конструкції.

Персоналізовані враження від водіння

ШІ підтримує інтелектуальні інформаційно-розважальні системи та автомобільні помічники, які адаптуються до вподобань і поведінки водія.

- Обробка природної мови дозволяє керувати голосом навігацією, розвагами та функціями автомобіля.

- Штучний інтелект постійно вивчає звички водіїв, щоб надавати персоналізовані рекомендації та оптимізувати інтерфейс користувача.

Які виклики впровадження ШІ в автомобільній промисловості? Як їх подолати? Хоча інтеграція штучного інтелекту в автомобільну промисловість пропонує трансформаційні переваги, вона також представляє кілька критичних проблем, які необхідно вирішити, щоб забезпечити безпечне, ефективне та стійке впровадження.

Конфіденційність даних і ризики кібербезпеки

Підключені й автономні транспортні засоби генерують і передають величезну кількість конфіденційних даних — від поведінки водія до відстеження місцезнаходження в реальному часі. Це відкриває вразливі місця для кібератак і порушень конфіденційності.

Як подолати:

- Застосуйте наскрізне шифрування та захищену архітектуру даних
- Дотримуйтеся глобальних норм захисту даних, таких як GDPR і CCPA
- Використовуйте системи кібербезпеки на основі штучного інтелекту для виявлення аномалій і реагування на загрози в реальному часі

Питання щодо регулювання та безпеки

Швидкі темпи інновацій штучного інтелекту в автономних транспортних засобах часто випереджають законодавство та глобальні стандарти безпеки, створюючи невизначеність і можливі проблеми відповідальності.

Як подолати:

- Дотримуйтеся таких стандартів, як ISO 26262, рівні автономності SAE та норм ЄЕК ООН
- Співпрацюйте з регуляторами та органами тестування для безпечного розгортання ШІ
- Використовуйте платформи моделювання та тестування на базі штучного інтелекту, щоб перевірити безпеку за різних умов водіння

Високі початкові інвестиції та інтеграційні бар'єри

Розробка та розгортання автомобільних систем на основі штучного інтелекту передбачає значні витрати на дослідження та розробки, вимоги до кваліфікованої робочої сили та проблеми сумісності системи.

Як подолати:

- Почніть із масштабованих рішень ШІ (наприклад, Visure Requirements ALM Platform) для поступового впровадження
- Використовуйте інтеграційні платформи ШІ та хмарні інструменти, щоб зменшити витрати на інфраструктуру
- Інвестуйте в навчання персоналу та співпрацю з постачальниками ШІ

Майбутнє ШІ в автомобільній промисловості

Майбутнє штучного інтелекту в автомобільній промисловості обіцяє революційні досягнення, які переосмислять мобільність, безпеку та персоналізацію. У міру розвитку технологій штучного інтелекту автомобільний сектор стане свідком експоненціальних інновацій, керованих розумнішими системами, прийняттям рішень у реальному часі та глибшою співпрацею людини та машини.

Тенденції ШІ формують автомобільні інновації

Майбутнє буде живитися завдяки:

- Автономні транспортні засоби рівня 4 і 5, які використовують вдосконалені алгоритми ШІ
- Програмно-визначені транспортні засоби (SDV) на основі штучного інтелекту з безперервним оновленням по повітрю
- Прогностичний штучний інтелект для діагностики в реальному часі та персоналізації автомобіля

Ці тенденції прискорять впровадження штучного інтелекту в підключені автомобілі, розумну мобільність і системи міського транспорту.

Роль генеративного ШІ та периферійних обчислень

- Generative ШІ оптимізує конструкцію автомобіля, симулює сценарії водіння та навіть персоналізує маркетингові стратегії.
- Граничні обчислення забезпечать обробку ШІ в режимі реального часу на рівні транспортного засобу, зменшуючи затримку для критично важливих для безпеки функцій, таких як виявлення перешкод і зв'язок V2X.

Разом ці технології сприятимуть розумному прийняттю рішень у режимі реального часу в підключених автомобілях.

Прогнози на 2026 рік і далі

За прогнозами галузевих аналітиків, до 2026 року та надалі:

- Понад 60% нових транспортних засобів мають системи з підтримкою штучного інтелекту
- Швидке зростання платформ електричних і автономних транспортних засобів на основі ШІ
- Збільшення попиту на програмне забезпечення для автомобілів на основі штучного інтелекту, прогнозне технічне обслуговування та інструменти проектування на основі штучного інтелекту

У міру розвитку нормативно-правової бази та вдосконалення інфраструктури ШІ в автомобільній промисловості стане основою мобільності наступного покоління.

Висновок

Штучний інтелект робить революцію в автомобільній промисловості, забезпечуючи досягнення, про які колись можна було лише мріяти. Штучний інтелект пропонує розумніші, безпечніші та ефективніші рішення для

мобільності: від автономного водіння та прогнозованого технічного обслуговування до підключених транспортних засобів і виробництва на основі штучного інтелекту.

Незважаючи на такі проблеми, як кібербезпека, дотримання нормативних вимог і високі витрати на інтеграцію, майбутнє ШІ в автомобільній промисловості виглядає неймовірно багатообіцяючим. З розвитком генеративного штучного інтелекту, периферійних обчислень і платформ на основі штучного інтелекту автовиробники прискорюють впровадження інновацій протягом усього життєвого циклу автомобіля.

Щоб залишатися попереду в цьому сучасному напрямку, що швидко розвивається, компанії повинні прийняти надійні, масштабовані та керовані штучним інтелектом рішення, які забезпечують якість, відповідність і наскрізну відстежуваність.

Використання штучного інтелекту (ШІ) в автомобілях є одним із ключових трендів сучасної автопромисловості, що спрямований на підвищення безпеки, комфорту та автоматизацію керування. ШІ трансформує автомобілі з механічних засобів пересування на "розумні" підключені пристрої.

Література

1. Роль штучного інтелекту в автономному транспорті : сайт. URL: <https://energymap.com.ua/rol-shtuchnogo-intelektu-v-avtonomnomu-transporti-dosyagnennyata-vyklyky/> (дата звернення 14.03.2026)
2. Intelligent Transportation System Technologies, Challenges and Security : сайт. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/11/4646> (дата звернення 14.03.2026)
3. Integrative analysis of multimodal traffic data: addressing open challenges using big data analytics : сайт. URL: <https://etrr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-021-00520-3> (дата звернення 14.03.2026)
4. Open Data & Analytics For Urban Transportation : сайт. URL: <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/open-data-analytics/> (дата звернення 14.03.2026)
5. Intelligent Transport Systems (ITS). Introduction Guide : сайт. URL: https://www.jsce-int.org/system/files/ITS_Introduction_Guide_2.pdf 14.11.2024)
7. Intelligent Transport Systems and Smart (дата Mobility : <https://www.itu.int/en/ITU-T/ITS/Pages/default.aspx> (дата звернення 14.03.2026)

Нуковий керівник Шаповаленко В.О., асистент кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула

Мазелюк Павло, ст. гр. ІАТМ-11
Луцький національний технічний університет
mazelukpavlo@gmail.com

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАПАС ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Електромобіль є чутливим до умов зовнішнього середовища, а температура повітря належить до найважливіших чинників, що визначають фактичний запас ходу. На відміну від автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, в електромобілі частина енергії тягової батареї витрачається не лише на рух, а й на забезпечення теплового комфорту в салоні, підігрів батареї, роботу систем розморожування та кондиціювання. Саме тому реальний пробіг суттєво відрізняється від паспортних значень у холодний і спекотний періоди року [1-3].

Основний механізм зниження запасу ходу за низьких температур пов'язаний зі зменшенням ефективності літій-іонної батареї. У холоді зростає внутрішній опір елементів, зменшується доступна корисна енергія та погіршується приймання рекуперативної енергії. Додатково зростають витрати на обігрів салону, сидінь, скла та керма. За даними реальних дорожніх випробувань у Великій Британії, в міському режимі за температури 0-15 °C запас ходу електромобіля був приблизно на 28 % нижчим, ніж за помірних температур 15-25 °C [1]. Дослідження NREL також підтверджує, що в холодному кліматі суттєву частку втрат формують саме допоміжні споживачі енергії та попередній прогрів автомобіля [4].

Не менш важливим є вплив високих температур. У спекотну погоду батарея працює в умовах підвищеного теплового навантаження, а частина енергії спрямовується на охолодження батареї та салону. За результатами дослідження, виконаного на основі понад 3000 поїздок у Кувейті, мінімальна енергоемність руху спостерігалася за температури близько 22–23 °C; подальше підвищення температури призводило до збільшення питомих витрат енергії та зменшення запасу ходу [2]. Отже, негативний ефект має як холод, так і спека, а найсприятливішим є помірний температурний діапазон.

Українські дослідження підтверджують цю закономірність. За даними О. П. Сакно та співавторів, найменше енергоспоживання досягається близько 20–21,5 °C; при 0 °C втрати запасу ходу становлять близько 20 %, при –10 °C — до 40 %, а при –20 °C - до 50 % [3]. Аналогічно, для Hyundai Kona Electric встановлено, що оптимальним є діапазон 10–30 °C у міському режимі та 12–28 °C на трасі, де досягається найкраще співвідношення між витратами енергії та пройденою відстанню [5].

Окремої уваги потребує аналіз режимів прогріву системи електромобіля перед початком руху. У сучасних електромобілях застосовуються кілька основних режимів попередньої термopідготовки: прогрів салону, прогрів тягової батареї та комбінований режим, за якого одночасно забезпечується комфорт водія і пасажирів та виведення батареї в оптимальний температурний діапазон [4; 6]. Найефективнішим є попередній прогрів під час підключення

автомобіля до зовнішнього джерела живлення, оскільки в такому разі енергія на обігрів салону і батареї надходить із мережі, а не з тягової батареї. Це дає змогу зменшити початкові енерговитрати після старту та знизити втрати запасу ходу, особливо за низьких температур [6].

У холодних умовах попередній прогрів батареї є важливим не лише для збільшення запасу ходу, а й для покращення приймання потужності під час рекуперації та заряджання. Якщо батарея не прогріта, система керування обмежує її навантаження та зарядні струми, що погіршує динаміку енергетичних процесів у перші хвилини руху [4; 7]. Дослідження показують, що підігрів системи перед короткими поїздками є особливо доцільною, оскільки без неї значна частка енергії витрачається саме на початковий розігрів систем автомобіля. Водночас за тривалих поїздок ефект прогріву частково нівелюється, оскільки теплова рівновага досягається вже в процесі експлуатації [4; 6].

Слід також враховувати, що режими попереднього підігріву системи можуть бути орієнтовані не лише на початок руху, а й на підготовку батареї до швидкого заряджання. У такому випадку система доводить температуру акумулятора до рівня, за якого забезпечуються кращі умови приймання енергії та скорочується тривалість зарядного сеансу [7]. Отже, попередній прогрів слід розглядати як важливий елемент енергетичного менеджменту електромобіля, що безпосередньо впливає на реальний запас ходу, стабільність роботи батареї та загальну ефективність експлуатації [4; 6; 7].

Практичне значення аналізу полягає в тому, що під час планування експлуатації електромобілів необхідно враховувати сезонні поправки до запасу ходу. Для зменшення температурних втрат доцільно застосовувати попередню термопідготовку батареї під час заряджання, використовувати локальні засоби обігріву замість інтенсивного нагріву всього салону, уникати тривалого зберігання автомобіля з критично низьким зарядом у мороз, а також враховувати вплив температури при плануванні мережі зарядної інфраструктури [2; 4].

Отже, температура навколишнього середовища істотно впливає на запас ходу електромобіля через зміну ефективності тягової батареї та зростання енерговитрат на допоміжні системи. Найвищі значення пробігу досягаються за помірної температури близько 20–23 °С, тоді як холод і спека зумовлюють відчутне зменшення реального запасу ходу. Це необхідно враховувати як у наукових дослідженнях, так і в практиці експлуатації електричного транспорту [1–7].

Література

1. Al-Wreikat Y., Serrano C., Sodr  J. R. Effects of ambient temperature and trip characteristics on the energy consumption of an electric vehicle. *Energy*. 2022. Vol. 238, Part C. Article 122028. DOI: 10.1016/j.energy.2021.122028.

2. Hamwi H., Rushby T., Mahdy M., Bahaj A. S. Effects of High Ambient Temperature on Electric Vehicle Efficiency and Range: Case Study of Kuwait. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 9. Article 3178. DOI: 10.3390/en15093178.

3. Сакно О. П., Сакно О. Р., Медведєв Є. П., Цимбал С. В. Дослідження впливу зовнішніх факторів на експлуатаційні властивості електромобіля. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2024. Т. 19, № 1. С. 131–138.

4. Esparza, Eliseo, et al. "Electric Vehicle and Charging Infrastructure Assessment in Cold-Weather Climates: A Case Study of Fairbanks, Alaska." , Jan. 2025. <https://doi.org/10.2172/2500794>.

5. Гнатов А., Аргун Щ., Ульянець О., Іванов Д. Вплив температури навколишнього середовища та швидкості руху електромобіля Hyundai Kona Electric на його пробіг. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2025. № 28. С. 14–24. DOI: 10.30977/VEIT.2025.28.0.2.

6. Barnitt R., Brooker A., Ramroth L., Rugh J., Smith K. Analysis of Off-Board Powered Thermal Preconditioning in Electric Drive Vehicles. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory, 2010. 21 p. NREL/CP-5400-49252. DOI: 10.2172/1004898.

7. M.A. Bamdezh, G.R. Molaeimanesh, R. Mohammadi Saman Kand, M. Mostajeran, Effects of temperate, cold, and warm climate conditions on electric vehicle and battery thermal management system performance: Energy usage, battery aging, and carbon footprints, *Energy Conversion and Management*, Volume 339, 2025, 119935, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119935>.

Науковий консультант: Дембіцький В.М., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, к.т.н. Луцький національний технічний університет

Осінний Владислав , ст.гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ РУЛЬОВИХ МЕХАНІЗМІВ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ

Яким би гарним і потужним не був автомобіль, без цього механізму на ньому неможливо було б безпечно пересуватися. Рульове управління дозволяє транспортному засобу маневрувати на поворотах (рис.1).



Рисунок 1. Маневрування автомобіля на повороті

Рульове управління найчастіше повертає передні колеса, проте зустрічаються і двовісний привід (в основному це великогабаритна техніка з чотирма осями, дві з яких повертають), а також модифікації з заднім приводом. Жоден автомобіль не зможе обійтися без рульового управління, так як всвіті не існує прямої дороги. Навіть якби умовно уявити собі таку трасу, на ній все одно з'являлися б перешкоди, які потрібно було б об'їжджати. Без рульового управління також неможливо було б безпечно припаркувати своє авто.

Рульове керування - це система, за допомогою якої водій задає напрямок руху автомобіля. До неї входять декілька складових: колонка, кермо, привід і тяги. Повороти автомобіля здійснюються за рахунок зміни траєкторії руху передніх коліс [1]. Напрямок залежить від положення керма, яке передається на колеса через колонку і тяги. Колонка, в свою чергу, — це досить складний шарнірний механізм, спроектований з можливістю складання при пошкодженні. Інженерні рішення такого роду допомагають зберегти життя водія в екстремальних ситуаціях [Жоден із засобів пересування не позбавлене даного пристрою. В одних випадках воно має примітивну конструкцію, в інших - досить складну, щоб ремонт могли виконати тільки фахівці.

Навіть в автомобілях система рульового управління теж має кілька модифікацій.

Система рульового управління це сукупність деталей в одному механізмі, мета яких - змінювати кут положення передніх коліс автомобіля для повороту транспортного засобу в процесі руху. Цей механізм дозволяє змінювати напрямок авто в залежності від бажання водія.

Управляється система завдяки повороту рульового колеса. Щоб полегшити завдання для водія в великогабаритний транспорт завжди встановлюється підсилювач керма. Однак останнім часом переважна більшість легкових автомобілів також оснащуються різними модифікаціями підсилювачів.

Пристрій рульового управління

Стандартна система рульового управління складається з таких компонентів:

- Кермо. Розташовано в кабіні (або салоні транспортного засобу). Змінюючи його положення, водій міняє відхилення лівого і правого колеса від первісної траєкторії. У сучасних автомобілях на ньому розташовуються деякі функціональні кнопки (наприклад, для управління мультимедійною системою або перемикання відображуваних параметрів на екрані приладової панелі) (рис.2).



Рисунок 2. Кермо

Рульова колонка.

Це один з різновидів карданної передачі. В даному механізмі кілька валів з'єднані між собою шарнірами. Завдяки такій конструкції виробники можуть застосувати опцію зміни кута нахилу колонки (для забезпечення більшого



Рисунок 3. Рульова колонка

комфорту, якщо машину водить не одна людина, наприклад, і чоловік, і дружина). Рульова колонка передає крутний момент від керма до рульового механізму. Наявність декількох шарнірів також служить в цілях підвищення безпеки при лобовому зіткненні (рис.3). Багатосекційна колонка легше деформується, що заподіює менше шкоди для водія. На корпусі цього механізму встановлюються підрульові перемикачі (основними є перемикачі світла і режимів склоомивача).

- Рульовий механізм. Складається з рулевих тяг різної довжини, які приймають на себе зусилля від рульової колонки і передають його далі на колеса. В даний механізм також входять наконечники і важелі (рис.4). Залежно від моделі автомобіля конструкція цієї частини теж може відрізнятися. Крім основних елементів в рульовому управлінні також можуть бути присутніми підсилювач керма і амортизаційна (демпферна) системи.



Рисунок 4. Рульовий механізм

Пристрій системи рульового управління

На сьогоднішній день існує безліч модифікацій рульової системи автомобіля. Є навіть розробки, які здатні втручатися в дії водія, коректуючи маневри транспортного засобу. Є також розробки з автоматичним пілотуванням, хоча повноцінні автопілот ще знаходяться на стадії концепції, та й законодавство поки не допускає на громадські дороги машини з автономним управлінням.

Серед сучасних систем допомоги водієві є утримання в смузі руху або контроль стану водія (наприклад, коли він засинає, руки плавно послаблюють хват рульового колеса, на цю силу реагують датчики і система перебудовує автомобіль на узбіччя) .

У стандартне рульове управління входять такі компоненти:

- Рульове колесо;
- Рульова колонка;
- Рульовий привід;
- Підсилювач керма

Так як стандартний рульовий механізм для повороту коліс (особливо в автомобілі, що стоїть) вимагає певних зусиль з боку водія, виробники розробили різного роду підсилювачі. Спочатку гідравлічні модифікації застосовувалися на вантажному транспорті. Поступово така система отримала своє застосування і в легкових автомобілях.

Необхідність в підсилювачі з'явилася не тільки заради збільшення комфорту. Справа в тому, що при русі на великій швидкості утримувати кермо автомобілі на віражах стає важким завданням, особливо в спортивному автомобілі. Підсилювач рульового механізму полегшує цей процес (рис.5). Також система отримала позитивні відгуки у представниць слабкої статі.



Рисунок 5. Підсилювач керма

Підсилювачі працюють за різними принципами. Найпоширеніший - гідропідсилювач. Чималу популярність також придбали і електропідсилювач. Але існують також комбіновані системи, які задіюють функції обох модифікацій

Принцип рульового управління досить простий. Водій повертає кермо, зусилля передаються на рульову колонку. Далі вони надходять на рульовий механізм. У класичному виконанні рейка надає руху кермові тяги, з'єднані з колесами за допомогою системи кульових наконечників.

Точність повороту колеса безпосередньо залежить від розмірів керма [2]. Також від цього параметра залежить зусилля, яке потрібно прикласти, щоб повернути колеса. У багатьох моделях встановлені електричні або гідропідсилювачі, які дають можливість використовувати в машині маленький кермо.

Всі системи рульового управління (рис.6) діляться на три види:

- Рейковий механізм. Найчастіше використовується в бюджетних автомобілях. Конструкція такого управління найпростіша. У ньому є рейка з зубцями. Вона приводиться в рух завдяки шестірні рульової колонки. Така схема має високу ефективність. Єдиним недоліком такого механізму є чутливість до ударів від неякісного дорожнього покриття.
- Черв'ячний механізм. Така модифікація забезпечує більший кут повороту колеса.

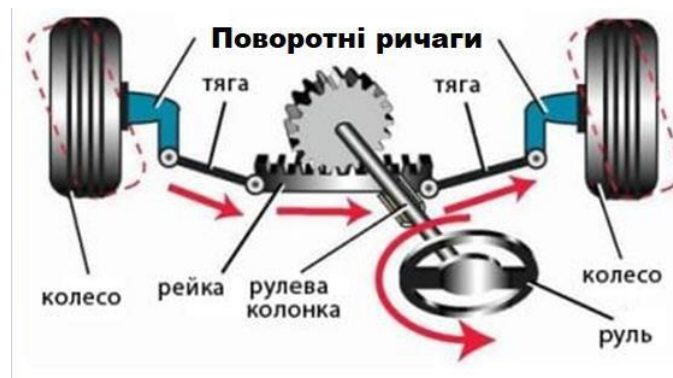


Рисунок 6. Схема рульового керування

Вона менш чутлива до ударних навантажень, однак коштує дорожче, ніж попередня, так як більш складна у виготовленні.

- Гвинтовий механізм. Є модифікацією черв'ячного аналога, тільки має підвищений ККД і збільшує зусилля, необхідні для маневру автомобіля.

Незалежно від типу приводу, робота даних механізмів може бути посилена такими пристроями:

- Гідропідсилювач. Має найпростішу конструкцію в даному переліку. Система компактна і дешева в обслуговуванні. Такий модифікацією оснащуються навіть деякі бюджетні моделі авто останніх поколінь. Щоб

система справно працювала, необхідно постійно контролювати рівень робочої рідини. Насос підсилювача наводиться в рух робочим ДВС.

- Електропідсилювач. Це одна з найостанніших модифікацій. Вона не потребує складного обслуговування, а також тонкої настройки. Забезпечує максимальну чуйність рульового управління. Як впливає з назви, механізм посилюється роботою електричного мотора.

- Електрогідравлічний підсилювач. Така модифікація працює за принципом ГУР. Єдина відмінність полягає в тому, що гідронасос працює від електрики, а не приєднується до приводу мотора, як у першому випадку. Останні дві розробки дозволяють використовувати менше палива в порівнянні з першим типом, так як робота системи не пов'язана з приводом двигуна.

Автомобіль також може бути оснащений системою активного динамічного або адаптивного управління

Останнім часом на деяких моделях авто преміум-класу і спорткарах встановлюється особлива технологія з поворотом не тільки передніх, але і задніх коліс. Це збільшує стабільність автомобіля при проходженні повороту на високій швидкості. Задні колеса повертаються в залежності від швидкості ТЗ.

Якщо машина їде максимум 40 км / год, то задня вісь повертається в протилежному напрямку від передніх коліс (якщо спереду вони дивляться вправо, то задні будуть дивитися вліво).

Коли швидкість авто стає вище 40 км / ч, то при вході в поворот задні колеса будуть повертатися в ту ж сторону, що і передні. Це знижує ризик утворення заносу.

Рульове управління будь-якого транспортного засобу має відповідати наступним вимогам:

- Забезпечувати достатню маневреність ТЗ на будь-яких швидкостях. Водій повинен з легкістю задавати потрібний напрямок автомобіля;

- Воно повинно бути легким у використанні, щоб навіть втомлений водій міг безпечно дістатися до місця відпочинку;

- При повороті коліс рульове управління повинне забезпечити максимально чисте кочення. На віражах колеса не повинні ковзати, щоб автомобіль не втрачав своєї стабільності. Для цього кут нахилу і повороту коліс повинен бути чітко вивіреним;

- Повертати колеса назад в прямолінійний напрямок (уздовж кузова), після того як водій припиняє докладати зусиль для повороту;

- Гасити вібрації при русі по нерівному дорожньому покриттю;

- Володіти високою чуйністю на будь-які команди водія;

- Навіть при виході з ладу підсилювачів, механізм повинен все одно дозволяти водієві керувати машиною.

Ще одним параметром, який відноситься до категорії вимог для рульового управління, є люффт керма.

Особливості правостороннього і лівостороннього рульового управління

Ні для кого не є секретом, що закон деяких країн передбачає лівосторонній рух по дорозі. У цьому випадок рульове колесо буде встановлено з правого боку авто, а водій, природно, буде сидіти там, де звично в нашому регіоні бачити переднього пасажирів.

Різниця такого рульового управління полягає не тільки в розташуванні керма в салоні. Виробник адаптує також і рульовий механізм згідно з підключенням до редуктора. Але навіть в такому випадку автомобіль, призначений для експлуатації на дорогах з лівостороннім рухом, можна переобладнати під умови правостороннього. Для цього перед покупкою оригінального автомобіля слід з'ясувати, чи продаються відповідні кермові механізми, що дозволяють переобладнати даний автомобіль.

На деяких типах сільськогосподарської техніки використовується гідравлічна система, яка дозволяє встановлювати кермо в будь-якій частині

кабіни. У цьому випадку зв'язок між рульовим колесом і приводом рульового механізму забезпечується гідравлікою, яка управляється насосом-дозатором.

У такій модифікації відсутня люффт (навіть заводський), так як в ній немає редуктора з шестеренчатой, черв'ячної або гвинтовий передачею. Звичайно, в легковому транспорті така система зустрічається вкрай рідко. Основне її застосування - велика спецтехніка.

Основним показником для рульового механізму є безпека дорожнього руху. Забезпечення працездатності рульового механізму здійснюється за рахунок ефективного конструювання, а також системи ТО і ремонту автомобілів. Ремонт рульового механізму є складним технологічним процесом, який потребує наявності кваліфікованих працівників, спеціального обладнання і інструменту для ремонту та регулювання.

Література

1. M. Diachuk, O. Lykhodii, Leontiev, D., L. Ryzhykh, & Yu. Aleksandrov. (2022). Dynamic modeling of semitrailer trucks equipped by steered wheels. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 16(1), 8691–8705. <https://doi.org/10.15282/jmes.16.1.2022.04.0687>
2. Леонтьєв Д.М., Лиходій О.С., Малий В.М. (2025). Особливості вирішення задачі повороту керованих коліс вантажних автомобілів. *Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств: зб. матеріалів IV Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару*, 29 трав. 2025 р./ Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, С. 10–14.

Науковий керівник Альока М.М., професор кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВЗ

Електронна система автоматичного управління двигуном (ЕСАУ-Д) складається з датчиків для постійного контролю за його параметрами і параметрами навколишнього середовища, електронного блоку керування (ЕБК) на основі мікропроцесора і виконавчих пристроїв, за допомогою яких ЕБК керує двигуном по закладеній у його пам'ять програмі та у відповідності з інформацією від датчиків [1].

Електронне управління необхідно для задоволення високих вимог щодо екологічності, паливної економічності, експлуатаційних характеристиках, зручності обслуговування і діагностики, що висуваються до сучасних автомобільних двигунів законодавчо і споживачами. У вихлопних газах містяться залишки вуглеводневого палива (СН), окис вуглецю (СО), двоокис вуглецю (СО₂), оксиди азоту NO_x, азот (N) і кисень (O₂). Вміст вуглеводнів вимірюється в частинах на мільйон за обсягом [2].

Нормально працюючий двигун спалює в циліндрах практично все паливо. Окис вуглецю – нестійка хімічна сполука, легко вступає в реакцію з киснем, у результаті якої утворюється двоокис вуглецю СО₂. СО – отруйний газ, вступаючи в легенях людини в реакцію з киснем, викликає сильне отруєння (можливий летальний наслідок). Рівень СО у вихлопних газах вимірюється у відсотках і не повинен перевищувати 0,5 %. Двоокис вуглецю СО₂ – результат з'єднання вуглецю із палива з киснем повітря. Допустимий вміст 12 ... 15 %. Високі значення свідчать про хорошу роботу двигуна.

Низький рівень СО₂ свідчить про те, що паливно-повітряна суміш (ПП-суміш) багата чи бідна. Підвищення концентрації СО₂ в атмосфері сприяє розвитку парникового ефекту. Кисень – у повітрі його 21 %, і більша частина вступає в реакцію з паливом. Рівень кисню у вихлопних газах повинен бути низьким, менше 0,5 %. У камері згоряння двигуна утворюється група оксидів азоту – безбарвний газ без смаку і запаху. Двоокис азоту NO₂ – рудуватий газ із кислим їдким запахом, слабо токсичний. Оксиди азоту формуються в камері згоряння двигуна при температурі вище 1370 °С (2500 °F) або при великому тиску [3].

На роботу бензинового двигуна сильно впливає співвідношення між масою повітря і палива в горючій суміші. В ідеальному випадку при повному спалюванні 1 кг (1 л) бензину в 14,7 кг (10 м³) повітря утворюються нетоксичні речовини вода та двоокис вуглецю. Співвідношення між масою повітря і палива, рівне 14,7:1, називається стехіометричним. Якість ПП-суміші визначається коефіцієнтом надлишку повітря λ , який дорівнює відношенню фактичного складу ПП-суміші до її стехіометричного складу [4].

Повне згоряння палива в циліндрах ДВС має місце при $\lambda = 1$. Але, у зв'язку з низкою причин, навіть при стехіометричному складі ПП-суміші згорання здійснюється не повністю й утворюються токсичні речовини.

Згоряння багаті ПП-суміші ($\lambda < 1$) призводить до появи надлишкової кількості CO, H₂ і CH. Бідні ПП-суміші ($\lambda = 1$) згоряють з утворенням NO_x і призводять до пропусків запалення. У каталітичному газонейтралізаторі, що встановлюється на сучасному автомобілі, відбуваються хімічні реакції, які зменшують концентрацію токсичних речовин у вихлопних газах:



У сучасних газонейтралізаторах як каталізатори хімічних реакцій використовують благородні метали, наприклад платину. Для нормальної експлуатації каталітичного газонейтралізатора необхідна підтримка стехіометричного складу ПП-суміші з високою точністю – менше 1 %. В іншому випадку нейтралізатор поступово деградує. Така точність дозування без електронного управління недосяжна. У справному каталітичному нейтралізаторі до 90 % токсичних речовин переробляється в нетоксичні. Неоптимальні значення кута випередження запалювання призводять до збільшення концентрації CH у вихлопних газах.

Точне завдання кута випередження запалювання для всіх режимів роботи двигуна можливе тільки з допомогою електронної системи управління. У дизелях паливо вприскується безпосередньо в циліндри і запалюється за рахунок розігріву повітря, яке стискається. У дизелях λ завжди більше одиниці. При оптимальних значеннях $\lambda = 1,1 \dots 1,2$ у вихлопних газах міститься мінімальна кількість сажі, CH і CO. На дизелях працюють двокомпонентні окислювальні каталітичні нейтралізатори, що перетворюють CH і CO в CO₂ і H₂O.

Застосування трикомпонентного каталітичного нейтралізатора неможливе через Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. І. Андрєєв, В. Ю. Голдун надлишок повітря. На процес згоряння палива сильно впливає точність синхронізації його вприскування. Наприклад, похибка початку вприскування в 1° оберту колінчастого вала веде до збільшення вмісту у вихлопних газах на 5 % і CH на 15 %. Для зменшення їх концентрації на дизелях, як і на бензинових двигунах, застосовується система рециркуляції вихлопних газів.

Економія палива в двигунах з електронним управлінням досягається за рахунок його більш точного дозування у всіх режимах роботи і відключення подачі палива, коли це припустимо, наприклад, при гальмуванні двигуном. Збіднення горючої ПП-суміші з метою економії палива призводить до необхідності збільшувати кут випередження запалювання, тому бідна суміш горить повільно, але при цьому зростає токсичність вихлопних газів. Управління кутом випередження запалювання здійснюється електронною автоматикою шляхом компромісу між кількістю споживаного палива та вмістом токсичних речовин у вихлопних газах за складним алгоритмом. ЕБК у фоновому режимі постійно контролює справність підключених до комп'ютера датчиків і виконавчих механізмів, а також справність систем, вихід із ладу яких веде до збільшення забруднення навколишнього середовища (каталітичний газонейтралізатор, система подачі палива і т. д.

У сучасних системах керування двигунами встановлюються, як правило, датчики масової витрати повітря [5,6]. Визначивши необхідну масу палива FM, контролер за відомою продуктивності форсунок обчислює для них базові значення часу включення. Для того щоб маса палива, яка подається через форсунки, залежала тільки від тривалості їх включення, в рампі форсунок щодо впускного колектора спеціальним регулятором підтримується постійний тиск палива. Базові значення тривалості включення форсунок-контролер коригує залежно від режиму роботи двигуна. Так реалізуються компенсація змін електромеханічних характеристик форсунок при варіаціях напруги бортової мережі, корекція по сигналу від датчика кисню, збагачення паливної суміші при прогріванні двигуна і т. д.

У двигунах із розподіленим впорскуванням, залежно від складності та досконалості системи, управління подачі палива проводиться таким чином: – усі форсунки включаються одночасно один раз за один оборот колінчастого валу; – форсунки включаються групами, наприклад, парами для 4-циліндрового двигуна, один раз на 4 такти. Групи управляються роздільно; – форсунки управляються незалежно, тобто подача палива на відповідному такті впуску ПП-суміші в кожен циліндр регулюється індивідуально.

Управління за сигналом датчика кисню. Сигнал із датчика кисню надходить в ЕБК двигуна, де порівнюється з опорною напругою $V_S = 0,45$ В. Ця напруга знаходиться приблизно посередині між рівнями сигналів для збідненої і збагаченої ТВ-суміші для цирконієвого датчика. Коли сигнал із датчика кисню перевищує опорний рівень, програмне забезпечення ЕБК двигуна визначає робочу ПП-суміш як збагачену й ЕБК починає поступово зменшувати тривалість імпульсу відмикання форсунки. Датчик реагує на зміну складу паливо-повітряної суміші з деякою затримкою. Чим довше датчик кисню індикує збагачений склад ПП-суміші, тим більше зменшується тривалість імпульсу відмикання форсунок і тим бідніше стає ПП-суміш.

У результаті таких дій вихідний сигнал датчика кисню перейде на рівень нижче опорного і ЕБК зафіксує збіднений склад суміші. Далі починається поступове збільшення тривалості імпульсу відмикання форсунок, і збагачення ПП-суміші буде продовжуватися до тих пір, поки датчик кисню знову не переключиться. Таким чином, склад ПП-суміші постійно коливається між збідненим і збагаченим станами навіть при роботі справного датчика кисню при постійному навантаженні двигуна. У такому випадку має місце релейна стабілізація при коливаннях щодо граничного циклу. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами

Для більшості двигунів при роботі на холостому ходу частота f лежить у діапазоні 0,5 ... 2,0 ГЦ. У новітніх ДВС – до 1 ГЦ. Відзначимо, що дана релейна система стабілізації підтримує стехіометричний склад ПП-суміші з похибкою 1 ... 5 %. Каталітичний газонейтралізатор має деякий робочий об'єм для вихлопних газів, що виконує функцію ресівера, демпфуючого коливання в складі відпрацьованих газів. Таким чином, у ресивері каталізатора продукти згоряння перемішуються й усереднений їх склад стає близьким до складу продуктів згоряння стехіометричної ПП-суміші. Це сприяє більш ефективній

роботі газонейтралізатора, і кількість токсичних речовин на його виході стає мінімальною. Відзначимо також, що через затримку спрацювання системи управління складом ПП-суміші за сигналом датчика кисню не має необхідної швидкодії. Наслідком інерційності може бути збільшення викиду токсичних речовин із вихлопними газами при роботі двигуна на перехідних режимах. На практиці контролер для керування подачею палива використовує не тільки сигнал із датчика кисню, але й калібрувальні діаграми в осях «обороти – навантаження двигуна», що зберігаються в пам'яті ЕБК.

Управління кутом випередження запалювання. Правильна установка поточного значення кута випередження запалювання оптимізує обертовий момент на валу двигуна, мінімізує вміст токсичних речовин у вихлопних газах, зменшує витрату палива, покращує їздові характеристики, виключає детонацію. Базові значення для визначення кута випередження запалювання залежно від навантаження і обертів двигуна закладені в постійній пам'яті контролера. Їх отримують під час експериментальних досліджень знову розроблюваного двигуна на стендовому динамометрі. Базові значення коригуються залежно від режиму роботи двигуна: перегрів, прискорення, включення системи рециркуляції вихлопних газів і т. д. У деяких системах, змінюючи кут випередження запалювання, стабілізують оберти холостого ходу й регулюють оберти двигуна при перемиканні швидкостей в автоматичній коробці перемикання передач. У сучасних системах запалювання первинний струм котушки запалювання регулюється часом її підключення до напруги живлення. ЕБК визначає тривалість тимчасового інтервалу підключення за рахунок калібрувальних діаграм, що зберігаються в постійній пам'яті, і в залежності від оборотів двигуна та напруги бортової мережі виконує коригування. Робота ключа (комутатора запалювання) синхронізується так, щоб необхідне значення струму первинної обмотки котушки запалювання досягалось безпосередньо перед моментом іскроутворення.

Значення кута випередження запалювання, що забезпечують найбільш ефективну роботу двигуна, близькі до граничних, на яких виникає детонація. При виявленні детонації датчиком детонації кут випередження запалювання відповідно зменшується. У сучасних системах управління кут випередження запалювання регулюється роздільно по циліндрах.

Режими роботи електронної системи управління двигуном [7,8]:

1. Запуск двигуна Двигун при прокрутці стартером повинен швидко запускатися при будь-якій температурі охолоджувача і зовнішнього середовища. При запуску паливо подається з надлишком (багата ПП-суміш), тому погано випаровується в холодному двигуні й конденсується на стінках впускного колектора. Але свічки запалювання заливатися не повинні, інакше іскроутворення погіршиться. Під час запуску ЕБК управляє подачею палива по калібрувальних діаграмах, що зберігаються в постійній пам'яті, і коригують склад ПП-суміші за температурою охолоджувальної рідини. Датчик кисню в цей час ще не працює, тому що не прогрітий, а ПП-суміш збагачена. Кількість палива, що подається, починає зменшуватися, після того як швидкість

обертання колінчастого вала перевищить граничне значення для цього типу двигуна.

У деяких системах управління при прокрутці ДВС усі форсунки відкриваються одночасно і тільки після запуску починають працювати синхронно з тактами впускання своїх циліндрів. Кут випередження запалювання при прокрутці визначається ЕБК за обертами і температурою двигуна. Для холодного двигуна і низької швидкості прокрутки кут випередження запалювання майже дорівнює нулю. У будь-якому випадку при прокрутці ДВС значення кута випередження запалювання обмежується, тому спалах у камері згоряння до верхньої мертвої точки може повернути колінчастий вал у зворотному напрямку і пошкодити стартер.

2. Прогрівання двигуна Відразу після запуску холодного ДВС під час його прогріву система управління двигуна повинна забезпечувати: – стійку роботу двигуна; – швидкий нагрів датчика кисню і каталітичного нейтралізатора для ведення їх у робочий стан; – мінімальне споживання палива та забруднення навколишнього середовища. Для стійкої роботи холодного двигуна в нього подається збагачена ПП-суміш. Ступінь збагачення залежить від температури двигуна і всмоктуваного повітря. У деяких системах під час прогріву в каталітичний газонейтралізатор подається додаткове повітря. Утворені в циліндрах надлишки СО і СН (через збагаченої ПП-суміші) доокисляються в каталітичному нейтралізаторі. Хімічна реакція окислення прискорює розігрівання нейтралізатора. В іншому варіанті під час прогріву двигуна збільшуються оберти холостого ходу і зменшують кут випередження запалювання, що підвищує температуру вихлопних газів і прискорює розігрівання каталітичного газонейтралізатора й датчика кисню. Застосовується і електричний розігрів датчика кисню і нейтралізатора.

3. Робота в перехідних режимах У перехідних режимах, тобто при швидкому збільшенні або зменшенні навантаження або обертів ДВС, система управління повинна забезпечувати плавну стійку роботу двигуна. При прискоренні автомобіля дросельна заслінка різко відкривається, у впускний колектор надходить більше повітря. Система управління повинна швидко відреагувати, щоб не тільки не допустити збіднення робочої суміші, а й встигнути збагатити її так, щоб двигун штатно відпрацював навантаження, яке зросло. При цьому не повинно помітно збільшуватися забруднення навколишнього середовища вихлопними газами. Для забезпечення максимального обертового моменту на валу двигуна кут випередження запалювання встановлюється на межі детонації.

При гальмуванні, їзді під гору, гальмуванні двигуном подача палива різко обмежується або повністю відключається до тих пір, поки оберти двигуна залишаються вище заданого значення (трохи більше обертів холостого ходу). Система управління двигуном стежить за тим, щоб при відключенні подачі палива не перейшли в неробочий стан датчик кисню і каталітичний нейтралізатор. Зазвичай це реалізується додатковим електропідігрівом.

4. Повне навантаження При їзді автомобіля під повним навантаженням, наприклад угору, двигун повинен розвивати максимальну потужність. ЕБК

управляє складом ПП-суміші і кутом випередження запалювання за калібрувальними таблицями. Двигун має найкращі тягові характеристики при $\lambda = 0,9 \dots 0,95$, у цьому діапазоні датчик кисню не працює. Кут випередження запалювання має значення, що забезпечує максимальний обертовий момент на валу, при необхідності проводиться корекція по детонації. Екологічні показники двигуна трохи погіршуються.

5. Робота на холостих обертах У режимі холостого ходу система управління двигуном із метою економії палива підтримує мінімальні стійкі оберти. У міському циклі руху на холостому ході автомобіль споживає близько 30 % палива. Система регулювання холостих обертів повинна відпрацьовувати як стрибкоподібно, так і плавно мінливі навантаження. Оберти двигуна на холостому ході автоматично регулюються зміною кількості повітря, що подається, або кута випередження запалювання. Повітря в режимі холостого ходу зазвичай потрапляє через байпасний канал, перетин якого регулюється кроковим двигуном за командами ЕБК. Є варіанти, коли кількість повітря, яке подають, регулюється автоматично керованим електропроводом дросельної заслінки. Недоліком системи управління оборотами холостого ходу шляхом зміни пропускного перетину повітряного каналу є її інерційність, особливо при стрибкоподібних змінах навантаження.

Більш високу швидкодію має система, що працює із зміною кута випередження запалювання в заданих межах. У сучасних ЕБК для управління обертами холостого ходу використовуються обидва ці варіанти управління. Щоб двигун, що працює на холостих обертах, не зупинявся при підключенні до нього потужного навантаження (наприклад, компресора кондиціонера), спочатку від вимикача навантаження на ЕБК надходить сигнал про майбутнє збільшення навантаження, по якому ЕБК збільшує оберти двигуна, і лише потім включається навантаження.

Використання електроніки в системах керування двигуном забезпечує отримання оптимального сумішоутворення (паливо-повітря) на всіх режимах його роботи, підвищуючи при цьому динаміку, економічність, а також знижуючи кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище, що є пріоритетним на сьогодні. Необхідно відзначити, що практично всі фірми-виробники автомобільної техніки перейшли на використання електронних систем керування двигунами, хоча ще досить велика кількість транспорту, що має старі системи живлення та запалювання, експлуатується на дорогах багатьох країн.

Література

1. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
2. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
3. Tom Denton. Electric and hybrid vehicles. New York, NY : Routledge, 2016. 207 p.

4. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics : an engineering perspective. Cambridge, MA : Butterworth-Heinemann, 2017. 712 p.
5. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.
6. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
7. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник. К. : Каравела, 2008. 400 с.
8. Мазепа С. С., Куцик А. С. Електрообладнання автомобіля : навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 168 с.

Науковий керівник: Дон Є.Ю., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, канд. техн. наук

Письменний Михайло, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

КОЛИВАННЯ ПІДРЕСОРЕНИХ ТА НЕПІДРЕСОРЕНИХ МАС ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КАТЕГОРІЇ N_2 ПРИ НАЇЗДІ ЙОГО КОЛІС НА ОДИНИЧНУ ПЕРЕШКОДУ

Теорія коливань є важливим розділом механіки, що має широке застосування в сучасному автомобілебудуванні. У процесі руху транспортного засобу по нерівностях дорожнього покриття виникають коливальні процеси, які суттєво впливають на комфорт, керованість, стійкість та довговічність автомобіля.

Особливе значення має дослідження коливань підресорених та непідресорених мас транспортного засобу. Підресорена маса включає кузов, кабіну та вантаж, тоді як непідресорена – елементи ходової частини, зокрема колеса, частину підвіски та мости. Взаємодія цих мас при русі автомобіля визначає характер коливань та ефективність роботи підвіски.

Розглядається транспортний засіб категорії N_2 , тобто вантажний автомобіль повною масою від 3,5 до 12 тонн. Для таких транспортних засобів питання динамічної навантаженості та коливань є особливо актуальним, оскільки вони експлуатуються в умовах змінних дорожніх навантажень і перевозять значні маси вантажу.

Одним із характерних випадків збурення коливальної системи є наїзд колес на одиничну перешкоду, що моделює нерівності дорожнього покриття. Такий вплив дозволяє оцінити динамічну реакцію транспортного засобу, визначити параметри коливань та дослідити процеси їх загасання.

Аналіз коливань підресорених та непідресорених мас при наїзді на перешкоду дає змогу оптимізувати параметри підвіски, покращити плавність ходу автомобіля та підвищити безпеку його експлуатації. Метою даної роботи є дослідження коливань підресорених та непідресорених мас транспортного

засобу категорії N_2 при наїзді коліс на одиничну перешкоду, а також аналіз впливу параметрів системи на її динамічні характеристики. теоретичні засади математичної моделі коливання підресорених та непідресорених мас автомобіля [1].

Розглянемо вантажний автомобіль, що належить до транспортних засобів категорії N_2 , у вигляді розрахункової схеми, наведеної на рисунку 1 дана схема застосовується для дослідження вертикальних коливань транспортного засобу під час руху по нерівному дорожньому покриттю. автомобіль представлено у боковій проєкції із умовним зображенням зосереджених мас, що значно спрощує подальший математичний опис динамічних процесів. Такий підхід дає можливість замінити реальну просторову конструкцію транспортного засобу еквівалентною механічною системою, яка складається з кількох мас, з'єднаних між собою пружними та демпфуючими елементами підвіски. Підресорені маси позначаються як M_1 та M_2 і відповідають передній та задній частині відповідно кузова автомобіля. Маса M_3 пов'язує між собою M_1 та M_2 . Такий розподіл дає змогу врахувати нерівномірність розташування маси вздовж бази автомобіля та оцінити її вплив на характер коливальних процесів.

Пружні властивості підвіски характеризуються коефіцієнтами жорсткості c_1 та c_2 для передньої і задньої осей відповідно, а демпфуючі властивості – коефіцієнтами в'язкості амортизаторів k_1 та k_2 . Додатково враховуються параметри коліс: c_{sh1} та c_{sh2} – коефіцієнти жорсткості шин передньої і задньої осей, а k_{sh1} та k_{sh2} – коефіцієнти їх в'язкості.

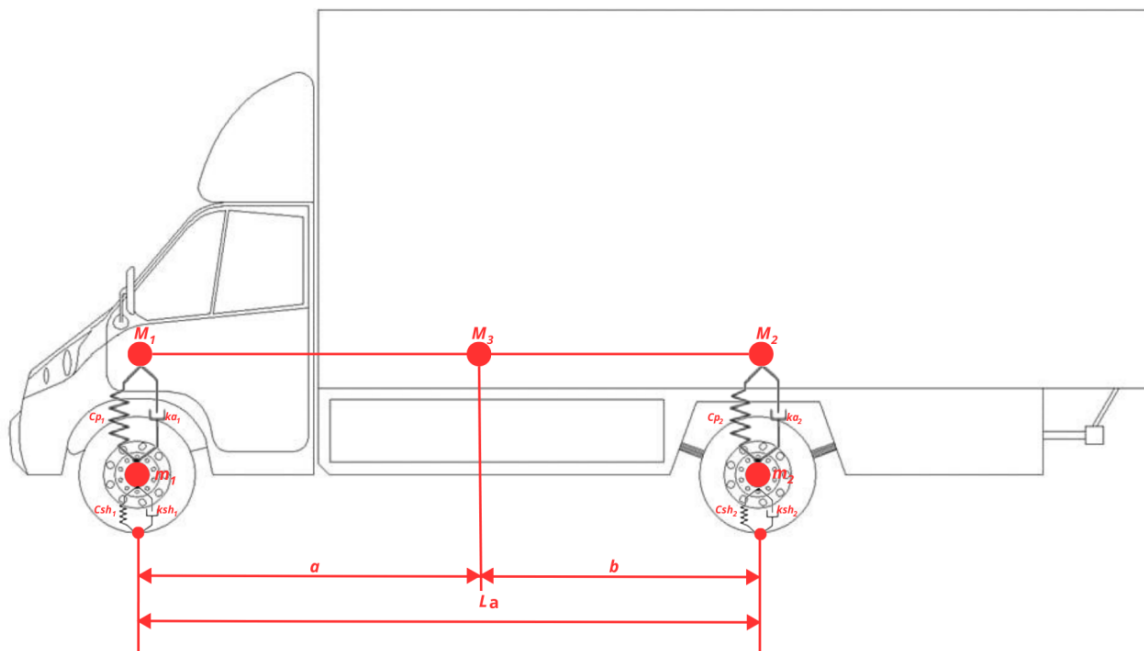


Рисунок 1 – Розрахункова модель транспортного засобу

Непідресорені маси m_1 та m_2 відповідають переднім і заднім колесам разом із елементами підвіски, що безпосередньо взаємодіють із дорожнім покриттям. Саме ці маси першими сприймають збурення під час наїзду колеса

на одиничну перешкоду та передають динамічні навантаження на підресорені частини автомобіля. Наведена розрахункова схема слугує наочною основою для складання диференціальних рівнянь руху та подальшого аналізу коливань підресорених і непідресорених мас

Для моделювання моделі дорожнього покриття використаємо програмний продукт *Matlab*. Процес дослідження динаміки автомобіля потребує створення математичного опису мікропрофілю дороги, який би адекватно відтворював реальні умови руху.

Основним завданням цього розділу є розробка алгоритму для формування одиничних нерівностей типу «бугор» та «яма». Для опису форми нерівності обрано поліноміальну апроксимацію другого ступеня, що дозволяє отримати плавну криву, яка залежить від геометричних параметрів (довжини L та висоти h) і швидкості руху автомобіля v .

Математична модель базується на визначенні часових меж взаємодії колеса з нерівністю (t_1 – початок, t_3 – кінець). Для забезпечення реалістичності профілю вводиться логічне обмеження: за межами розрахункового інтервалу висота дорожнього покриття приймається рівною нулю, що формує стабільну пряму лінію дороги [2].

Лістинг 1 – Модель дорожньої нерівності

```
clear; %Очищення робочого простору Workspace
clc; %Очищення робочого простору Command Window
t1 = 1.2; %Час початку нерівності, сек
La = 2.5; %Колісна база автомобіля, м
L = 1; %Довжина нерівності, м
v = 5/3.6; %Швидкість, з якою автомобіль долає нерівність, м/с
t3 = t1+(L/v); %Час закінчення нерівності, сек
t2 = (t1+t3)/2; %Час пікової висоти нерівності, сек
t0 = L/v; %Час подолання нерівності
h1 = 0; %Висота нерівності в момент часу t1, м
h2 = 0.1; %Висота нерівності в момент часу t2, м
h3 = 0; %Висота нерівності в момент часу t3, м
t = [t1 t2 t3]; %Матричний запис часу подолання нерівності
h = [h1 h2 h3]; %Матричний запис висоти нерівності в кожний момент часу
h1 = [h1 -h2 h3]; %Матричний запис глибини нерівності в кожний момент часу
p = polyfit(t,h,2); %формування поліному другого ступеня для бугра
p1 = polyfit(t,h1,2); %формування поліному другого ступеня для ями
td = 0:0.05:4;
pp = polyval(p,td);
plot(td,pp);
axis([0 4 0 2]);
```

Програмна реалізація моделі у середовищі *Matlab* базується на аналітичному описі геометричного профілю нерівності. Розрахунок починається з повного очищення робочого простору та встановлення вхідних параметрів, що включають колісну базу автомобіля, довжину нерівності та швидкість руху. На основі цих даних визначаються ключові часові мітки: моменти в'їзду, проходження пікової точки та завершення подолання перешкоди.

Математичне моделювання профілю здійснюється шляхом формування матриць опорних точок часу та відповідних їм значень висоти для «бугра» або

глибини для «ям». За допомогою функції *polyfit()* будуються поліноми другого ступеня, які описують плавну криву нерівності. Фінальний етап передбачає розрахунок масиву значень профілю на заданому часовому інтервалі та його візуалізацію у вигляді графіка (рис. 1, рис. 2) з відповідним масштабуванням осей для наочного представлення геометрії дорожнього покриття.

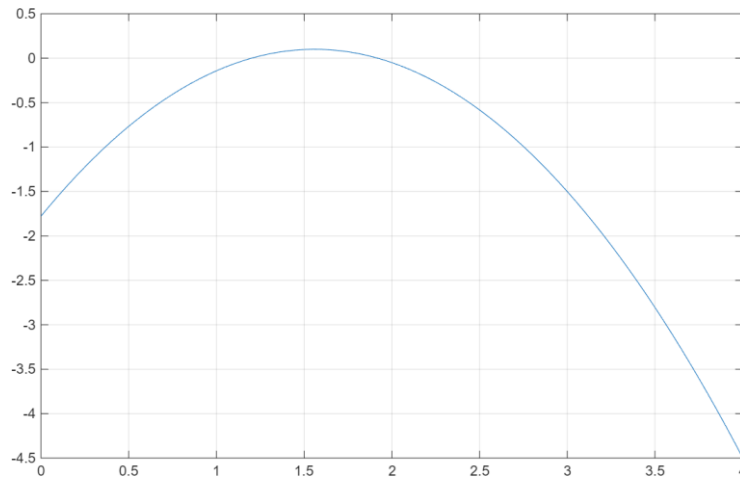


Рисунок 2 – Візуалізація моделі дорожнього покриття (бугра)

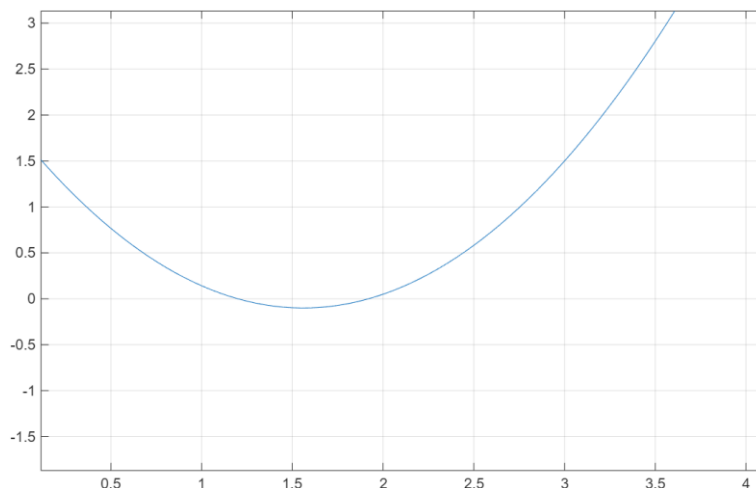


Рисунок 3 – Візуалізація моделі дорожнього покриття (ями)

Різниця між моделями досягається за рахунок заміни поліному p на $p1$ у 19 строці коду. Необхідність корекції програмного коду зумовлена специфікою поліноміальної апроксимації другого ступеня. При використанні класичного полінома функція описує параболу, яка за межами розрахункових точок часу в'їзду та з'їзду з нерівності продовжує нескінченно зростати або спадати. Це створює суттєву похибку, оскільки в моделі з'являються неіснуючі відхилення висоти дорожнього покриття на ділянках рівної дороги.

Вдосконалений алгоритм передбачає введення оператора логічного обмеження значень функції відносно часового інтервалу проходження нерівності. Примусове занулення масиву значень висоти профілю поза межами розрахункового часу дозволяє сформувати стабільну горизонтальну лінію, що відповідає реальному мікропрофілю полотна. Такий підхід забезпечує високу

точність моделювання геометричних параметрів «ями» та виключає некоректні коливання системи під час подальшого дослідження динамічних характеристик автомобіля. Додатково оптимізовано крок дискретизації та параметри візуалізації, що дає змогу отримати чітке графічне відображення переходу від стабільного стану дороги до зони збурення.

Лістинг 2 – Модель дорожньої нерівності із обмеженням візуалізації

```
clear; % Очищення робочого простору Workspace
clc; % Очищення вікна команд Command Window
t1 = 1.2; % Час початку нерівності, сек
La = 2.5; % Колісна база автомобіля, м
L = 1; % Довжина нерівності, м
v = 5/3.6; % Швидкість, з якою автомобіль долає нерівність, м/с
t3 = t1+(L/v); % Час закінчення нерівності, сек
t2 = (t1+t3)/2; % Час пікової висоти нерівності, сек
t0 = L/v; % Час подолання нерівності
h1 = 0; % Висота нерівності в момент часу t1, м
h2 = 0.1; % Висота нерівності в момент часу t2, м
h3 = 0; % Висота нерівності в момент часу t3, м
t = [t1 t2 t3]; % Матричний запис часу подолання нерівності
h = [h1 h2 h3]; % Матричний запис висоти для бугра
h_inv = [h1 -h2 h3]; % Матричний запис глибини для ями
p = polyfit(t,h,2); % Формування поліному другого ступеня для бугра
p1 = polyfit(t,h_inv,2); % Формування поліному другого ступеня для ями
td = 0:0.01:4;
pp = polyval(p, td);
% ОБМЕЖЕННЯ: Зануляємо все, що поза межами часу t1 та t3
% Це створює пряму лінію дороги та не дає графіку йти вище/нижче нуля
pp(td < t1 | td > t3) = 0;
plot(td, pp, 'LineWidth', 1.5);
grid on; % Додавання сітки для зручності
axis([0 4 -0.2 0.2]);% Налаштування осей (щоб бачити яму та пряму дорогу)
```

Результатом вдосконалення є більш зручне представлення дорожнього покриття із нерівностями (рис. 4, рис. 5).

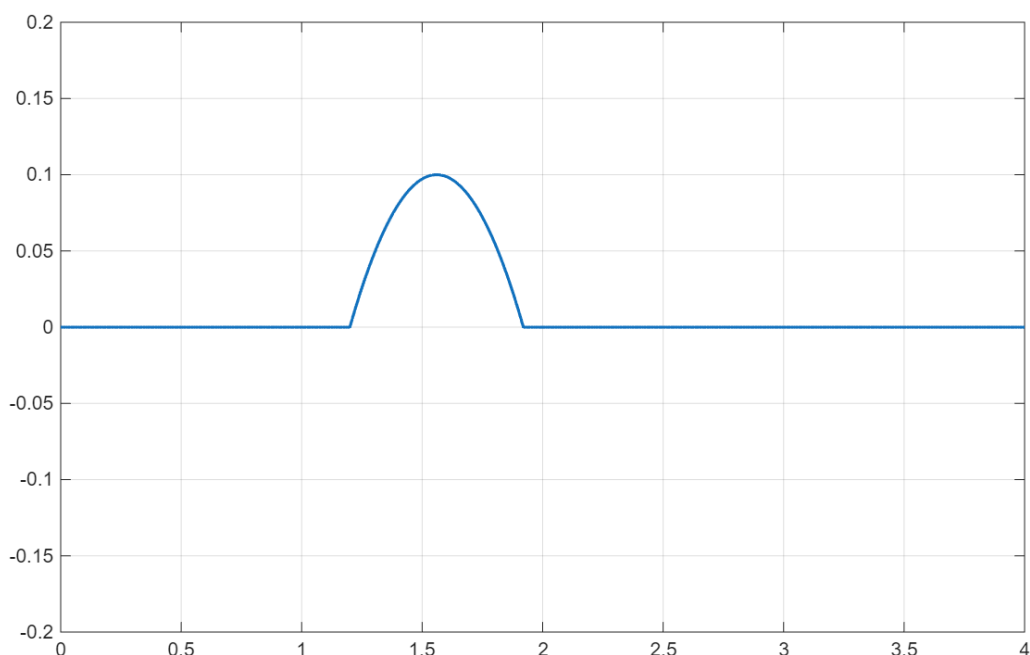


Рисунок 4 – Вдосконалена візуалізація моделі дорожнього покриття (бугра).

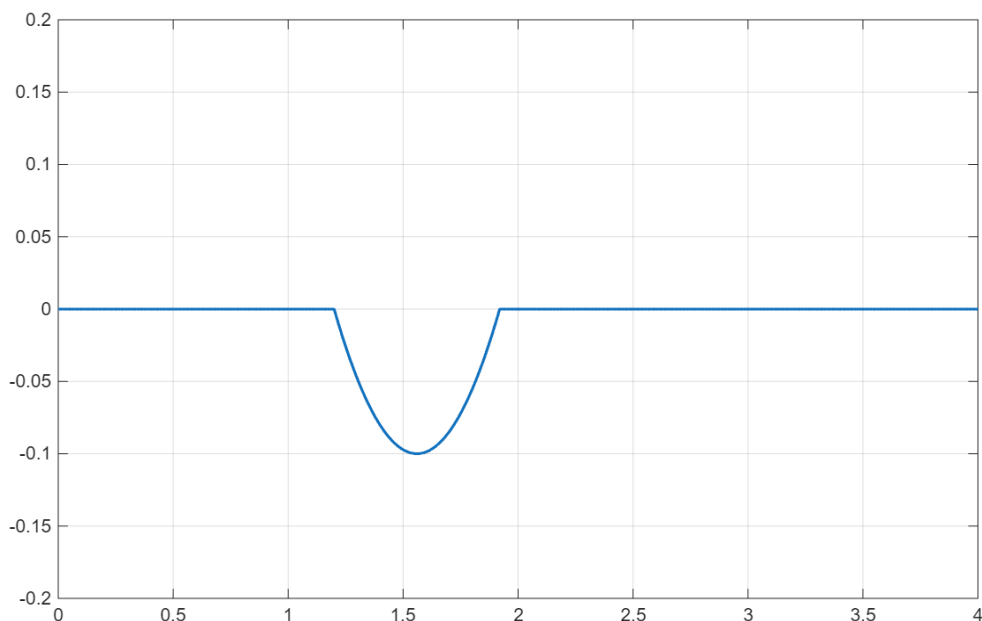


Рисунок 5 – Вдосконалена візуалізація моделі дорожнього покриття (ями).

Різниця між представленнями дорожнього покриття досягається за рахунок зміни поліному p на $p1$ у 22 строці коду.

При побудові математичної моделі коливань вантажного автомобіля (зокрема, при дослідженні плавності ходу) приймають такі допущення:

- *Малість коливань*: коливання підресореної маси (рами, кабіни, кузова) та невідресорених мас (переднього та заднього мостів із колесами) вважаються малими. Це дозволяє лінеаризувати диференціальні рівняння руху.
- *Сталість характеристик*: жорсткість ресор (пружин) та коефіцієнти опору амортизаторів вважаються постійними (лінійними).
- *Контакт із дорогою*: колеса обкочуються по мікропрофілю дороги без відриву, зберігаючи точковий, але постійний контакт із її поверхнею.
- *Геометрія мас*: геометричні осі підресореної маси вантажного автомобіля збігаються з головними центральними осями її еліпсоїда інерції.
- *Напрямок сил*: розглядаються переважно вертикальні сили, що діють на автомобіль, та поздовжні моменти, які викликають поздовжньо-кутові коливання (галопування).

Для вантажних автомобілів, при використанні трьохмасової коливальної моделі (підресорена маса та дві невідресорені маси мостів) [3], зазвичай приймають, що квадрат радіуса інерції автомобіля приблизно дорівнює добутку відстаней від центру мас до осей автомобіля:

$$\rho^2 \approx a \cdot b, \quad (1)$$

де a – відстань від центру мас до передньої осі, м;

b – відстань від центру мас до задньої осі, м.

Параметри a та b визначаються за урахування розподілу навантаження на передню та задню вісі застосовуючи наступні формули:

$$a = G_2 \cdot LG = 1660 \cdot 9,81 \cdot 4,12765 \cdot 9,81 = 2,46 \quad (2)$$

$$b = G_1 \cdot LG = 1105 \cdot 9,81 \cdot 4,12765 \cdot 9,81 = 1,64 \quad (3)$$

Умовні маси M_1 , M_2 , M_3 описують розподіл підресореної маси вантажного автомобіля M , див.рис. 1.1, і розраховуються за формулами:

$$M_1 = M \cdot \rho_2 a \cdot (a+b); \quad (4)$$

$$M_2 = M \cdot \rho_2 b \cdot (a+b); \quad (5)$$

$$M_3 = M \cdot (1 - \rho_2 a \cdot b). \quad (6)$$

Визначені вище приведені маси та геометричні параметри є основою для складання диференціальних рівнянь руху вантажного автомобіля. Використання тримасової моделі дозволяє врахувати взаємовплив коливань передньої та задньої частин рами, а також роботу підвіски та шин.

Система диференціальних рівнянь, що описує вертикальні переміщення кузова та мостів, має наступний вигляд:

- Рівняння для підресореної маси попереду та позаду автомобіля відповідно:

$$M_1 \ddot{z}_1 + 2ka_1 \dot{z}_1 + 2cp_1 z_1 + M_3 \ddot{z}_2 = 2ka_1 \zeta_1 + 2cp_1 \zeta_1, \quad (7)$$

$$M_2 \ddot{z}_2 + 2ka_2 \dot{z}_2 + 2cp_2 z_2 + M_3 \ddot{z}_1 = 2ka_2 \zeta_2 + 2cp_2 \zeta_2. \quad (8)$$

Рівняння для непідресореної маси попереду та позаду автомобіля відповідно:

$$m_1 \ddot{\zeta}_1 + 2(ka_1 + k_{ш1}) \dot{\zeta}_1 + 2(cp_1 + c_{ш1}) \zeta_1 - 2ka_1 z_1 - 2cp_1 z_1 = 2k_{ш1} q_1 + 2c_{ш1} \dot{q}_1, \quad (9)$$

$$m_2 \ddot{\zeta}_2 + 2(ka_2 + k_{ш2}) \dot{\zeta}_2 + 2(cp_2 + c_{ш2}) \zeta_2 - 2ka_2 z_2 - 2cp_2 z_2 = 2k_{ш2} q_2 + 2c_{ш2} \dot{q}_2. \quad (10)$$

У наведеній системі рівнянь прийняті наступні позначення:

- z_1, z_2 – переміщення підресореної маси (рами та кузова) вантажного автомобіля, м;

- $\dot{z}_1, \dot{z}_2$ – швидкість переміщення підресореної маси (рами та кузова) вантажного автомобіля, м/с;

- $\ddot{z}_1, \ddot{z}_2$ – прискорення переміщення підресореної маси (рами та кузова) вантажного автомобіля, м/с²;

- ζ_1, ζ_2 - переміщення колес вантажного автомобіля, м;

- $\dot{\zeta}_1, \dot{\zeta}_2$ – швидкість колес вантажного автомобіля, м/с;

- $\ddot{\zeta}_1, \ddot{\zeta}_2$ – прискорення колес вантажного автомобіля, м/с²;

- q_1, q_2 – переміщення колес відносно опорної поверхні, м;

- $\dot{q}_1, \dot{q}_2$ – швидкість переміщення мостів відносно опорної поверхні, м/с.

Реалізовувати модель раціонально у програмному середовищі *Matlab Simulink*. У даному розділі відбуватиметься побудова імітаційної моделі руху транспортного засобу, яка дозволяє дослідити динамічну поведінку автомобіля під час руху по нерівній дорожній поверхні.

На основі розробленої у попередньому розділі теоретичної моделі буде сформовано структурну схему в середовищі *Simulink*, що відтворює взаємодію підресорених та непідресорених мас, а також роботу елементів підвіски (пружних і демпфуючих елементів).

Особливу увагу приділено моделюванню процесу наїзду колеса на дорожню нерівність, що задається у вигляді вхідного впливу. Це дає змогу оцінити реакцію системи у вигляді переміщень, швидкостей та прискорень окремих мас.

Лістинг 3– Вихідні дані для розрахунків

```
clear; clc; % Очищення вікон Workspace та Command Window
M=2765; % Маса кузова автомобіля (без мостів та колес), кг
La=4.1; % Колісна база автомобіля, м
a=2.46; % Координата ц.т. відносно передньої вісі, м
b=La-a; % Координата ц.т. відносно задньої вісі, м
ro=sqrt(a*b); % Радіус інерції кузова автомобіля, м^2
M1=M*ro^2/(a*(a+b)); % Маса кузова, що давить на передню вісь авто., кг
M2=M*ro^2/(b*(a+b)); % Маса кузова, що давить на задню вісь авто., кг
M3=M*(1-ro^2/(a*b)); % Умована маса, що пов'язує масу M1 та M2, кг
ka1=4000; % Коефіцієнт в'язкості передніх амортизаторів, Нс/м
ka2=10000; % Коефіцієнт в'язкості заднього амортизатора, Нс/м
cp1=200000; % Коефіцієнт пружності передньої підвіски, Н/м
cp2=400000; % Коефіцієнт пружності задньої підвіски, Н/м
m1=325; % Непідресорена маса, що розташована спереду авто, кг
m2=325; % Непідресорена маса, що розташована позаду авто, кг
ksh1=1700; % Коефіцієнт в'язкості передніх шин, Нс/м
ksh2=1700; % Коефіцієнт в'язкості задніх шин, Нс/м
csh1=950000; % Коефіцієнт пружності передньої шини, Н/м
csh2=950000; % Коефіцієнт пружності задньої шини, Н/м
t1 = 1.2; %Час початку нерівності, сек
L = 1; %Довжина нерівності, м
v = 10/3.6; %Швидкість, з якою автомобіль долає нерівність, м/с
t3 = t1+(L/v); %Час закінчення нерівності, сек
t2 = (t1+t3)/2; %Час пікової висоти нерівності, сек
t0 = L/v; %час подолання нерівності
h1 = 0; %Висота нерівності в момент часу t1, м
h2 = 0.1; %Висота нерівності в момент часу t2, м
h3 = 0; %Висота нерівності в момент часу t3, м
t = [t1 t2 t3]; %Матричний запис часу подолання нерівності
h = [h1 h2 h3]; %Матричний запис висоти нерівності в кожний момент часу
p = polyfit(t,h,2); %формування поліному другого ступеня для бугра
p1 = polyfit(t,-h,2);%формування поліному другого ступеня для ями
s = 15; %відстань між бугром та ямою, м
t_pr = s/v; %різниця у часі між подоланням нерівностей
```

Даний код вводить у систему дані про вагу автомобіля, в даному випадку, кузова автомобіля, жорсткість та пружність його колес та підвіски, розподілення ваги та основні дані про нерівність. Також вводиться розглянута вище математична модель дорожнього покриття.

Після того, як дані заведені до системи, переходимо до пакету *Simulink*. У процесі реалізації математичної моделі в середовищі *Matlab Simulink* (рис. 4.1) було використано ряд стандартних функціональних блоків, кожен з яких виконує окрему математичну або логічну операцію.

Блок **Clock** використовується для формування поточного модельного часу. Його вихідний сигнал дозволяє задавати часові залежності та використовувати час як незалежну змінну в інших елементах моделі.

Блок **Polyval** призначений для обчислення значення поліноміальної функції. У даній моделі він може використовуватись для задання профілю дорожньої нерівності або апроксимації складних залежностей.

Блок **Saturation** обмежує значення сигналу в заданому діапазоні. Це дозволяє уникнути фізично нереалістичних значень, наприклад, надмірних переміщень або сил у підвісці.

Блок **Sum** виконує алгебраїчне додавання або віднімання вхідних сигналів. Використовується для складання сил, переміщень або інших величин відповідно до рівнянь руху системи.

Блок **Transport Delay** реалізує затримку сигналу на заданий проміжок часу. У моделі він дозволяє врахувати запізнювання реакції системи або різницю у часі впливу на передню та задню осі автомобіля.

Блок **Step** формує ступінчастий сигнал, який використовується для моделювання різких змін, наприклад, наїзду колеса на бардюр.

Блок **Derivative** обчислює похідну від вхідного сигналу за часом. Дас можливість отримати швидкість або прискорення на основі зміни переміщення.

Блок **Fcn** дозволяє задавати довільну математичну функцію у вигляді аналітичного виразу. Використовується для реалізації специфічних залежностей, що не покриваються стандартними блоками.

Блок **Mux** об'єднує декілька сигналів в один векторний сигнал. Це зручно для передачі декількох величин одночасно, наприклад, для подальшого відображення або обробки.

Блок **Integrator** виконує інтегрування сигналу за часом. У динамічних системах використовується для отримання швидкості з прискорення або переміщення зі швидкості.

Блок **Scope** призначений для візуалізації сигналів у вигляді графіків у процесі моделювання. Дозволяє аналізувати зміну параметрів системи в часі.

4.2 Дослідження математичної моделі

Проведення досліджень із використанням математичного моделювання дозволяє отримати уявлення про динамічну поведінку автомобіля без необхідності проведення складних і ресурсомістких експериментальних випробувань. Рух вантажного автомобіля по нерівностях суттєво впливає на величину динамічних навантажень, які передаються на елементи підвіски, раму та вантаж. Підвищені навантаження можуть призводити до прискореного зносу конструктивних елементів, зниження надійності транспортного засобу, а також пошкодження перевезеного вантажу. Крім того, значні коливання можуть негативно впливати на стійкість та керованість автомобіля під час руху.

Проведення параметричних досліджень дозволяє встановити закономірності зміни динамічних характеристик автомобіля залежно від умов руху та основних параметрів моделі. Отримані результати можуть бути використані для оцінки навантаженості елементів конструкції та подальшого обґрунтування вибору раціональних параметрів підвіски вантажного

автомобіля в реальних умовах експлуатації. Збільшення маси транспортного засобу призводить до зростання інерційності системи, що частково згладжує коливання кузова, однак не усуває значних динамічних навантажень, особливо при подоланні різких нерівностей, таких як бордюри.

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують доцільність використання математичного моделювання для аналізу динаміки вантажних автомобілів та дозволяють зробити висновки щодо впливу основних параметрів на роботу підвіски. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування вибору раціональних характеристик підвіски з метою зниження динамічних навантажень та підвищення надійності транспортного засобу.

Література

1. Богомолів В.А., Гурко А.Г., Клименко В.І., Туренко А.М. Основи прикладної теорії коливань: Учебний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2002. – 130 с.
2. Теорія цифрових автоматичних систем колісних та гусеничних Т11 транспортних засобів: навчальний посібник для студентів спеціальності «Галузеве машинобудування» / Є. Є. Александров, Т. Є. Александрова, І. В. Костяник, М. П. Холодов. – Харків : ХНАДУ, 2022. – 108 с.
3. Прикладна теорія коливань для студентів автомобільних спеціальностей вищів / Є.Є. Александров, В. О. Богомолів, В.І. Клименко, Д. М. Леонтьєв – Харків : ФОП Бровін О.В., 2025. – 162 с. ISBN 978-617-8238-75-9
4. Applied theory of vibrations for students of automotive specializations at higher education institutions : study guide / Ye. Ye. Aleksandrov, V. O. Bohomolov, V. I. Klimenko, D. M. Leontiev. – 2nd Edition. – Kharkiv : ФОП Бровін О. В., 2026. – 160 p.
5. Богомолів, В. О. Математичне моделювання робочих процесів колісних та гусеничних транспортних засобів : навч. посіб. / В. О. Богомолів, Д. М. Леонтьєв. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2025. – 170 с.
6. Tovt, B., Leontiev, D., & Malyi, V. (2025). Formulation of the problem of topology optimization of automobile and agricultural machinery structures. *Автомобільний транспорт*, (56), 19-28.
7. Bogomolov V., Leontiev D. On the distribution of normal reactions between the axes of a balancing bogie during vehicle braking. *AIP Conf. Proc.* 16 July 2025; 3428 (1): 020003. <https://doi.org/10.1063/12.0038594>
8. Леонтьєв, Д. М. Щодо впливу розподілу вантажу на зміщення координат центру тяжіння в причепі з центральними осями / Д. М. Леонтьєв, Д. Б. Сінельнік // Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств : зб. матеріалів IV Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару, 29 трав. 2025 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2025. – С. 105–108.

Науковий керівник: Шуклінов С.М., професор кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, докт. техн. наук

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Сучасний світовий розвиток транспортної індустрії демонструє значне зростання інтересу до електрифікації колісного транспорту. Основними причинами цього явища є необхідність скорочення викидів парникових газів, боротьба зі змінами клімату та потреба зменшення залежності від викопного палива, яке має обмежені запаси.

Електромобілі, завдяки своїй екологічності, енергоефективності та можливості інтеграції з сучасними технологіями, стали перспективною альтернативою традиційним транспортним засобам з двигунами внутрішнього згоряння. Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є перспективним шляхом підвищення енергоефективності електромобільності. ВДЕ, такі як сонячна та вітрова енергія, дозволяють забезпечити сталу та екологічну генерацію електроенергії для зарядки електромобілів. Завдяки цьому знижується вуглецевий слід, підвищується енергетична незалежність та забезпечується довготривала стабільність енергопостачання.

Сучасні тенденції розвитку ринку електро- і гібридних транспортних засобів. На сьогоднішній день електромобільність переживає стрімке зростання в усьому світі. Згідно зі звітом Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА) [1], станом на 2023 рік глобальні продажі електромобілів досягли рекордних 14 мільйонів одиниць, що становить близько 14% від загального обсягу продажів легкових автомобілів. Це свідчить про те, що електромобілі поступово стають масовим явищем, а їхній ринок продовжує демонструвати високі темпи зростання.

Основними причинами такого розвитку є потреба у зменшенні негативного впливу транспорту на навколишнє середовище, зниження викидів парникових газів та боротьба зі змінами клімату. Традиційний транспорт, який використовує викопне паливо, є одним із найбільших джерел викидів вуглекислого газу, і 10 електромобілі пропонують ефективну альтернативу. За оцінками, один електромобіль за весь свій життєвий цикл може скоротити викиди CO₂ на 50–70% порівняно з автомобілем, що працює на бензині чи дизелі. Різні країни світу активно впроваджують політики, які стимулюють перехід населення на електромобілі. Наприклад, у Норвегії, де електромобільність є найбільш розвиненою, понад 80% нових автомобілів, проданих у 2023 році, були електричними. Це стало можливим завдяки запровадженню масштабних пільг: звільнення від податків на купівлю автомобіля, безкоштовне паркування, знижки на платні дороги та доступ до смуг громадського транспорту.

У Китаї, найбільшому ринку електромобілів, уряд інвестує значні кошти у субсидії для покупців електротранспорту та розвиток зарядної інфраструктури. У 2023 році Китай перевищив позначку у 15 мільйонів електромобілів на дорогах країни, що є результатом комплексної підтримки

галузі, включаючи податкові пільги та встановлення понад 4 мільйони громадських зарядних станцій.

Європейський Союз також активно підтримує електромобільність через амбітні кліматичні цілі. Зокрема, директива "Fit for 55" передбачає, що до 2035 року всі нові автомобілі, продані в ЄС, повинні бути з нульовими викидами. У таких країнах, як Німеччина та Франція, уряди пропонують субсидії до 9 000 євро на купівлю електромобіля, а також податкові знижки для виробників екологічного транспорту.

США, зі свого боку, запровадили програму "Inflation Reduction Act", яка включає субсидії у розмірі до \$7 500 для покупців електромобілів, виготовлених на місцевому рівні. Завдяки цьому у 2023 році продажі електромобілів у США зросли на 65% порівняно з попереднім роком, а їхня частка у загальному обсязі продажів автомобілів досягла 8%.

Отже, розвиток електромобільності у світі є результатом як технологічного прогресу, так і активної державної політики. Екологічні переваги, фінансові стимули та зростаюча доступність зарядної інфраструктури роблять електромобілі дедалі популярнішим вибором для споживачів, формуючи основи сталого транспортного майбутнього [2].

В Україні розвиток електромобільності також набирає обертів, хоча й поступається провідним країнам світу за темпами впровадження. Станом на 2023 рік на дорогах України зареєстровано понад 60 тисяч електромобілів, що свідчить про поступове зростання попиту на екологічний транспорт. Однією з основних причин такої динаміки є зростання обізнаності населення про екологічні переваги електротранспорту, а також державні ініціативи, спрямовані на стимулювання переходу на електромобілі.

Український уряд запровадив низку податкових пільг для покупців електротранспорту. Зокрема, з 2018 року діє норма, яка звільняє від сплати ПДВ та акцизу на імпорту електромобілів. Ця ініціатива зробила електромобілі значно доступнішими для українських споживачів. Крім того, власники електротранспорту звільнені від сплати транспортного збору, що також сприяє зниженню витрат на їх утримання. У великих містах, таких як Київ, Львів, Одеса та Харків, активно розвивається зарядна інфраструктура. Уряд спільно з приватними інвесторами сприяє встановленню громадських зарядних станцій, що робить експлуатацію електромобілів більш зручною. На початок 2023 року в Україні діяло понад 3 500 зарядних станцій, і їх кількість продовжує зростати. Також на місцевому рівні запроваджуються ініціативи, спрямовані на популяризацію електромобілів. Наприклад, у Києві електромобілі мають право безкоштовного паркування на муніципальних стоянках, а у Львові впроваджено систему спеціальних преференцій для компаній, які займаються перевезеннями на електротранспорті [3].

Ще одним стимулом є активна роль бізнесу. Великі корпорації, що працюють в Україні, дедалі частіше інвестують у розвиток електромобільності, включаючи зарядні станції та сервіси обслуговування електротранспорту. Таким чином, в Україні поступово формуються сприятливі умови для переходу на електромобільність. Хоча масштаби та темпи цього процесу ще далекі від

світових лідерів, державні ініціативи, підтримка бізнесу та зростаюча зацікавленість населення створюють перспективи для подальшого розвитку екологічного транспорту. У розвинених країнах світу продажі електромобілів демонструють стабільне зростання, що свідчить про формування нового етапу у глобальній автомобільній індустрії. Станом на 2023 рік частка електромобілів у загальному обсязі продажів нових автомобілів досягла 14%, тоді як ще у 2020 році цей показник становив лише 4%. Такий приріст обумовлений розвитком технологій, зниженням вартості батарей, масштабними державними програмами субсидій та 14 зростанням попиту серед споживачів, які дедалі більше звертають увагу на екологічність транспортних засобів. Загалом світовий тренд вказує на те, що електромобілі поступово займають значне місце у транспортній екосистемі, замінюючи автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння. В Україні темпи зростання продажів електромобілів також є позитивними, хоча й значно поступаються розвиненим країнам. У 2023 році на українському ринку було реалізовано понад 15 тисяч нових та вживаних електромобілів, що на 30% більше, ніж у попередньому році. Частка електромобілів у загальному обсязі продажів нових автомобілів в Україні залишається невеликою, близько 5%, але цей показник постійно зростає. Це зростання пов'язане з доступністю вживаних електромобілів, які імпортуються з Європи та США, а також із розвитком зарядної інфраструктури, яка стає дедалі більш поширеною у великих містах. Наприклад, серед найпопулярніших моделей, які купують в Україні, є Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe, що відображає прагнення українців до доступних та енергоефективних рішень [4].

Державна підтримка та законодавча база відіграють ключову роль у стимулюванні розвитку відновлювальної енергетики (ВДЕ) в Україні. Протягом останніх років уряд запровадив низку ініціатив, спрямованих на створення сприятливих умов для інвесторів та розвитку інфраструктури ВДЕ. Однією з основних програм є «зелений тариф», який забезпечує підвищену оплату за електроенергію, вироблену з відновлювальних джерел. Цей механізм, запроваджений ще у 2009 році, дозволив залучити значні інвестиції у будівництво сонячних, вітрових та біоенергетичних станцій. Станом на 2023 рік Україна є однією з країн з найвищими тарифами для виробників ВДЕ, що сприяло введенню в експлуатацію понад 10 ГВт потужностей. 18 Законодавство України також передбачає звільнення обладнання для ВДЕ від імпортних мит та ПДВ, що значно знижує вартість будівництва нових станцій. Такий підхід зробив технології ВДЕ доступнішими для інвесторів та компаній, зацікавлених у переході на екологічно чисту енергетику.

Класифікація сучасних видів електро- і гібридних транспортних засобів. Електричні та гібридні транспортні засоби представляють сучасний напрямок розвитку автомобільної індустрії, що спрямований на зменшення залежності від викопного палива та зниження негативного впливу на довкілля. Електромобіль – це транспортний засіб, який використовує електродвигун як єдине джерело руху. Енергія для роботи двигуна зберігається в акумуляторній батареї, яка заряджається від зовнішнього джерела електроенергії [5].

Гібридний автомобіль – це транспортний засіб, що має два джерела енергії: традиційний двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигун. Завдяки цій комбінації гібридні авто поєднують переваги обох технологій, дозволяючи знизити витрату палива та викиди шкідливих речовин.

Різновиди електричних і гібридних транспортних засобів [6,7]

1. Battery Electric Vehicle (BEV) BEV – це повністю електричний транспортний засіб, який працює виключно на електродвигуні. Енергія для руху зберігається в акумуляторній батареї, яку необхідно періодично заряджати від зовнішнього джерела електроенергії. Цей тип авто не має ДВЗ або паливного бака, тому є екологічно чистим. BEV характеризуються низькими експлуатаційними витратами, відсутністю шкідливих викидів та простотою конструкції. Прикладами таких автомобілів є Tesla Model 3, Nissan Leaf і Chevrolet Bolt. Основними обмеженнями є залежність від зарядної інфраструктури та відносно невеликий запас ходу, який зазвичай становить 300–500 км.

2. Extended-Range Electric Vehicle (EREV) EREV – це електромобіль із подовженим запасом ходу, який має додатковий невеликий двигун внутрішнього згоряння. ДВЗ у цьому випадку не використовується для прямого руху автомобіля, а виконує функцію генератора для зарядки батареї, коли вона розряджається. Це дозволяє значно збільшити запас ходу автомобіля, зберігаючи при цьому переваги електротранспорту. Прикладом такого авто є Chevrolet Volt.

3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) PHEV – це гібридний автомобіль, який можна заряджати від зовнішнього джерела електроенергії. Він має більшу батарею, ніж у традиційних гібридів, що дозволяє проїжджати значні відстані виключно на електротязі (зазвичай 30–70 км). Коли батарея розряджається, автомобіль автоматично перемикається на використання ДВЗ. Це забезпечує гнучкість у використанні, оскільки водій може обирати між електричним і паливним режимами залежно від умов. Прикладами є Toyota Prius Prime та Mitsubishi Outlander PHEV.

4. Hybrid Electric Vehicle (HEV) HEV – це класичний гібридний автомобіль, який не вимагає зарядки від зовнішнього джерела. У ньому ДВЗ працює разом із електродвигуном для забезпечення руху. Енергія для роботи електродвигуна отримується за рахунок рекуперативного гальмування, коли кінетична енергія перетворюється в електричну. HEV характеризуються економічністю та зниженими викидами порівняно з традиційними автомобілями. Одним із найвідоміших прикладів є Toyota Prius.

Література

1. Electric Vehicle Standards and Regulations: A Global Overview. International Energy Agency (IEA), 2021. URL: <https://www.iea.org/>
2. Міронов Д.В. Конспект лекцій з дисципліни «Електричні та гібридні транспортні засоби» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / Укл.: Д.В. Міронов – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 154 с.

3. Іванов А.В. Гібридні транспортні засоби: Навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2022. – 210 с.
4. Малий Г.М., Шевченко О.В. Електротранспорт: сучасні тенденції розвитку. Науково-технічний журнал «Автомобільний транспорт», 2023, № 48. – С. 45–52.
5. Vagati, A., & Pastorelli, M. SynRM: A New Challenge for HighPerformance Motor Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 49(4), 2002, pp. 917–925.
6. Krings, A., & Monissen, C. Review and Trends in Electric Traction Motors for Battery Electric and Hybrid Vehicles. IEEE International Conference on Electrical Machines, 2020, pp. 1–8.
7. Wang, Y., Li, Y., Zhang, L. "Cloud-Based Energy Forecasting for Smart Grids." IEEE Transactions on Smart Grid, 2020, 11(2): 1234-1243.
8. Leontiev D., Klymenko V., Frolov A.; Regarding the efficiency of using solar panels of low power to obtain maximum charging current for batteries vehicle. *AIP Conf. Proc.* 5 June 2025; 3238 (1): 050009. <https://doi.org/10.1063/5.0248928>

Науковий керівник: Рижих Л.О., професор кафедри автомобілів

Семикопний Родіон, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПАСИВНА БЕЗПЕКА АВТОМОБІЛЯ

Пасивна безпека автомобіля являє собою комплекс конструктивних елементів і технічних рішень, призначених для зменшення рівня травматизму водія та пасажирів у разі дорожньо-транспортної пригоди. Основними складовими пасивної безпеки є ремені та подушки безпеки, зони деформації кузова, жорстка пасажирська капсула, підголівники та елементи внутрішнього обладнання салону.

Ефективність роботи цих елементів визначається їх здатністю поглинати кінетичну енергію зіткнення та зменшувати перевантаження, які діють на людину [1].

До елементів пасивної безпеки автомобіля входять:

- Зони деформації: Передня та задня частини автомобіля, що поглинають енергію удару.
- Силовий каркас (капсула) салону: Жорстка частина кузова, яка повинна залишатися цілою для захисту людей всередині.
- Скло: Багатошарове (триплекс) або загартоване скло, яке при розбитті не утворює гострих уламків.
- М'які бампери та «м'який» капот: Матеріали та форми, що знижують травматизм пішоходів при наїзді.
- Подушки безпеки для пішоходів: Спеціальні зовнішні подушки, що розгортаються біля основи лобового скла.
- Ремінь безпеки

Розглянемо деякі з цих елементів

1. Ремінь безпеки - це пристрій пасивної безпеки, призначений для утримання пасажирів на місці у разі аварії або раптової зупинки. Він запобігає вильоту людини з автомобіля та зменшує силу ударів об внутрішні частини салону. Ремінь безпеки є одним із основних елементів безпеки, що знижує ймовірність отримання травм при ДТП. Сучасні автомобілі оснащуються автоматичними ремнями з функцією регулювання натягу і обмеження сили натягу, що забезпечує більш ефективне утримання пасажирів в момент зіткнення [2].

Перші ідеї щодо застосування ременів безпеки з'явилися ще на початку XIX століття — їх запропонував англійський інженер і винахідник Джордж Кейлі. Згодом, у 1885 році, у Сполучених Штатах Америки Едвард Дж. Клекхорн отримав перший офіційний патент на подібний пристрій, що став прототипом сучасних ременів безпеки.

Наступним кроком у розвитку цієї ідеї стало патентування 11 травня 1903 року так званих «захисних автомобільних шлейок» для пасажирів транспортних засобів. Автором цього винаходу був француз Гюстав-Дезіре Лево, який одним із перших звернув увагу на необхідність фіксації людини під час руху.

У сфері авіації ремінь безпеки вперше використав у 1913 році французький льотчик Адольф Пегу. Втім, попри цей досвід, аж до 1930-х років реміні не стали стандартним елементом у літаках. Приблизно в той самий період, на початку 1920-х років, реміні почали застосовувати автогонщики. Однак через незручність і обмеження рухів вони не здобули популярності серед власників серійних автомобілів.

Справжній прорив у розвитку автомобільних ременів безпеки стався наприкінці 1950-х років. Інженер з безпеки шведської компанії Volvo Нільс Болін, який раніше працював в авіаційній галузі, розробив принципово нову конструкцію — триточковий ремінь безпеки. Протягом року випробувань він дійшов висновку, що оптимальним є ремінь, який проходить через плече та фіксується на рівні стегна, забезпечуючи ефективне утримання тіла і можливість застібання однією рукою. У 1959 році Болін отримав патент, а того ж року Volvo вперше представила нову систему в серійних автомобілях. У 1985 році Німецьке патентне відомство визнало розробку Боліна одним із восьми найкорисніших винаходів для людства за століття. Успіх цього рішення пояснювався поєднанням високого рівня захисту та зручності користування - саме це переконало людей почати регулярно пристігатися.

У 1957 році Швеція стала першою країною у світі, що узаконила використання ременів безпеки. У 1961 це зробив американський штат Вісконсин, а з 1 квітня 1970 року влада Франції зобов'язала автовиробників встановлювати реміні безпеки на передніх сидіннях нових автомобілів.

На території України (тоді у складі СРСР) водіїв і пасажирів легкових автомобілів зобов'язали використовувати реміні безпеки з 1979 року.

З часом конструкція ременів безпеки удосконалювалась, вони стали саморегульованими і встановлювались не лише на передніх, але і на задніх сидіннях.

Розглянемо двоточкові ремені безпеки

Поясний тип

На початку 1950-х років американський інженер Кеннет Лігон разом із братом Бобом розробили та запатентували автомобільний ремінь швидкого відстігання. Його конструкція передбачала дві точки кріплення по обидва боки сидіння та охоплювала тіло в зоні талії. Розробка привернула увагу компанії Ford, і вже з 1956 року такі ремені почали пропонуватися як додаткове обладнання для автомобілів цього виробника.

Поясні двоточкові ремені широко застосовувалися в автомобілях 1960-х років. Сьогодні їх ще можна побачити як ремінь безпеки у пасажирських літаках. Вони фіксують людину в сидінні, залишаючи достатню свободу для зміни пози під час посадки та польоту.



Рисунок 1 – Поясний тип ременів безпеки

Плечовий тип

Плечовий двоточковий ремінь проходить по діагоналі від плеча до протилежного стегна. Такі ремені застосовувалися в автомобілях 1960-х років, однак показали низьку ефективність: під час аварії пасажир міг вислизнути з-під ремня, що значно знижувало рівень захисту.

Комбінація поясного та плечового ременів

Окрему категорію становлять ремені безпеки, які тривалий час використовувалися в американських автомобілях. Вони склалися з двох незалежних елементів — поперекового та діагонального, які застібалися окремо. Неповне використання цієї системи було вкрай небезпечним. За даними Американської медичної асоціації, застосування лише плечового ремня підвищувало ризик травм грудної клітки утричі порівняно з повноцінним фіксуванням. У разі лобового зіткнення пошкодження грудей у пасажирів, пристебнутих тільки діагональним ремнем, фіксувалися у сім разів частіше, ніж у тих, хто не був пристебнутий. Для ефективного захисту було необхідно використовувати обидва ремені одночасно.

Розглянемо триточкові ремені безпеки

Переваги

Триточковий ремінь об'єднує в єдину конструкцію поясний і плечовий елементи. Він складається з однієї стрічки, по якій переміщується замкова пряжка, що значно спрощує процес пристібання. Під час аварії навантаження рівномірно розподіляється між грудною кліткою, плечима та тазовою зоною, зменшуючи ризик важких травм.

До 1980-х років триточкові ремені зазвичай встановлювалися лише на передніх сидіннях, тоді як ззаду застосовувалися поясні або плечові варіанти. Проте дослідження показали, що поясні ремені можуть спричиняти серйозні ушкодження хребта, відомі як «синдром ремня безпеки». Це призвело до перегляду нормативів у більшості розвинених країн і запровадження обов'язкового оснащення всіх сидінь триточковими ремнями. У США з 1 вересня 2007 року всі нові автомобілі комплектуються саме такими системами.

Будова триточкового ремня

Стандартний триточковий ремінь складається з трьох основних елементів: стрічки (лямки), замка та інерційної втягувальної катушки.

Лямка виготовляється з високоміцного матеріалу та кріпиться до кузова автомобіля у трьох точках — на стійці, порозі та елементі із замковим механізмом. Для забезпечення зручності та ефективності фіксації в багатьох автомобілях передбачено регулювання верхньої точки кріплення відповідно до зросту пасажирів.

Замковий механізм відповідає за надійне з'єднання ремня та розташовується поруч із сидінням. На стрічці закріплений рухомий металевий язичок, який вставляється в замок. У більшості сучасних автомобілів в замок вбудований датчик, що активує світлове та звукове попередження на панелі приладів, нагадуючи про необхідність пристебнути ремінь. Принцип роботи цієї системи може відрізнятися залежно від виробника.

Інерційна катушка забезпечує автоматичне змотування та розмотування ремня. Вона оснащена механізмом блокування, який спрацьовує під час різкого уповільнення автомобіля або швидкого руху самої стрічки. Витягнути ремінь можливо лише плавно, без різких ривків.

Додатково багато сучасних автомобілів обладнуються натягувачами ремнів. Ці пристрої активуються в момент аварії та миттєво підтягують стрічку, зменшуючи люфт і запобігаючи надмірному зміщенню тіла вперед. Швидкість змотування може досягати приблизно 10 м/с. Натягувачі встановлюються як у замок ремня, так і в механізмі катушки.

Розглянемо багатоточкові ремені безпеки

Ремені з чотирма і більшою кількістю точок кріплення застосовуються в умовах підвищених навантажень: у спортивній авіації, гоночних автомобілях, а також у дитячих автомобільних кріслах. У автоспорті п'яти- та шеститочкові системи виконують не лише захисну функцію, а й забезпечують додаткову бічну підтримку тіла водія під час руху на високих швидкостях.



Рисунок 2 – Багатоточковий тип ременів безпеки

Подушка безпеки (Airbag) — це елемент пасивної безпеки автомобіля, призначений для зменшення ризику травм водія та пасажирів під час дорожньо-транспортної пригоди. Вона працює разом із ременями безпеки та суттєво підвищує рівень захисту при зіткненні [3].



Рисунок 3 – Подушка безпеки

Перші ідеї використання подушок безпеки з'явилися ще у 1950-х роках. У 1952 році американець Джон Хетрік запатентував пристрій, що передбачав миттєве наповнення м'якої оболонки повітрям у разі аварії. У 1960–1970-х роках технологія почала активно розвиватися, а з 1980-х подушки безпеки

стали встановлюватися на серійних автомобілях. Сьогодні вони є обов'язковим елементом оснащення більшості транспортних засобів.

Принцип роботи

Подушка безпеки спрацьовує за долі секунди після зіткнення. Система складається з датчиків удару, електронного блоку керування, газогенератора та самої подушки.

1. Датчики фіксують різке уповільнення або удар.
2. Блок керування аналізує силу зіткнення та приймає рішення про активацію.
3. Газогенератор миттєво наповнює подушку газом.
4. Подушка розкривається, пом'якшуючи удар тіла об елементи салону, після чого швидко здувається.

Повний цикл — від зіткнення до здування — триває приблизно 0,03–0,05 секунди.

Сучасні автомобілі можуть бути оснащені кількома типами подушок безпеки:

- Фронтальні - для водія та переднього пасажира;
- Бокові - захищають груди та таз;
- Шторки безпеки - розкриваються вздовж вікон і захищають голову;
- Колінні - зменшують навантаження на ноги;
- Центральні - запобігають зіткненню пасажирів між собою.



Рисунок 4 – Подушки безпеки

Взаємодія з ремнями безпеки

Подушка безпеки не замінює ремінь, а лише доповнює його. Без пристебнутого ремня ефективність подушки значно знижується, а в деяких випадках вона може навіть підвищити ризик травм. Саме тому використання ременів безпеки є обов'язковою умовою правильної роботи системи.

Висновки

Пасивна безпека автомобіля має вирішальне значення для зменшення травматизму та смертності в результаті дорожньо-транспортних пригод. Застосування новітніх технологій в автомобілях, таких як подушки безпеки, системи стабілізації, інтелектуальні ремені безпеки та посилені зони деформації, значно підвищує рівень захисту водія та пасажирів.

Проте, важливо зазначити, що всі ці системи є ефективними лише у поєднанні з активними заходами безпеки, такими як використання ременів безпеки, дотримання правил дорожнього руху та забезпечення належної кваліфікації водія.

У майбутньому варто очікувати подальшого вдосконалення технологій пасивної безпеки, зокрема інтеграції інтелектуальних систем безпеки, які зможуть не лише реагувати на аварійні ситуації, але й попереджати їх. Прогрес у матеріалознавстві також може призвести до створення більш легких і міцних конструкцій автомобілів, що підвищить ефективність систем пасивної безпеки.

Література

1. Кашканов А.А., Грисюк О.Г. Безпека руху автомобільного транспорту. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. - 177 с.
2. Іващенко М.В. Основи керування автомобілем, безпека дорожнього руху та медичне забезпечення безпеки дорожнього руху. – 2000. – 261с.
3. <https://service-airbag.com.ua/uk/statti/podushki-bezpeki-v-avto-vidi-ta-funkczii/>

Науковий консультант Ярита О.О., доцент кафедри автомобілів імені А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

Тонкашев Семен, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

У наш час уряди багатьох країн встановлюють все більш амбітні цілі для водневого сектора, що дійсно може відіграти ключову роль у досягненні мети нульових викидів (Net Zero) до 2050 року. Водень може бути використаний як джерело енергії двома різними способами: в електрохімічних паливних елементах (комірках) і за допомогою згоряння. В 2007 році компанія Toyota випустила перший гібридний автомобіль, що працює на водневих паливних комірках (Toyota Mirai) з електричним двигуном потужністю 113 кВт. Замість двигуна внутрішнього згоряння цей автомобіль має стек (блок) паливних комірок, що виробляють електричний струм. Транспортні засоби на паливних комірках (Fuel-cell electric vehicles FCEVs) з використанням водню належать до

транспортних засобів з нульовими викидами переваги автомобілів на водневих паливних комірках:

- 1) запас ходу може бути досягнутий за допомогою достатньої кількості водневих баків високого тиску. Останні можуть бути розміщені в різних місцях, що дозволяє оптимізувати доступний об'єм, підвищуючи придатність для перевезення пасажирів і місткість багажника;
- 2) номінальна тягова потужність, отримана за певної маси та швидкості автомобіля та нахилу дороги, досягається при поєднанні потрібної кількості основних систем паливних комірок;
- 3) заправка баків є простою та швидкою, що дозволяє не тільки зменшити вартість зарядних станцій порівняно з зарядними станціями, призначеними для електромобілів, так і досягти інтенсивного використання водню, в таких транспортних засобах, як таксі чи автобуси;
- 4) автомобілі на паливних комірках дуже безпечні навіть у разі автомобільних аварій. Безпека в основному базується на тому, щоб отримати витік, який залишається нижче рівня горючості водню. Така конструкція досить проста і орієнтована на бак як ключовий пристрій. Проте водневі паливні комірки достатньо дорогі, оскільки потребують використання платинових матеріалів з високою каталітичною активністю [1].

Перспективними також для України можуть стати паливні комірки з інших матеріалів. Такі комірки, на основі цирконію, розроблені в Київському інституті матеріалознавства ім. Францевича. Також цьому сприяє наявність великої кількості в Україні двоокису цирконію.

Автомобілі на водневому паливі умовно можна розділити на три класи.

- Перший - це машини зі звичайним двигуном внутрішнього згоряння, який працює на водні або водневій суміші. Такі моделі можуть працювати на чистому водні або 5–10 % водню додають до основного палива. В обох випадках ККД двигуна збільшується (у другому випадку приблизно на 20 %) і вихлоп стає набагато чистішим (вміст чадного газу (CO) і вуглеводнів (C_nH_m) зменшується в півтора рази, оксидів азоту (N_nO_m) - до п'яти разів). Такі двигуни й автомобілі були сконструйовані й пройшли всі випробування у нас і за кордоном приблизно ще у 1970–1980-х роках. Однак, з огляду на витрати і складності конструкторського плану, цей тип може розглядатися тільки проміжним, перехідним етапом на шляху до третього типу.
- Другий - це машини з двома електроносіями, так звані гібридні, їх колеса рухає електропривод, енергію якому постачає акумулятор, що у свою чергу заряджається від високо-економічного двигуна внутрішнього згоряння, що працює на водні або суміші водню з бензином. Це дуже вигідно, адже ККД електродвигуна сягає 90–95 % на відміну від бензинового (35 %) або дизельного (50 %). Таким чином, загальний ККД підвищується до 30 %, відповідно знижується витрата палива. Навіть якщо для підзарядки акумулятора використовується бензин, об'єм шкідливих викидів дозволить вкластися в норми «Євро-4» із десятикратним запасом. Але другий тип не можна розглядати завжди як 100 відсотково водневим. Різновид такого

автомобіля представив Mercedes-Benz, назвавши його Mercedes-Benz GLC F-CELL.

- Третій - справжній водневий автомобіль — це машина з електродвигуном, який працює від паливного елемента, що знаходиться в автомобілі. Теоретично ККД паливного елемента, що працює на суміші водень-повітря, може перевищувати 85 %. Зараз вже вдалося одержати двигуни з ККД близько 75 % — це більш ніж удвічі вище відповідного показника найкращих двигунів внутрішнього згоряння. В умовах міста такі машини одержать п'ятишестиразову перевагу над звичайними автомобілями.

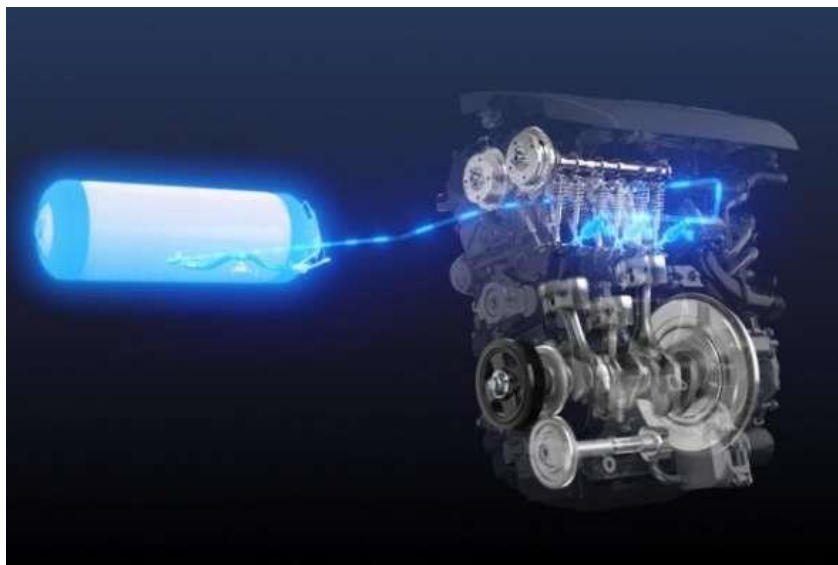


Рисунок 1 - Toyota розробляє водневий двигун для гоночного автомобіля



Рисунок 2 - Yamaha спроектувала водневий двигун для Toyota

Паливний елемент

Паливний елемент, що працює на водні, - по суті і є водневим двигуном. Паливний елемент (інакше — електрохімічний генератор) - це пристрій для перетворення хімічної енергії на електричну. Те ж відбувається й у звичайних електричних акумуляторах, але в паливних елементах є дві важливі відмінності: по-перше, вони працюють доти, поки надходить паливо; по-друге, паливний елемент не потрібно перезаряджати.

Паливний елемент складається з багатьох десятків комірок, кожна приблизно в сантиметр завтовшки. Кожна комірка складається з двох електродів, розділених електролітом. На один електрод (анод) підводиться паливо (водень), на інший (катод) — окисник (кисень повітря). Водень тут не згоряє, хімічна реакція окиснення відбувається при низькій температурі в присутності каталізатора. Мета роботи пристрою, використовуючи цю реакцію, розділити позитивний і негативний заряди в просторі й створити між ними напругу [2].

Тому електроліт, який заповнює простір між електродами, повинен мати здатність пропускати крізь себе протони (тобто йони водню) і не пропускати електрони. На аноді водень розпадається на електрони і протони, далі протони проходять крізь шар електроліту, досягають катода і, з'єднуючись із киснем, утворюють воду.

Однак у питаннях отримання якісного й недорогого електроліту наука поки що зазнає величезних труднощів. Полімерний електроліт американської фірми «Дюпон» коштує близько 700 євро за м², а на батарею для середнього автомобіля потрібно десятки квадратних метрів такого матеріалу. Зрозуміло, що при такій вартості електроліту неможливо налагодити серійний випуск водневих автомобілів. Ученими всього світу ведуться інтенсивні дослідження з метою здешевлення цього матеріалу й використання його при більш високих температурах (150–200 °C).

Загалом, паливний елемент на водні цілком готовий до застосування. Бракує дрібниці: зробити його компактнішим і дешевшим.

Водневий транспорт став одним із новітніх трендів в розвинутих країнах світу у боротьбі зі шкідливими викидами в атмосферу і, назагал, у протидії глобальному потеплінню. Втім, сьогодні йдеться радше про експериментальні, «модельні» проекти, оскільки в економічному сенсі авто на водневих двигунах є наразі «дорогим задоволенням». Насправді водневі двигуни давно використовують в інших сферах, і тільки зараз їх активно розробляють для легкових автомобілів. В автобусах, поїздах, літаках і водному транспорті це вже аж ніяк не дивина. Крім того, водень використовується в складських навантажувачах, електрокарах для гольфу, в сервісних автомобілях і спецтехніці. Електростанції на водні здатні забезпечувати окремі підприємства або цілі невеликі міста.

Паливні баки таких автомобілів заповнюються стисненим воднем замість бензину. Паливні елементи мають спеціальну мембрану, що розділяє анод і катод. Всі вони притягуються до мембрани, вкритої каталізатором, і в результаті реакції утворюється пара та струм. Загалом, водневий автомобіль

можна назвати електромобілем. Єдина відмінність полягає в принципі роботи акумулятора. Ємність батареї може бути значно збільшена до 10 разів у порівнянні з літій-іонним акумулятором. Він також може заряджатися швидше - для поїздки на 500 км достатньо кількох хвилин. Головні переваги автомобілів що працюють на водневому паливі, обумовлена характеристиками цього двигуна. Водневі паливні елементи - це електрохімічні пристрої, які виробляють електрику шляхом реакції водню і кисню, подібно до батареї.

Першою перевагою водневих двигунів є їхня екологічність. Викиди шкідливих речовин майже нульові - виділяється лише вода, енергія та тепло. Друга перевага полягає в тому, що водень є дуже енергоємним паливом: 1 грам водню дозволяє забезпечує втричі більше енергії, ніж 1 грам бензину. Таким чином, водневий автомобіль може проїхати в 2,5-3 рази більшу відстань, що еквівалентна енергоємності та об'єму галона (3,8 літра) бензину. Третьою перевагою водневих транспортних засобів полягають в їхній компактності та безшумній роботі двигуна під час виробництва електроенергії та у швидкості заправки.

Нова технологія дозволяє заправляти водневі баки набагато швидше, ніж електромобілі, майже так само швидко, як заправляють бензин (до п'яти хвилин). Крім того, робоча температура водневих батарей дуже низька - в діапазоні від 80°C до 100°C, залежно від типу батареї. Останньою перевагою є запас ходу в 500-600 км, що більше ніж у будь-якого електромобіля. До речі, різниця з бензиновими автомобілями не така вже й велика: більшість з них можуть похвалитись дальністю поїздки з повним баком в 800-900 км. Експерти галузі не виключають, що з технологічний розвиток дозволить водневим автомобілям протягом декількох років зможуть досягти характеристик з двигунами внутрішнього згорання [3].

Водневі транспортні засоби мають деякі дуже серйозні недоліки, які створюють серйозні перешкоди для їх масового виробництва та експлуатації навіть у розвинених країнах.

По-перше, це – вартість водню дуже велика.

У США галон бензину коштує приблизно 3,1 долара, а еквівалентна ціна 1 кг водню – 8,6 долара. Наприклад, заправка бака одного з перших легкового авто на водні "Toyota Mirai" 5 кг водню, якого достатньо для проїзду на 700 км, коштуватиме аж майже 50 дол.

Водневі батареї містять платину - один із найдорожчих металів у світі. Здорожують двигун і додаткові заходи безпеки: зокрема, необхідні високовартісні спеціальні системи зберігання та баки з вуглепластику, щоб уникнути вибуху.

По-друге, порівняно з електромобілями інфраструктура ще недостатньо розвинена. Для заправки воднем потрібні спеціальні станції, які значно дорожчі, ніж звичайні. Навіть у багатій Німеччині, яка робить ставку на водневі технології, сьогодні працює трохи більше 100 заправних станцій.

По-третє, низькі обсяги видобутку «зеленого» водню за допомогою електролізу і відновлювальних джерел електроенергії, що є найбільш екологічною технологією. До 95% сировини для водневого палива сьогодні

одержують з копалин. Крім того, при створенні палива використовують паровий риформінг метану, для якого потрібні вуглеводні. Знову ж таки, виникає залежність від природних ресурсів, окрім тих же таки додаткових викидів вуглекислого газу. Існує також відносно «чиста» технологія видобутку водню за рахунок термохімічного процесу, що реалізується на кількох електростанціях нового покоління в США, Японії і Китаї, проте це скоріше – непромислові масштаби, оскільки ця технологія – аж надто складна і дорога. І, по-четверте, високі ризику вибуху. При використанні в двигуні водень стискають у 850 разів, через що тиск газу досягає 700 атмосфер. У поєднанні з високою температурою підвищується ризик самозаймання. До того ж, водень має високу летючість, проникає навіть у невеликі щілини і легко спалахує. І у висновку можна сказати що авто на водневих двигунах мають значний потенціал для зменшення викидів парникових газів та забруднення повітря.

Недоліки водневого транспорту

- Суміш водню з повітрям — вибухова речовина. Водень небезпечніший, ніж бензин, тому що горить у суміші з повітрям в більше широкіх концентраціях. Бензин не горить при лямбда менше 0,5 і більше 2, водень при таких співвідношеннях горить прекрасно. Але водень, що зберігається в баках при високому тиску, у випадку пробиття бака дуже швидко випаровується. Для транспорту розробляються спеціальні безпечні системи зберігання водню — баки з кількома стінками, зі спеціальних матеріалів і т. д.
- Воднева силова установка значно складніше і дорожче в обслуговуванні, ніж звичайний ДВС. За даними Массачусетського технологічного інституту, експлуатація водневого автомобіля на даному етапі розвитку водневих технологій обходиться у сотню разів дорожче, ніж бензинового. Можливо в майбутньому вартість експлуатації зменшиться.
- Поки немає достатнього досвіду експлуатації водневого транспорту.
- Немає можливості швидкої дозаправки на шляху з каністри або від іншого автомобіля.
- Для заправки воднем потрібно побудувати мережу заправних станцій. Для заправних станцій, що заправляють автомобілі рідким воднем вартість обладнання більше, ніж для бензинових заправних станцій. (Згідно з GM, будівництво 12 тисяч водневих заправних станцій в 2005 році оцінювався в \$ 12 млрд, тобто \$ 1 млн на одну заправну станцію, у той час як комплект обладнання для бензинових заправних станцій коштує від \$ 40 тис., в середньому \$ 100—200 тис.).
- Тепер водень виробляється або шляхом витрати значної кількості електроенергії, з вуглеводнів або з біомаси органічних відходів. У першому випадку використовується та ж електроенергія, яка може вироблятися на теплових, атомних та інших електростанціях. Рішення цієї проблеми – використання відновлювальної енергії для виробництва водню. У другому випадку маємо використання тих же видів палива і виділення CO², а також

потрібно очищення від сполук сірки та інших домішок, які в разі застосування паливних елементів значно скорочують термін їх служби. Деякі вважають, що природний газ буде набагато перспективніший і екологічний. Третій варіант – виробництво біоводню з відходів (сільськогосподарські, стічні води) є найстійкішим. Більше того, виробництво біоводню за технологією біоенергетики з уловлення та зберіганням вуглецю (BECCS)^[15] може забезпечити виробництво біоводню з негативною емісією вуглецю, тобто з уловленням та поглинанням найактивнішого парникового газу – вуглекислого газу (CO₂), що ще більше сприятиме декарбонізації та покращенню емісійного бюджету CO₂, зменшенню забруднення атмосфери, парникового ефекту та глобального потепління, та сприятиме сталому розвитку.

Література

1. Водневі автомобілі: основна інформація-[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ukr-prokat.com/blog/vodnevi-avtomobili-osnovna-informatsiya.html>
2. Транспорт на водні: чи реалістичні перспективи для світу й України?-[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rubryka.com/blog/transport-na-vodni/>
3. Водень для транспорту, опалення та енергетики-[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2019/06/14/648620/>

Науковий керівник: Алюкса М.М., професор кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

Якушко Данило, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВПЛИВ АЕРОДИНАМІКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМОБІЛЯ

Аеродинаміка автомобіля – це розділ аеродинаміки, що вивчає аеродинаміку автомобілів та інших дорожніх транспортних засобів. Найбільшої уваги заслуговує автомобіль конструкції інженера Яра, який вважав, що для тіла, що рухається в безпосередній близькості до поверхні дороги, як теоретично найвигіднішої форми може служити розділений навпіл корпус дирижабля зі злегка випуклою нижньою стороною і ретельно закругленими краями [3-6].

Аеродинамічний опір автомобіля обумовлено його рухом з деякою відносною швидкістю в навколишньому повітряному середовищі. Сила опору повітря є основною складовою силового балансу автомобіля, вона являє собою найбільший інтерес через тенденції останнього часу, а саме зростання швидкостей пересування транспортних засобів. При швидкості руху транспортного засобу в 55-65 км/год сила опору повітря більша за будь-яку

іншу силу опору руху автомобіля, а при швидкості 110-130 км/год вона перевищує сили інерції та силу супротиву дороги разом взятих.

Можна відзначити те, що на сьогоднішній час немає змоги розрахувати аеродинамічний опір теоретично, тому для отримання даних, цю величину визначають експериментально в спеціально підготовлених приміщеннях з аеродинамічною трубою.

Аеродинаміка має дуже важливе значення при проектуванні автомобілів, особливо якщо це стосується сталого рівномірного руху в міжміських циклах руху. Кузов автомобіля повинен мати якомога менший коефіцієнт обтічності – C_x , який залежить від багатьох факторів, починаючи з лобової площі автомобіля та закінчуючи виступаючим написом на протекторі шин, чим менший цей коефіцієнт – тим кращі економічні та динамічні характеристики буде показувати транспортний засіб. Коефіцієнт C_x визначається експериментально, і він головна величина, яка описує аеродинамічну досконалість кузова. Його умовно прирівняли до 1,0 для круглої пластини, проте, як з'ясувалося на практиці, з-за турбулентності за пластиною насправді її C_x дорівнює приблизно 1,2. Приклади обтічності різних форм та кузовів авто представлені на рисунку 1.

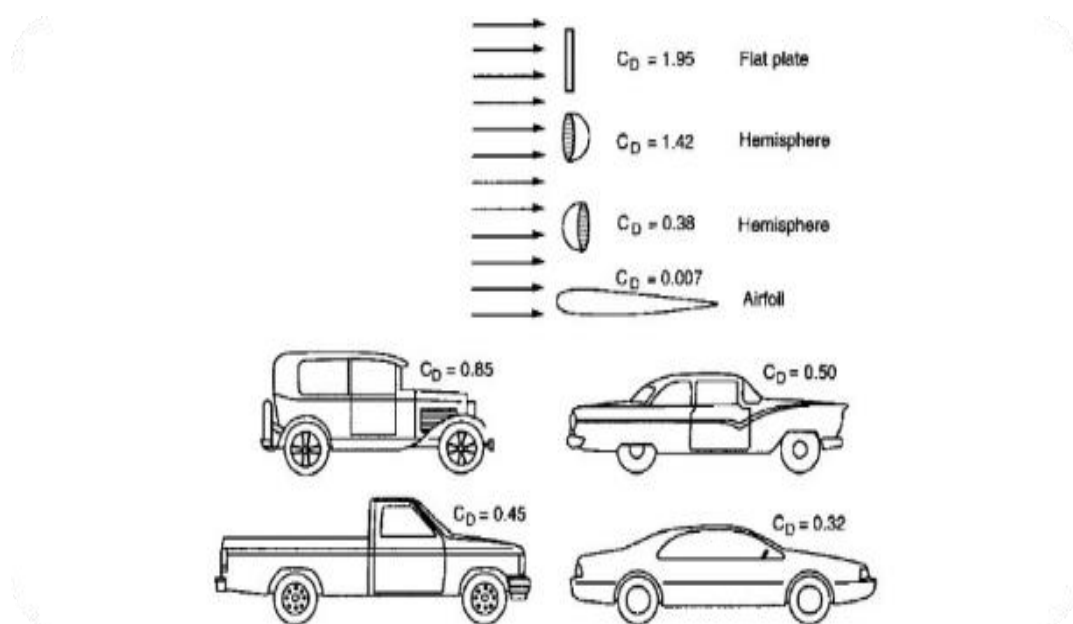


Рисунок 1 – Приведені значення коефіцієнту обтічності

Зробивши аналіз роботи було виявлено те, що аеродинамічною формою в природі вважається капля – яка спереду є обтічною сферою, а позаду має звуження яке утворює в кінці точку з такими характеристиками, які дозволяють звести завихрення позаду цієї фігури до мінімуму, коефіцієнт аеродинамічного опору краплі вважається $C_x = 0.04$ в порівнянні з циліндром того ж діаметру в якого $C_x = 1$ капля являється на 96% ефективнішою. В середньому для сучасних автомобілів коефіцієнт $C_x < 0.4$ [3-6].

Опір повітря, що діє на автомобіль, є сумою сил, які умовно можна поділити на чотири основні групи представлені на рисунку 2.

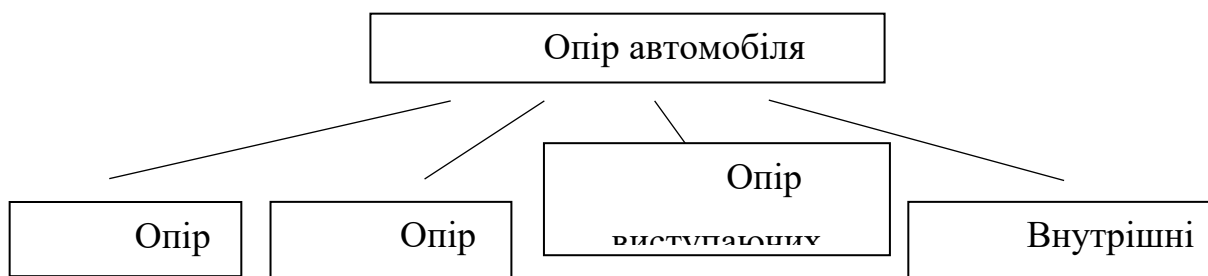


Рисунок 2 – Сили аеродинамічного опору

Опір форми (опір тиску та лобовий опір) складає більшу частину всього опору повітря. Його значення може досягати 60% від загального. Цей вид опору може виникнути по наступному механізму: рухаючись проти зустрічного потоку повітря передня частина ТЗ стискає його та створює перед собою зону підвищеного тиску; тим часом потік повітря обтікає форму кузова автомобіля де він повністю відривається від кузова та утворює позаду нього зону низького тиску з наступними завихреннями повітря, яке підводиться з навколишнього середовища.

Внаслідок нерівномірності поверхневого покриття автомобіля утворюється так званий опір тертя. В цьому випадку шар повітря контактує з мікрощільностями поверхні кузова і знижує свою швидкість. Даний вид опору бере на себе 10-20% всіх аеродинамічних витрат.

10-15% загального опору становлять частини які виступають з-за форми кузова ТЗ. На цей фактор мають вплив частини автомобіля, що виступають, а саме: підняті вночі фари збільшують силу опору повітря на 10%, відкриті вікна - на 5%, встановлені брудозахисні фартухи на всіх колесах – на 3%, багажник на даху – на 10-12%, зовнішні дзеркала заднього виду – 5-7%, широкопрофільні шини – на 2-4%, антена – на 2%, відкритий люк в даху – на 2-5% [1-5].

Опір обумовлений рухом повітряного потоку через системи вентиляції та охолодження називають – внутрішнім. Його характеризує різка зміна руху потоку, яка має складну конфігурацію, наприклад проходження повітря через радіатори та фільтри салону автомобіля.

Зменшити опір форми можна застосувавши правильні обтічні види задньої та передньої частини автомобіля наприклад: конструювати фургон вагонного типу так, щоб задня його частина генерувала якомога меншу кількість завихрень та мінімізувала за собою зону низького тиску. Цих результатів можна досягнути використанням спойлера, який встановлюється загнутим до верху в задній частині і піднімає потік повітря, що набігає вгору, і не дає можливості виникнення вихрових потоків за кузовом автомобіля. Також для зменшення лобового супротиву можна встановити передній спліттер який допомагає розподіляти зустрічний повітряний потік між верхньою частиною автомобіля і днищем. Спліттер дозволяє збільшити притискну силу на передню вісь і покращити керованість автомобіля.

Антикрило діє по типу спойлера, тільки забезпечує ще більшу притискну силу завдяки великій площі поверхні горизонтального крила. Антикрило за

рахунок збільшення притискної сили на задню вісь автомобіля, покращує керуваність ТЗ.

Прийняття конструктивних рішень до виступаючих частин автомобіля дозволить зменшити аеродинамічний опір. Так, установка на колеса гладких ковпаків знижує цей опір на 3%, заміна виступаючих дверних ручок на оптимізовані в аеродинамічному сенсі – втоплені, також знижує силу опору повітря. Щоб виключити додатковий опір, що викликається щітками склоочисників, коли останні перебувають в неробочому положенні, конструктори деяких фірм ховають їх у спеціальний відсік, розташований між кромкою капота і лобовим склом. Також істотну роль грає якість збірки кузова автомобіля: малі зазори в місцях стиків кузовних деталей можуть зменшити опір на 2-5%. Приблизні значення витрати палива на подолання опору для авто 1300-1500см³ представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність витрат палива до швидкості авто при різних факторах впливаючих на супротив повітря

Рішення	Економія літрів на 100км/ч.	
	Швидкість 90 км/год.	Швидкість 120 км/год.
Прибрати верхній багажник	0,98	1,61
Прибрати кріплення для багажнику	0,61	1,01
Зачинити вікно	0,27	0,44
Уст передній обтікач	0,24	0,40
Закрити люк на криші	0,05	0,08
Устиновити ковпаки на штампован диски	0,05	0,08

Таким чином, останні тенденції зростання швидкостей ТЗ стануть неможливими без урахування впливу на них аеродинаміки. Високі аеродинамічні показники можливо отримати різними способами, вирішуючи окремі задачі, що пов'язані з нею. Аеродинаміка автомобіля має відношення практично до всього спектру питань існування сучасного ТЗ. У багатьох випадках аеродинаміка автомобіля має велике значення для забезпечення керуваності та безпеки дорожнього руху.

Як відомо, шляхова витрата палива прямо пропорційно залежить від сили опору повітря і визначається за формулою

$$Q_s = \frac{ge(P_f \pm P_h \pm P_j + P_w)}{36000 \rho_{п} \cdot \eta_{т}}, \quad (1)$$

де ge – питома годинна витрата палива;

P_f – сила опору коченню;

P_h – сила опору при русі на підйом;

P_j – сила опору інерції;

P_w – сила опору повітря;

ρ_p – густина палива;

η_t – коефіцієнт механічних втрат у трансмісії автомобіля.

Сила опору повітря визначається за формулою, що була запозичена з галузі аеродинаміки

$$P_w = c_x \cdot \rho \cdot F \cdot \frac{v_a^2}{2} = k_w \cdot F \cdot v_a^2, \text{ Н} \quad (2)$$

де c_x – коефіцієнт лобового опору (коефіцієнт обтічності);

ρ – густина повітря;

F – площа проекції автомобіля на площину, перпендикулярну його поздовжній осі (площа лобового опору);

v_a – швидкість відносного руху повітря і автомобіля;

k_w – емпіричний коефіцієнт опору повітря, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$.

З аналізу наведеної формули видно, що складова ρ не залежить від розробників автомобіля, складові F та v_a не можуть бути суттєво зменшені оскільки впливають на розміри вантажу, що перевозиться, і на транспортну продуктивність автомобіля. Тому при розробці конструкцій автомобілів з точки зору зменшення аеродинамічних втрат велика увага приділяється впровадженню заходів із зниження коефіцієнта лобового опору, величина якого, в свою чергу, залежить від таких факторів [3-6]:

- величини і конфігурації фронтальної, задньої і бічної поверхонь;
- виступів і западин на зовнішній поверхні автомобіля;
- щілин та каналів внутрішньогабаритних потоків;
- шорсткості зовнішньої поверхні;
- конфігурації верхньої та нижньої частин автомобіля.

В Україні Харківський національний автомобільно-дорожній університет у складі кафедри «Автомобілі» має Лабораторію швидкісних автомобілів. Вона була заснована в 1953 році тогочасним ректором Б.В. Решетніковим. На кафедрі займаються створенням автомобіля для встановлення рекордів швидкості в заїздах на кільцевих перегонах.

Так А.Г. Авершин в своїй роботі займався дослідженням швидкості потоку в окремих точках днища гоночного автомобіля ХАДІ-31. Виконаний ним експеримент дозволив визначити відповідність даних, отриманих розрахунковим способом, даним, що отримані внаслідок натурного дослідження [3].

Питання обтічності підднищевої зони легкового автомобіля розглядається в іншій роботі. Окрім проблеми з ростом сили опору повітря при невідповідній конструкції, виникає збільшення підйомної сили на автомобіль. Це призводить до погіршення керованості, стійкості і підвищеної витрати палива. Автор займається як математичним моделюванням обтікання в підднищевій зоні автомобіля, так і експериментальним. Експериментальне дослідження в свою чергу було 2 видів:

Метод визначення опору руху автомобіля. Його використання дозволяє розділити аеродинамічний опір та опір коченню за результатами дорожніх випробувань. Основа методу – інтеграція рівняння вибігу автомобіля, в якому функція сумарного опору руху описується повним поліномом другого ступеня швидкості у змінних «шлях-час», за винятком швидкості руху за рахунок введення параметра «повний час вибігу». В результаті була отримана формула шляху-вибігу в функції повного часу, в яку не входить швидкість. При цьому відпала необхідність вимірювання швидкості або уповільнення вибігу, а отже виключена велика група істотних джерел помилок вимірів.

Система Нав'є-Стокса має таку залежність від числа Рейнольдса (Re):

- при перевищенні значення числа Рейнольдса вище деякого критичного числа, аналітично точне рішення для просторового або плоского потоку матиме хаотичний вигляд (потік набуває турбулентних характеристик). В окремому випадку воно пов'язане з теорією Фейгенбаума або іншими сценаріями переходу до хаосу. При поверненні числа Рейнольдса до значень нижчих критичного рішення знову прийматиме нехаотичний вигляд;

- виняткова чутливість до зміни коефіцієнтів рівняння при турбулентному режимі: при зміні числа Рейнольдса на 0,05 % рішення повністю різнитимуться.

З наведеного аналізу відомих досліджень видно, що в основному дослідниками приділена увага покращенню аеродинамічних властивостей автомобіля за рахунок зміни величини і конфігурації фронтальної, задньої і бічної поверхонь, оптимізації виступів і западин на зовнішній поверхні автомобіля, зменшення шорсткості зовнішньої поверхні, зміни конфігурації верхньої та нижньої частин автомобіля та визначення впливу щілин та каналів внутрішньогабаритних (в основному у підкапотному просторі) потоків, але питанню впливу зазорів між елементами автопоїзда (напівпричепа і причепа, тягача і причепа), що впливають на величину сили опору повітря уваги не приділено.

Аналітичні дослідження аеродинаміки автомобіля пов'язане зі складними розрахунками, а натурні експериментальні – зі значними матеріальними витратами. Тому при проведенні досліджень доцільно використати метод фізичного моделювання, який полягає в експериментальному дослідженні фізичних явищ, що відтворюються в лабораторних умовах. Для цього модель явища зазвичай копіюється у зменшеному масштабі, а якщо необхідно – у збільшеному. До переваг фізичного моделювання можна зарахувати [1-5]:

- вивчення явища, не складаючи його математичний опис;
- наочність явища, що моделюється;
- зменшення фінансових затрат на досліді порівняно з натурним зразком об'єкта, що досліджується;
- зміна параметрів, що досліджуються, в широких межах.

Розглянемо відомі дослідження з використанням методу фізичного моделювання та їх інструментальне забезпечення.

Обтікання автомобіля зовнішнім потоком повітря – складний процес, який важко описати математичними формулами. Дорожні випробування використовуються конструкторами та дизайнерами автомобілів на останньому

етапі конструювання – доведенні. В дорожніх умовах на транспортний засіб, що рухається, діють два поля потоків:

- одне виникає в результаті руху автомобіля вперед;
- друге виникає через природний вітер.

Постійна взаємодія двох потоків призводить до складних процесів обтікання, які важко проаналізувати. Тому при створенні аеродинамічних форм автомобілів для спрощення робіт доцільно замінити дійсний рух по дорозі імітацією руху в аеродинамічній трубі. Аеродинамічні труби за способом подачі повітря розділяють на два типи конструкцій.

Закритий тип конструкції в загальному випадку потребує меншу потужність приводу вентилятора порівняно з конструкцією відкритого типу. З цієї причини аеродинамічна труба використовує менше електроенергії при своїй роботі. Повітря циркулює по закритій системі. Це надає можливість використовувати аеродинамічну трубу як кліматичний канал, тобто дозволяє задавати певні значення температури і вологості повітря. До недоліків системи належать вартість покупки та встановлення обладнання, яке потрібне для побудови аеродинамічної труби [3-6].

Аеродинамічний аналіз є невід'ємною частиною проектування автомобіля, оскільки аеродинамічні характеристики безпосередньо впливають на його максимальну швидкість, прискорення, стійкість, керованість та енергоефективність. Для автомобілів оптимізація аеродинаміки набуває особливого значення.

Література

1. Авершин, А. Г. Співставлення результатів експерименту в аеродинамічній трубі і чисельного моделювання масштабної моделі автомобіля / А. Г. Авершин // Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні : наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., 15–18 жовт. 2019 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2019. – С. 206–209.
2. Авершин, А.Г. Комп'ютерне моделювання аеродинамічних характеристик гоночного автомобіля ХАДІ 31 [Текст] / А.Г. Авершин, В.Г. Солодов // Автомобільний транспорт. Сб. науч. тр. – Х., ХНАДУ. – 2005. – вип.16. – С.228-231.
3. Filipkovskij, S., Avershyn, A. (2024). Aerodynamic Interaction of Minivan Vehicles During an Overtaking Maneuver. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1008. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_12
4. Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars / R.Hassan, T.Islam, M.Ali, Q.Islam // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 90. – P. 308–313.
5. Pikula B. Determination of air drag coefficient of vehicle models / B.Pikula, E.Mešić, M.Hodžić // International Congress Motor Vehicles & Motors. – 2008 [Дата звернення 24.05.25]. – Access mode: www.researchgate.net/publication/235988524.

6. Walker T. Some Aspects of the Aerodynamic and Thermodynamic Development of the new Volvo XC90 / T.Walker // International Stuttgart Symposium, Automotive and Engine Technology.

7. Історія інженерної діяльності. Розвиток автомобілебудування : навч. посіб. / В. О. Богомолів, В. І. Клименко, Д. М. Леонтьєв, А. В. Ужва. – 3-тє вид., доповн. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2025. – 194 с.

Науковий керівник: Холодов М.П., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

Алейніков Максим , ст.гр. А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, aleynikov@gmail.com

ОЦІНКА ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІЇВ ГІБРИДНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Підвищення екологічної чистоти та паливної економічності можливо за рахунок використання гібридних та електромобілів. Гібридна технологія на транспортних засобах це ефективна система взаємодії двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна, який отримує живлення від тягової акумуляторної батареї. Завдяки синергетичному підходу гібридні автомобілі мають підвищений енергетичний та динамічний потенціал та відповідають екологічним нормам.

Ключовими завданнями гібридних технологій транспортних засобів є підвищення економії палива та енергоефективності силової установки, рекуперація кінетичної енергії при гальмуванні, економічне використання енергії в режимі міського руху.

Самим екологічним автомобілем, за даними інтернет-ресурсу Kelley Blue Book, названий електромобіль Nissan Leaf, що витрачає 765 кДж/км або 212,5 Вт·год/км, що згідно з еквівалентним перерахунком у витрату палива за цінами США складає близько 99 MPG або 2,38 л на 100 км. Друге місце посів гібридний автомобіль Chevrolet Volt з витратою палива 2,53 л/100 км.

Найбільш розповсюджений гібридний автомобіль Toyota Prius на третій сходинці з результатом 3,9 л/100 км.

Спеціалісти довідкового видання Kelly Blue Book прогнозують, що електромобілі за залишковою вартістю будуть істотно поступатися автомобілям із двигуном внутрішнього згоряння після п'яти років експлуатації.

Так, передбачається, що, наприклад, Nissan Leaf через п'ять років експлуатації у США буде мати ринкову ціну 20 % від своєї первинної вартості. Для порівняння, ціна бензинового однокласника тієї ж марки – Nissan Sentra – через п'ять років складе близько 30 % від ціни нового автомобіля.

Витрата енергії електромобілів перераховується в об'єм палива в міському та заміському циклах руху за прийнятою формулою, в якій 33,7 кВт·год дорівнює 1 галону бензину.

За тестами EPA паливна економічність електромобіля Mitsubishi i-MiEV складає 126 MPG у міському режимі та 99 MPG за містом, електромобіля Nissan Leaf показники дещо гірші – 106 MPG та 92 MPG відповідно.

Проведено порівняльний розрахунок енергетичних витрат гібридного транспортного засобу Toyota Prius PHV, гібридного електромобіля Chevrolet Volt та автомобіля з ДВЗ Volkswagen Golf VII 1.4 TSI в Україні, США.

Для початку проведемо розрахунок паливної економічності Toyota Prius PHV та Chevrolet Volt у режимі «тільки електрика» згідно з цінами на електричну енергію в Україні, США.

Автомобіль Volkswagen Golf VII 1.4 TSI не має такого режиму, як рух на електричній тязі, тому до даного розрахунку не долучений.

Як початкові дані для розрахунку обрані реальні тести на економічність гібридних транспортних засобів, що проведені у США.

Згідно з проведеними тестами Prius PHV у режимі «тільки електрика» витрачає 23,2 кВт·год для подолання 100 миль, а автомобіль Chevrolet Volt на 100 миль витрачає вже 39,0 кВт·год.

Гібридний транспортний засіб Toyota Prius PHV для подолання 1 км шляху в режимі «тільки електрика» витрачає всього 0,145 кВт·год, що в перерахунку на гривні складає 0,11445 грн/км або 11,45 грн/100 км під час експлуатації його в Україні.

Для цін на електричну енергію у США Toyota Prius PHV витрачає 0,45325 грн/км або 45,32 грн/100 км, а на території Росії це буде складати 0,2973 грн/км або 29,73 грн/100 км.

Гібридний електромобіль Chevrolet Volt для подолання 1 км шляху в режимі «тільки електрика» витрачає 0,244 кВт·год, що в перерахунку на гривні складає 0,1925 грн/км або 19,25 грн/100 км під час експлуатації його в Україні.

Для цін на електричну енергію у США Chevrolet Volt витрачає 0,7625 грн/км або 76,25 грн/100 км, а на території Росії буде витратити 0,5002 грн/км або 50,02 грн/100 км [1].

Порівняльний розрахунок вартості експлуатації гібридних транспортних засобів Chevrolet Volt та Toyota Prius PHV у режимі «тільки електрика» в Україні та США дійсно демонструє значні економічні переваги експлуатації автомобілів з тяговим електричним приводом в Україні [2].

Реальні тести на економічність, що проведені у США, показали, що в режимі «гібридному» автомобіль Prius PHV має витрату палива 47,2 MPG, а Chevrolet Volt – 31,1 MPG.

Згідно з перерахунком у Європейську систему визначення паливної економічності автомобіль Toyota Prius PHV витрачає в режимі «гібридному» 4,98 л/100 км, а автомобіль Chevrolet Volt – 7,56 л/100 км.

В Україні вартість експлуатації вибраних автомобілів у «гібридному» режимі в 9,2 раза перевищує вартість їх експлуатації в режимі «тільки електрика», при цьому вартість експлуатації автомобіля Volkswagen Golf VII 1.4 TSI майже дорівнює вартості експлуатації Toyota Prius PHV і на 31 %

вигідніше ніж експлуатація Chevrolet Volt при використанні у «гібридному» режимі.

Література

1. Експлуатаційні властивості гібридних автомобілів: монографія/ Т.О. Бажинова, А.О. Борисенко. Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. 104с.
2. Бажинов О.В. Діагностика силової установки гібридного автомобіля / Бажинов О.В., Бажинова Т.О., Заверуха Р.Р. Харків: ХНАДУ, 2021. 116с.

Науковий консультант: Бажинов Олексій Васильович, д.т.н., проф. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Бірченко Максим, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, maksimbirchenko0303@gmail.com

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Об'єктом дослідження з'явилися електромагнітні поля, породжені сторонніми джерелами, які називаються фоновими полями. Характер цих полів, їх просторовий розподіл та інтенсивність наведені на рис. 1.

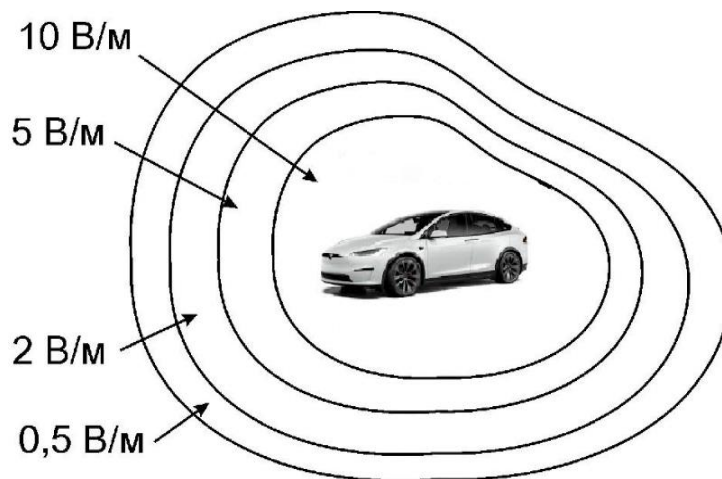


Рисунок 1 - Просторова діаграма розподілу інтенсивності електричного поля електромагнітного випромінювання навколо гібридного/електромобіля

Основною гіпотезою дослідження є знаходження фізичних особливостей джерел, становищем їх по відношенню до водія та пасажирів. Отже основне джерело фонових полів електромагнітного випромінювання – це мережа електроживлення силової установки гібридного/електромобіля та інформаційних систем [1].

Екранування низькочастотних полів має свої особливості. Тут головну роль відіграють процеси поляризації та намагніченості матеріалу екрана.

Поляризація зарядів у металевій стінці екрана створює поле, що компенсує зовнішнє низькочастотне електричне поле. Оскільки рухливість електронів у металі дуже висока, то товщина стінок екрана повинна бути малою.

Аналогічно для магнітного поля. У металевому екрані з високою провідністю магнітне поле викликає вихрові струми, які, своєю чергою, створюють магнітне поле, спрямоване назустріч зовнішньому, і компенсує його [2].

В якості недоліку важлива насамперед висока провідність матеріалу екрану. Для екранування низькочастотних полів використовують зазвичай феромагнетики з магнітною проникністю $\mu \geq 1$.

У разі екранування високочастотного поля основною вимогою є висока електропровідність.

Розглядаючи ситуацію в середині салону електромобіля припускаємо, що у математичної моделі будуть враховані джерела ЕМВ які будуть найбільш потужними з точки зору їх негативного впливу на водія та пасажирів (біологічні об'єкти) [1].

Уділяємо увагу біологічному об'єкту, яким являє собою водій електромобілю, так як він у порівнянні з іншими біологічними об'єктами (пасажирями) перебуває більше часу під дією ЕМВ.

Приймаємо що кожне із зазначених i -х джерел утворюють навколо себе відповідну хмаринку ЕМВ з початковою магнітною індукцією B_{0i} навколо себе [2].

Приймаємо, що зменшення магнітної індукції зазначених i -х джерел B_{0i} зворотно пропорційно квадрату відстані до точки виміру магнітної індукції і визначається по залежності (1)

$$B_A \leq B_{\text{ПДУ}} \quad B_{i-S} = (B_{0i} / S^2), \quad (1)$$

де B_{i-S} – магнітна індукція i -х джерел ЕМВ в точці на відстані S від нього;

B_{0i} – початкова магнітна індукція i -х джерел ЕМВ;

S – відстань від i -х джерел ЕМВ до точки визначення зменшеного значення магнітної індукції B_{i-S} .

В салоні електромобіля всі i -ті враховані джерела ЕМВ загалом утворюють велику хмару ЕМВ з загальною сумарною магнітною індукцією (2) у вигляді

$$B_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n B_{oi}. \quad (2)$$

Значення магнітної індукції великої хмари ЕМВ вираз (3) у будь якій точці A (рис. 1) з врахуванням початкової магнітної індукції кожного i -го джерела (B_{0i}) та відстані S_{i-A} від i -го джерела до точки A для зазначених i -х джерел B_{0i} запишемо у вигляді

$$B_A = \sum_{i=1}^n \frac{B_{oi}}{S_{i-A}^2}. \quad (3)$$

Передбачається що за точку А (рис. 1) прийнято робоче місце водія електромобіля.

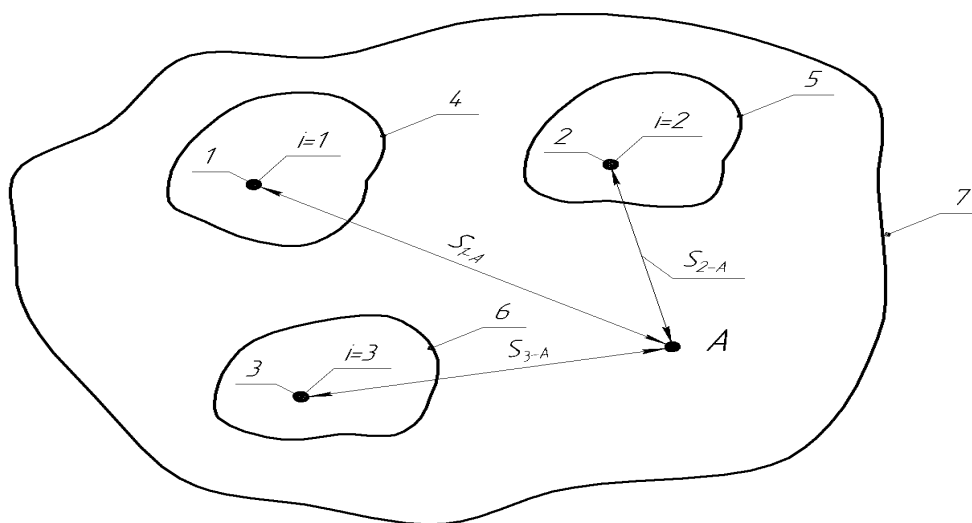
На рис. 2 надана схема до математичної моделі електромагнітного випромінювання в салоні електромобіля.

В якості джерел ЕМВ приймаємо найбільш потужні з точки зору їх негативного впливу на водія та пасажирів (біологічні об'єкти) джерела, наприклад: 1 – тягова акумуляторна батарея; 2 – силові кабелі; 3 – електричний двигун електромобіля.

Концепція роботи полягає у тому, що у точці А – робоче місце водія необхідно забезпечити умови при яких магнітна індукція B_A не повинна перевищувати допустиму магнітну індукцію, тобто $B_{пду}$ у вигляді – виразу (4)

$$B_A \leq B_{пду}. \quad (4)$$

Вся подальша робота присвячена розробки заходів, пристроїв та методів по забезпеченню виконання зазначених умов (4) на робочому місці водія електромобіля.



1 – джерело електромагнітного випромінювання ($i=1$); 2 – джерело електромагнітного випромінювання ($i=2$); 3 – джерело електромагнітного випромінювання ($i=3$); 4, 5, 6 – хмаринки 1, 2 та 3 джерел 1, 2 та 3 електромагнітні випромінювання; 7 – загальна хмара електромагнітного випромінювання в салоні електромобіля; А – робоче місце водія; S_{1-A} – відстань від джерела 1 до точки А; S_{2-A} – відстань від джерела 2 до точки А; S_{3-A} – відстань від джерела 3 до точки А

Рисунок 2 - Схема до математичної моделі електромагнітного випромінювання в салоні електромобіля

Сучасний електродвигун електромобіля використовує трифазні синхронні

(асинхронні) електричні потоки змінного струму.

Інвертор перетворює постійний струм від тягового акумулятора на змінний для електромотора.

Література

1. Mohammed, A., Saif, O., Abo-Adma, M., Fahmy, A., & Elazab, R. (2024). Strategies and sustainability in fast charging station deployment for electric vehicles. Scientific reports, 14(1), 283.

2. Pradhap, R., Radhakrishnan, R., Vijayakumar, P., Raja, R., & Saravanan, D.S. (2020). Solar Powered Hybrid Charging Station For Electrical Vehicle. International Journal of Engineering Technology Research & Management, 4(4), 19-27.

Науковий консультант: Бажинов Олексій Васильович, д.т.н., проф. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Бреславець Владислав, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, mia2005.62@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З ПОВНООПОРНИМ СТЕНДОМ ПРИ ГАЛЬМІВНИХ ВИПРОБУВАННЯХ

Контроль технічного стану гальмівних систем колісних транспортних засобів (КТЗ) в умовах експлуатації здійснюється, як правило, стендовим методом із застосуванням роликів стендів [1, 2].

При перевірці на інерційному стенді приводом розганяють колеса і барабани до заданої швидкості, після чого відключають привод і гальмують. Гальмівні моменти M_{Π} і M_3 викликають кутові сповільнення коліс і роликів ε_{K1} , ε_1 , ε_2 і ε_{K2} , ε_3 , ε_4 відповідно.

Рух описується наступною системою рівнянь

$$\Sigma M_{O_{\Pi}} = M_{\Pi} - (T_1 + T_2) \cdot R - I_{K1} \cdot \varepsilon_{K1} = 0, \quad (1)$$

$$\Sigma M_{O_3} = M_3 - (T_3 + T_4) \cdot R - I_{K2} \cdot \varepsilon_{K2} = 0, \quad (2)$$

$$\Sigma M_{O_1} = I_1 \cdot \varepsilon_1 - T_1 \cdot r = 0, \quad \Sigma M_{O_2} = I_2 \cdot \varepsilon_2 - T_2 \cdot r = 0, \quad (3)$$

$$\Sigma M_{O_3} = I_3 \cdot \varepsilon_3 - T_3 \cdot r = 0, \quad \Sigma M_{O_4} = I_4 \cdot \varepsilon_4 - T_4 \cdot r = 0, \quad (4)$$

де I_{K1} , I_{K2} , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 – моменти інерції коліс і роликів;

R – динамічний радіус колеса;

r – радіус ролика.

До початку прослизання

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_{K1} \cdot \frac{R}{r}, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_{K2} \cdot \frac{R}{r}. \quad (5)$$

Залежність сповільнень від гальмівних моментів

$$\varepsilon_{K1} = \frac{M_{\Pi}}{I_{K1} + \frac{I_1 + I_2}{r^2} \cdot R^2}, \quad \varepsilon_{K2} = \frac{M_3}{I_{K2} + \frac{I_3 + I_4}{r^2} \cdot R^2}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{M_{\Pi} \cdot R \cdot r}{(I_1 + I_2) \cdot R^2 + I_{K1} \cdot r^2}, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \frac{M_3 \cdot R \cdot r}{(I_3 + I_4) \cdot R^2 + I_{K2} \cdot r^2}. \quad (7)$$

Сповільнення коліс і роликів прямо пропорційні M_{Π} і M_3 , кожна з цих величин може служити діагностичним параметром.

Замість фізичної величини «момент інерції» зручно користатися величиною «приведена інерційна маса», розуміючи під нею масу m фіктивного тіла, що поступально рухається і має ту ж лінійну швидкість V , що і ділянки обертового тіла на радіусі R при кутовій швидкості ω , і рівну кінетичну енергію

$$\frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{m \cdot V^2}{2}. \quad (8)$$

З огляду на те, що $\omega = \frac{V}{R}$, одержимо

$$m = \frac{I}{R^2}. \quad (9)$$

$$\text{Тоді} \quad \varepsilon_{K1} = \frac{M_{\Pi}}{m_{K1} \cdot R^2 + (m_1 + m_2) \cdot R^2} = \frac{M_{\Pi}}{m_{C1} \cdot R^2}, \quad j_{K1} = \frac{P_{\Pi}}{m_{C1}}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{K2} = \frac{M_3}{m_{K2} \cdot R^2 + (m_3 + m_4) \cdot R^2} = \frac{M_3}{m_{C2} \cdot R^2}, \quad j_{K2} = \frac{P_3}{m_{C2}}, \quad (11)$$

$$\text{де } m_{C1} = m_{K1} + m_1 + m_2, \quad m_{C2} = m_{K2} + m_3 + m_4; \quad (12)$$

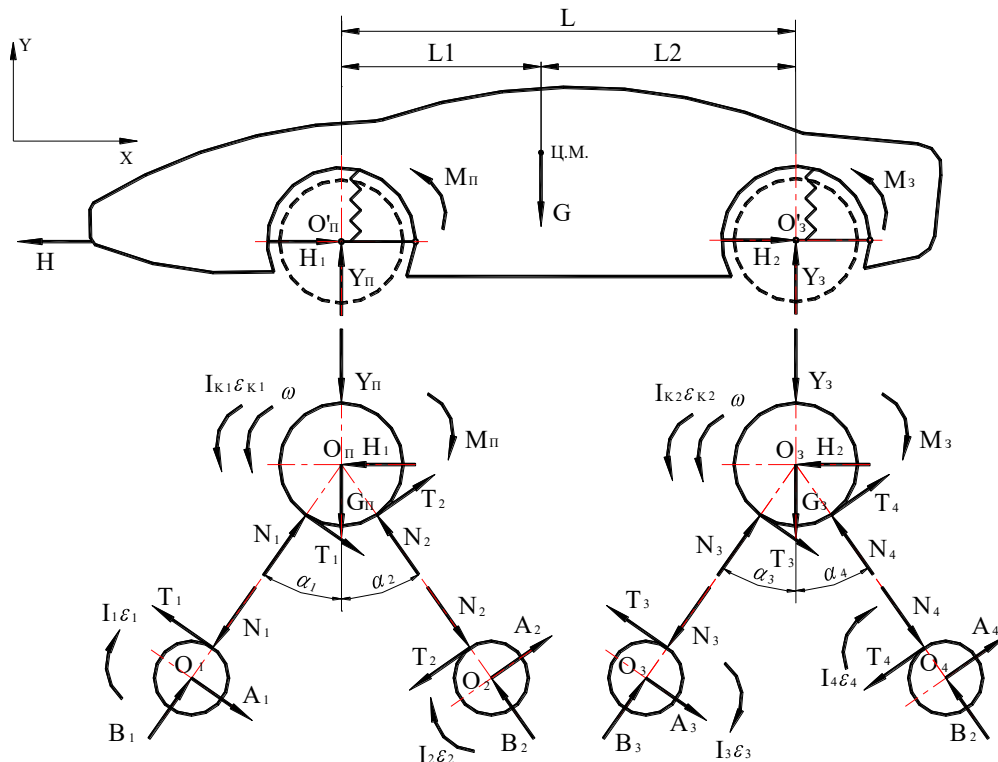
m_{K1} , m_{K2} – інерційні маси (ІМ) переднього і заднього коліс і зв'язаних з ними обертових частин автомобіля;

m_1 , m_2 , m_3 , m_4 – ІМ роликів і зв'язаних з ними обертових частин стенда;

j_{K1} , j_{K2} – лінійні сповільнення.

Для визначення досяжних сил зчеплення необхідно вивчити їхню залежність від діючого гальмівного моменту, параметрів автомобіля і стенда.

З цією метою складемо систему рівнянь кінетостатики для системи «автомобіль-стенд». Самий загальний випадок – інерційний стенд без зв'язку між роликами. Розглядаємо перевірку передніх і задніх гальм автомобіля 4x4 на повноопорному стенді симетричної схеми (рис 1).



$M_{\text{п}}$, M_3 – гальмівні моменти на передньому і задньому колесах; G , $G_{\text{п}}$, G_3 – ваги кузова без передніх і задніх мостів і коліс, переднього і заднього мостів з колесами; H_1 , $Y_{\text{п}}$ – складові зусилля в передній підвісці; H_2 , Y_3 – складові зусилля в задній підвісці; H – зусилля в кріпильному з'єднанні

Рисунок 1 – Схема сил у системі «автомобіль-стенд» при перевірці передніх і задніх гальм на інерційному стенді без зв'язку між роликами

Вага кузова буде складатися з добутку спорядженої маси автомобіля і прискорення вільного падіння $m_{\text{СПОР}} \cdot g = G_{\text{СПОР}}$, за винятком переднього і заднього мостів з колесами

$$G = G_{\text{СПОР}} - G_{\text{п}} - G_3 . \quad (13)$$

При кінетостатичному аналізі під спорядженою масою, а також величинами, що відносяться до лівої і правої частин автомобіля будемо розуміти половину цих величин, тому що центр мас автомобіля знаходиться приблизно на осі, що розділяє праву і ліву частини автомобіля, а автомобіль зручно розглядати на площині, що проходить через цю вісь.

Прийmemo допущення, які звичайно використовуються в цьому випадку:

- 1) пружні характеристики шин і підвіски лінійні;
- 2) тертя й опір коченню дуже малі;
- 3) коефіцієнт зчеплення шин із усіма роликами однаковий і постійний;
- 4) зсув осей коліс дуже малий і їм можна знехтувати.

Представимо автомобіль у виді трьох тіл: кузова і двох мостів з колесами. Мости зв'язані з кузовом через підвіску, що має вертикальну і горизонтальну піддатливість.

Кінетостатична модель розглянутої системи повинна містити в собі рівняння рівноваги цих трьох тіл і рівняння руху роликів і коліс.

Рівновага переднього колеса

$$\Sigma X = T_1 \cdot \cos \alpha_1 + T_2 \cdot \cos \alpha_2 + N_1 \cdot \sin \alpha_1 - N_2 \cdot \sin \alpha_2 - H_1 = 0, \quad (14)$$

$$\Sigma Y = -T_1 \cdot \sin \alpha_1 + T_2 \cdot \sin \alpha_2 + N_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \cos \alpha_2 - (Y_{\Pi} + G_{\Pi}) = 0. \quad (15)$$

Рівновага заднього колеса

$$\Sigma X = T_3 \cdot \cos \alpha_3 + T_4 \cdot \cos \alpha_4 + N_3 \cdot \sin \alpha_3 - N_4 \cdot \sin \alpha_4 - H_2 = 0, \quad (16)$$

$$\Sigma Y = -T_3 \cdot \sin \alpha_3 + T_4 \cdot \sin \alpha_4 + N_3 \cdot \cos \alpha_3 + N_4 \cdot \cos \alpha_4 - (Y_3 + G_3) = 0. \quad (17)$$

Рівновага кузова

$$\Sigma X = H_1 + H_2 - H = 0, \quad \Sigma Y = -G + Y_{\Pi} + Y_3 = 0, \quad (18)$$

$$\Sigma M_{O'_3} = -M_{\Pi} - M_3 + Y_{\Pi} \cdot L - G \cdot L_2 = 0.$$

Рух передніх коліс

$$M_{\Pi} - I_{K1} \cdot \varepsilon_{K1} - (T_1 + T_2) \cdot R = 0. \quad (19)$$

Рух задніх коліс

$$M_3 - I_{K2} \cdot \varepsilon_{K2} - (T_3 + T_4) \cdot R = 0. \quad (20)$$

Рух роликів

$$I_1 \cdot \varepsilon_1 - T_1 \cdot r = 0, \quad I_2 \cdot \varepsilon_2 - T_2 \cdot r = 0, \quad (21)$$

$$I_3 \cdot \varepsilon_3 - T_3 \cdot r = 0, \quad I_4 \cdot \varepsilon_4 - T_4 \cdot r = 0.$$

Таким чином, отримана система з 13 рівнянь, що містить 19 невідомих. Частина з них можна знайти

$$H = H_1 + H_2, \quad (22)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_{K1} \cdot \frac{R}{r}, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_{K2} \cdot \frac{R}{r}. \quad (23)$$

Тоді
$$T_1 = \frac{m_1 \cdot M_{\Pi}}{m_{C1} \cdot R}, \quad T_2 = \frac{m_2 \cdot M_{\Pi}}{m_{C1} \cdot R}, \quad T_3 = \frac{m_3 \cdot M_3}{m_{C2} \cdot R}, \quad T_4 = \frac{m_4 \cdot M_3}{m_{C2} \cdot R}. \quad (24)$$

Тепер система складається з 6 рівнянь з 8-ю невідомими, будучи статично

невизначеною. Зайвими двома невідомими є горизонтальні реакції в підвісках обох коліс H_1 і H_2 .

В механіці для рішення статично невизначених задач широко використовуються енергетичні методи. Для рішення описаних вище задач, наприклад, можна використовувати принцип мінімуму потенційної енергії деформацій пружних елементів системи.

Література

1. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання: ДСТУ 3649:2010. – [Введ. 01.07.2011]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 28 с.

2. Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових якостей автомобілів: наукове видання / [Говорущенко М.Я., Волков В.П., Рабінович Е.Х., Мармут І.А., Зуєв В.О.]. Х.: ХНАДУ, 2009. – 344 с.

Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Власов Станіслав, ст. гр А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Stas08597@gmail.com

ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ БЕНЗИНОВИМИ ДВИГУНАМИ

Коли говорять про склад компонентів відпрацьованих газів автомобільних двигунів, називають речовини: окис вуглецю, оксиди азоту, частинки сажі та вуглеводні. Проте, дуже рідко згадують, що ці компоненти становлять лише невелику частину загальної маси відпрацьованих газів [1, 2].

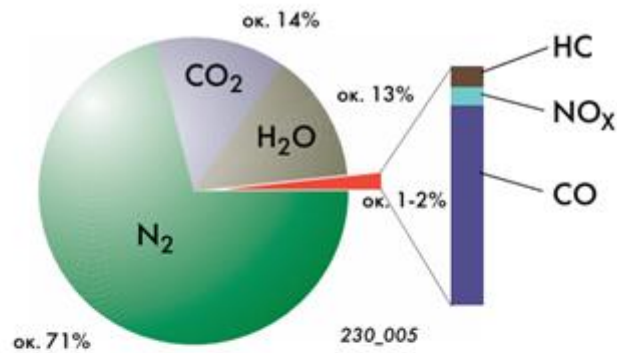
Тому, перш за все, цікаво показати приблизну частку окремих компонентів, в загальній масі відпрацьованих газів бензинових двигунів.

У складі відпрацьованих газів бензинових двигунів може також бути присутнім у невеликій кількості двоокис сірки SO_2 , N_2 , азот O_2 кисень H_2O вода CO_2 вуглекислий газ CO окис вуглецю NOX оксиди азоту SO_2 двоокис сірки Pb свинець HC вуглеводні PM частинки сажі.

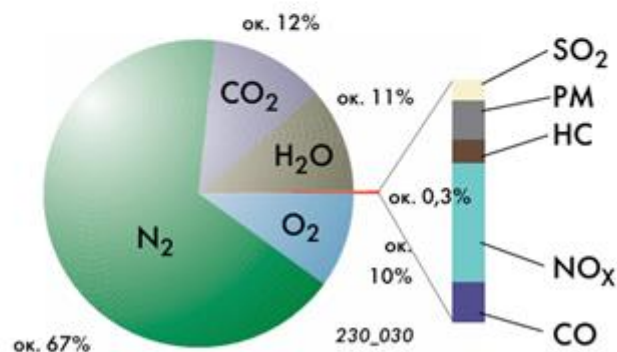
На рис. 1 представлений склад відпрацьованих газів бензинових та дизельних двигунів

В даний час недостатньо проводити приватні розробки щодо зниження викиду окремих компонентів відпрацьованих газів та витрати палива автомобіля.

Автомобіль повинен розглядатися як одне ціле, причому конструкції його компонентів мають бути взаємно узгоджені.



a)



б)

Рисунок 1 - Склад відпрацьованих газів

Виходячи з цієї технології створення автомобіля як цільного об'єкта, виявлено три напрями стратегічного розвитку з метою зниження шкідливих викидів, а саме: зниження витрати палива, очищення газів, що відпрацьовали, діагностика агрегатів, від яких залежить склад відпрацьованих газів.

Нижче розглянуті заходи відповідно до їх приналежності до названих вище напрямків розвитку автомобільної техніки.

Зниження витрат палива. Аеродинаміка. Обтічні форми кузова автомобіля дозволяють знизити його аеродинамічний опір, забезпечуючи тим самим зниження витрати палива. За останні десятиліття коефіцієнт аеродинамічного опору c_w автомобілів було знижено з 0,45 до 0,30. Це велике досягнення, тому що вже при швидкості автомобіля 100 км/год близько 70% енергії, що витрачається на його переміщення, припадає на подолання опору повітря.

Зниження маси автомобіля. Зниженню власної маси автомобіля протистоять норми пасивної безпеки та заходи, спрямовані на збільшення комфорту. Проте, полегшення автомобіля необхідне для зниження його витрати палива. Прикладами можуть бути автомобілі Audi A8/A2 (Space Frame). Кузови цих автомобілів частково виготовлені з легких матеріалів (алюмінію та магнію).

Системи керування двигуном. Сигнали з датчиків у блоці керування двигуном через регульовані величини перетворюються на керуючі сигнали.

Сучасні системи керування двигуном впливають на всі його регульовані компоненти (виконавчі пристрої). В результаті забезпечується регулювання двигуна відповідно до його навантаження і проводиться оптимізація процесів згоряння.

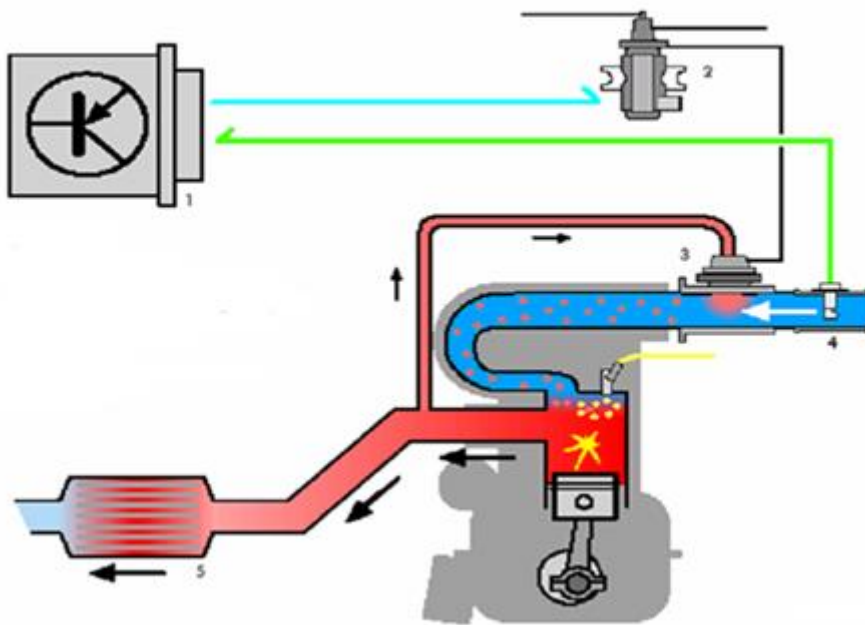
Витрата палива автомобіля значною мірою залежить від конструкції його двигуна та коробки передач.

Економічний робочий процес забезпечується у сучасних двигунів у результаті застосування: систем Common Rail у дизелів, безпосереднього упорскування у бензинових двигунів.

Передавальні числа коробки повинні бути узгоджені з розмірами та масою автомобіля. Крім цього випускаються 6-ступінчасті коробки передач. Це необхідне забезпечення роботи двигуна на найбільш економічних режимах.

Вентиляція паливного бака Щоб запобігти проникненню парів бензину (вуглеводнів НС) в навколишню атмосферу, бензин, що випарувався в баку, направляється в адсорбер з активованим вугіллям, а потім використовується в процесі згоряння.

Рециркуляція відпрацьованих газів. У сучасних двигунів рециркуляція відпрацьованих газів (рис. 1) застосовується як для зниження насосних втрат, так і для надання сприятливого впливу відпрацьованих газів на процес згоряння на деяких режимах руху автомобіля.



1 блок управління двигуном (з інтегрованим датчиком абсолютної висоти);

2- клапан рециркуляції відпрацьованих газів; 3- клапан AGR;

4- витратомір повітря; 5-каталітичний нейтралізатор

Рисунок 1 – Схема рециркуляція відпрацьованих газів

Діагностика всіх агрегатів та систем автомобіля, від яких залежить склад відпрацьованих газів, відома під назвою "OnBoardDiagnose" (бортова діагностика). Європейський варіант цієї діагностики називається "EuroOnBoardDiagnose".

Законодавчі органи вимагають її застосування під час сертифікаційних випробувань нових моделей автомобілів з 2000 року.

При несправності агрегатів та систем, що впливають на склад відпрацьованих газів, загоряється контрольна лампа Check engine. Виявлення несправностей та отримання додаткової інформації здійснюється за допомогою уніфікованого діагностичного приладу (сканера OBD) або спеціальної діагностичної, вимірювальної та інформаційної системи, що підключаються до мережі автомобіля через спеціальну діагностичну колодку.

Література

1. Программа самообучения 230. Выброс вредных веществ с отработавшими газами автомобильных двигателей. Volkswagen AG, Вольфсбург.1999.

2. Система EGR: несправності, причини...- pro-sensys.com: вебсайт. URL <https://pro-sensys.com/info/articles/obzornye-stati/raz-uzh-reshilis-otklyuchit-egr/>

Науковий консультант: Дитятьєв Олександр Васильович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Гергіль Деніс, ст. гр.А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ ПІД ЧАС РУХУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ТРАЄКТОРІЇ

Розглядаючи стійкість автомобіля в процесі гальмуванні при русі автомобіля по криволінійній траєкторії, більшість вчених приводять схему його руху при значних швидкостях бічного ковзання. У цьому випадку закон руху автомобіля описується нелінійними диференціальними рівняння, найчастіше розв'язуваними тільки чисельними методами. Рішення цих рівнянь, а також аналітичні вираження для оцінки стійкості не містить параметрів, що характеризують процес гальмування і конструкцію гальмового управління. Конструктори використовують лише накопичений досвід експериментальних досліджень.

Діючі в даний час стандарти не визначають гальмівні властивості автомобіля під час руху на повороті, оскільки відсутні залежності для розрахунку гальмівного шляху та уповільнення [1].

У роботі [2] наведено результати дослідження динаміки гальмування автомобіля по криволінійній ділянці дороги при вході в поворот, визначено сили, що діють на передню та задню осі.

Однак у зазначеній роботі не визначено гальмівний шлях та уповільнення автомобіля під час руху на повороті.

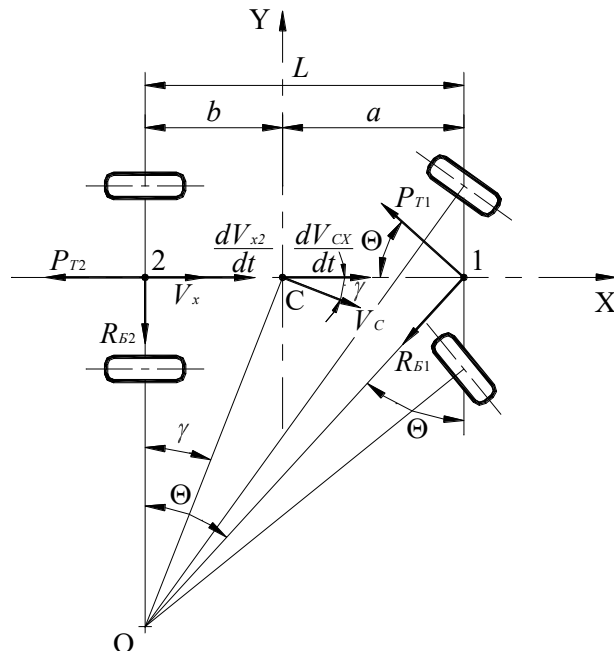
У роботі [3, 4] отримані залежності для розрахунку гальмівного шляху при русі на повороті у разі рівного та регульованого розподілу гальмівних сил між бортами автомобіля. В той же час, у даній роботі не враховувалося, що передні керовані колеса повернуті на певний кут, у зв'язку з чим виникають додаткові сили та моменти. Тому рівняння гальмівного шляху та уповільнення, отримані у зазначеній роботі [8, 9] коректніше використовувати при гальмуванні автомобіля на прямолінійній ділянці дороги при дії бічної сили, прикладеної в центрі мас.

Розглянемо процес гальмування автомобіля на повороті (рис. 1). Прискорення центру мас автомобіля у напрямку осі CX

$$\frac{d^2 x_C}{dt^2} = \frac{dV_{CX}}{dt} = \frac{(-P_{T2} - P_{T1} \cos \Theta - R_{B1} \sin \Theta)}{m_a}. \quad (1)$$

Після перетворення виразу (1) отримаємо

$$\frac{dV_{CX}}{dt} = -\frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_a \left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta \right)} - V_x^2 \frac{b}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta. \quad (2)$$



C – центр мас автомобіля C; R_{B1} , R_{B2} – бічні сили, що діють на передню та задню осі; Θ – кут повороту керованих коліс; Про – центр повороту; V_C – лінійна швидкість центру мас; V_x – проекція вектора V_C на вісь CX

Рисунок 1 - Схема сил, що діють на автомобіль при гальмуванні на повороті

Прискорення це вектор, що дорівнює прискоренню, але спрямований у протилежний бік. Таким чином

$$j_{cx} = \frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_{np}} + V_x^2 \frac{b}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta. \quad (3)$$

В роботі [5] отримані залежності для визначення коефіцієнта розподілу гальмівної сили на передню вісь β_{ud} , що забезпечує одночасне доведення до грані блокування передніх та задніх коліс при дії бічної сили, прикладеної в центрі мас.

У зазначеній роботі зазначається, що відома залежність справедлива при малих кутах повороту керованих коліс, тобто. при русі автомобіля із відносно високою швидкістю по закругленнях доріг з великими радіусами кривизни.

У відомих дослідженнях не розглянуто вплив кутів повороту керованих коліс на розподіл гальмівних сил між осями.

Після перетворення рівнянь, що приведено в [5] отримуємо

$$V_x^* = \sqrt{\frac{\varphi g b}{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}} = R \sqrt{\frac{\varphi g b}{R^2 + b^2}}. \quad (4)$$

На рисунку 2 (при $R=1000$ м) наведено графічну інтерпретацію залежності (4). При бічній силі P_y буде спрямована до центру повороту автомобіля.

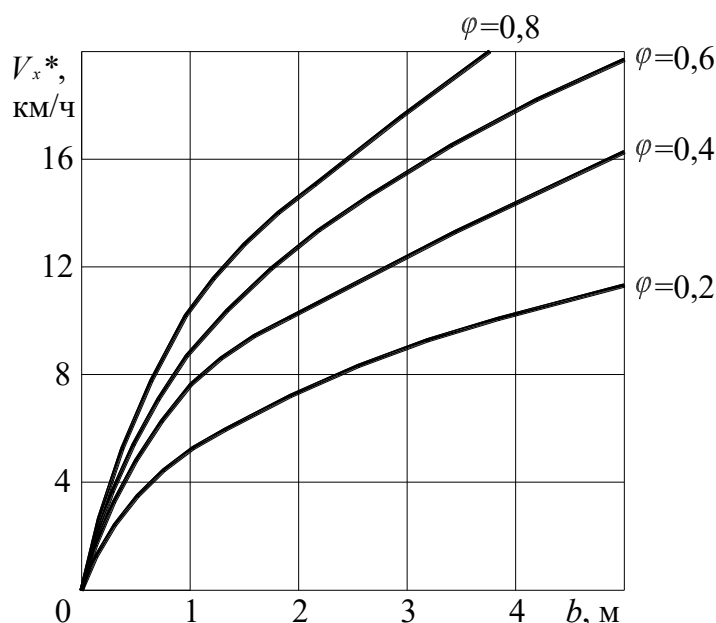


Рисунок 2 - Залежність $V_x^* = V_x^*(b)$ при різних значеннях коефіцієнта зчеплення при гальмуванні на повороті, що має $R=1000$ м

Отримана залежність (4) дещо відрізняється від відомої залежності [5], що визначає найбільшу безпечну швидкість автомобіля при занесенні осі в процесі гальмування.

Відомі закони ідеального розподілу гальмівних сил як між осями, так і між бортами враховують тільки величину бокової сили, закладеної в центрі маси автомобіля. При гальмуванні на повороті зменшується швидкість руху автомобіля і відбувається зменшення бічної сили, що має супроводжуватися постійним зміною розподілу гальмівних сил між його осями та бортами.

Література

1. Ретроспективний аналіз вимог, подань до ефективності гальмування / В.П. Волков // Автошляховик України. (К.: 2002. №2 (168)). 2. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навч. посібник / В.П. Волков. Харків: ХНАДУ, 2003. 292 с. 3. Богомолів В.О. Створення і дослідження систем керування гальмуванням автотранспортних засобів. Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.02 / Харківський державний автомобільно-дорожній технічний університет. Харків, 2001. 33 с. 4. Бегишев Д. Шифровка ESP / Motor News. 1998. №11. с. 70-71. 5. Питання динаміки гальмування і теорії робочих процесів гальмівних систем автомобілів / Генбом Б.Б., Гудз Г.С., Дем'янюк В.А. і ін. Львів: Вища школа, 1974. 274 с.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Глушан Артем, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, quazard777@gmail.com

МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

Вибір тягової акумуляторної батареї (ТАБ) є багатофакторним інженерним завданням, яке вимагає досягнення оптимального балансу між технічними характеристиками (продуктивність), економічними показниками (вартість) та вимогами безпеки. Методологія вибору ґрунтується на аналізі цільового призначення електромобіля та його експлуатаційного профілю.

Етапи методології вибору ТАБ наступні.

Визначення профілю місії (Mission Profile): встановлення ключових вимог до транспортного засобу (ТЗ): необхідний запас ходу, максимальна швидкість, динаміка прискорення та умови експлуатації (температурний режим, тип доріг).

Розрахунок енергетичних вимог: визначення необхідної загальної енергії (кВт·год) для забезпечення заданого запасу ходу та пікової потужності (кВт) для прискорення.

Порівняння електрохімічних систем: зіставлення характеристик NMC, LFP та інших систем із розрахунковими вимогами.

Оцінка життєвого циклу та вартості: аналіз загальної вартості володіння (Total Cost of Ownership, TCO), включаючи початкову ціну батареї та її

очікуваний ресурс. Обґрунтування вибору: формування техніко-економічного обґрунтування на користь конкретного типу акумулятора [1, 2].

Вибір електрохімічної системи здійснюється за пріоритетністю наступних критеріїв:

Питома енергетична густина (Wh/kg): найважливіший критерій для пасажирських ЕВ, де пріоритетом є максимальний запас ходу при мінімальній вазі. За цим критерієм лідирують NMC та NCA.

Питома потужність (W/kg): вирішальний для високопродуктивних (спортивних) ЕВ або тих, що вимагають частого рекуперативного гальмування та швидкого прискорення. Вартість (USD/kWh): ключовий фактор для бюджетних та комерційних ЕВ.

Низька вартість LFP-систем часто компенсує їхню меншу енергетичну густину.

Циклічний ресурс та довговічність визначає, як довго батарея підтримуватиме прийнятний SOH. Це критично для таксі, каршерінгу та іншого fleet-транспорт, де пріоритет надається LFP.

Системи повинні мати достатній запас стійкості до внутрішніх та зовнішніх термічних впливів.

Таким чином, вибір акумуляторної системи – це завжди компроміс між густиною енергії (дальність) та густиною потужності (динаміка) з одного боку, та вартістю і безпекою з іншого.

Розрахунок ємності та потужності тягової акумуляторної батареї (ТАБ) є необхідним етапом для обґрунтування вибору електрохімічної системи. Розрахунок повинен враховувати вимоги до запасу ходу, динаміки, маси транспортного засобу та ефективності привода.

Розрахунок необхідної енергетичної ємності $E_{(batt)}$ за наступною формулою для розрахунку загальної енергії батареї (з урахуванням запасу)

$$E_{batt} = \frac{L \cdot W_{sp}}{\eta_d \cdot k_r} \quad (1)$$

Розрахунок необхідної пікової потужності P_{peak} . Формула для розрахунку пікової потужності, необхідної від батареї

$$P_{peak} = \frac{F_{total} \cdot v_{max}}{1000 \cdot \eta_{trac}} \quad (2)$$

Фінальне обґрунтування вибору ТАБ базується на зіставленні розрахункових вимог (E_{batt}, P_{peak}) з фактичними характеристиками обраної електрохімічної системи (NMC, LFP).

Обґрунтування вибору електрохімічної системи (NMC vs LFP): NMC/NCA: вибираються, якщо $\rho E, req$ є високою (пріоритет запасу ходу).

LFP: вибираються, якщо пріоритетом є довговічність та мінімальна вартість.

Визначення конфігурації елементів визначається кількістю послідовних N_s та паралельних N_p елементів.

На сьогоднішній день ринок повністю домінує літій-іонна (Li-ion) технологія, яка найкраще відповідає вимогам за питомою енергетичною густиною та циклічним ресурсом.

Література

1. ISO 12405-4:2018. Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems. Part 4: Performance testing. Geneva: ISO, 2018.

2. State of Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Based on an Improved Extended Kalman Filter / Y. Xing, W. He, M. Pecht // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2022. Vol. 71, Issue 2. P. 1205-1216.

Науковий консультант: Бажинів Олексій Васильович, д.т.н., проф. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Глушко Ілля, ст. гр. А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, gluskoilia30@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Підвіска легкового автомобіля відіграє важливу роль у забезпеченні плавності руху, стійкості транспортного засобу та безпеки під час керування. Вона сприймає навантаження від дорожніх нерівностей і зменшує коливання кузова, що сприяє комфортній та надійній експлуатації автомобіля.

У процесі використання деталі підвіски поступово зношуються, що може призводити до погіршення керованості та підвищення ризику виникнення несправностей. Саме тому важливим є регулярне перевіряння технічного стану підвіски та проведення її своєчасного обслуговування із застосуванням різних методів діагностування.

Основні методи діагностування.

Візуальний огляд.

Перевірка на предмет витоків масла, пошкоджень пружин, зносу гумових втулок (сайлентблоків, рис. 1).

Перевірка зазорів (механічна).

Використання монтування для виявлення зазорів у кульових опорах, рульових тягах та наконечниках.

Вібростенд.

Дозволяє оцінити стан амортизаторів, ефективність гальмування та наявність вібрацій без демонтажу.

Тест-драйв.

Перевірка поведінки авто в русі: наявність стуків, скрипів, розгойдування, вібрації керма.

Діагностика пневмопідвіски.

Перевірка компресора, осушувача та герметичності пневмобалонів.



Рисунок 1 - Візуальний огляд

Основні заходи обслуговування.

Заміна компонентів.

Заміна амортизаторів, пружин, стабілізаторів, сайлентблоків та кульових опор при виявленні зносу.

Регулювання.

Перевірка та налаштування кутів розвал-сходження після ремонту ходової частини.

Змащування.

Змащування шарнірних з'єднань, якщо це передбачено конструкцією.

Перевірка кріплень.

Протяжка різьбових з'єднань.

Ознаки виходу з ладу елементів підвіски.

Під час руху слід завжди прислухатися до роботи всіх механізмів автомобіля, як двигуна, так і підвіски.

Стуки, скрипи, удари, скрежет при їзді по нерівній дорозі, а також погіршення керованості автомобілем, вказують на несправності у підвісці.

Якщо перевіряти елементи два рази на рік, то можна вчасно помітити знос або пошкодження гумових кожухів шарових з'єднань і амортизаторних стоек.

Але є ряд ознак, критичних пошкоджень, при появі яких, слід провести діагностику та ремонт автомобільної підвіски (рис. 2):

- сильний крен кузова в поворотах;
- качання після проїзду по нерівностям;

- нахил корпусу вперед при гальмуванні;
- просідання кузова;
- нерівномірний знос на шинах;
- відхід авто в бік при прямому русі;
- втрата стійкості автомобіля на дорозі.



Рисунок 2 – Перевірка автомобільної підвіски

Коли помічено хоча б одну з цих ознак, то потрібна діагностика несправності в автосервісі.

До ремонту підвіски автомобіля входить:

- заміна амортизаторів разом із опорами, ударниками та пилниками;
- перевірка та заміна пильників шарнірів;
- заміна сайлентблоків або ричагів в зборі;
- заміна рульових наконечників;
- заміна стоек стабілізатора;
- заміна підшипників ступиці;
- заміна шарових опор.

Підвіска легкового автомобіля є важливою складовою, що безпосередньо впливає на комфорт, керуваність і безпеку руху.

У процесі експлуатації її елементи піддаються значним навантаженням, що з часом призводить до їх зношування та можливих несправностей.

Саме тому регулярна перевірка технічного стану підвіски має велике значення для надійної роботи автомобіля.

Застосування різних методів діагностування, таких як візуальний огляд, перевірка зазорів, використання вібростенду та тестування автомобіля під час руху, дозволяє своєчасно виявити несправності та запобігти серйозним поломкам.

Своєчасне технічне обслуговування та заміна зношених деталей підвіски сприяють підвищенню довговічності вузлів автомобіля, покращують його керуваність та забезпечують безпечну експлуатацію транспортного засобу.

Література

1. Пристрій і ремонт підвіски. Режим доступу https://autoprostavka.com/ua/blog/ustrojstvo-i-remont-podveski?srsltid=afmboooqcktpfvnbsrc47_k5mwfgcglzjssdg-t0v4awmwcrneligonx
2. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ: Либідь, 2006
3. Бондаренко В. М. Будова й технічне обслуговування автомобілів. Київ: Вища школа, 2018.

Науковий консультант: Зибцев Юрій Васильович. ст. викладач каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Гризлов Дмитро, ст. гр.А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Gryzlov@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

В теперішній час застосування електрики як джерела енергії є незаперечним фактом, яким не варто нехтувати.

Перехід до нового технологічного циклу – ери електромобілів – обертається на нагальну потребу.

Розвиток цієї ери перебуває на тій стадії, коли її визнають не тільки фахівці галузі, а й держави.

Виходячи з рівня розвитку електромобілів, розвинені країни впевнено заявляють про відмову від двигунів внутрішнього згоряння вже найближчим часом. Фахівці прогнозують зростання парку електромобілів, що показано на рисунку 1 [1].

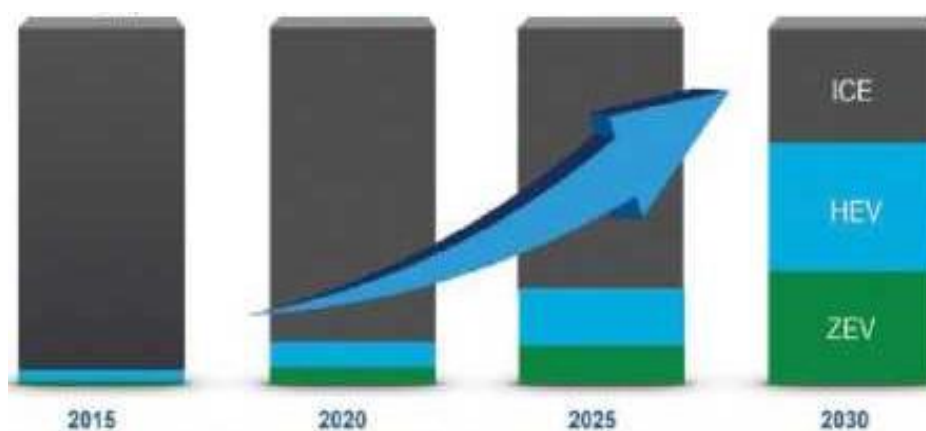


Рисунок 1 - Перспективи зростання парку електромобілів до 2030 р.

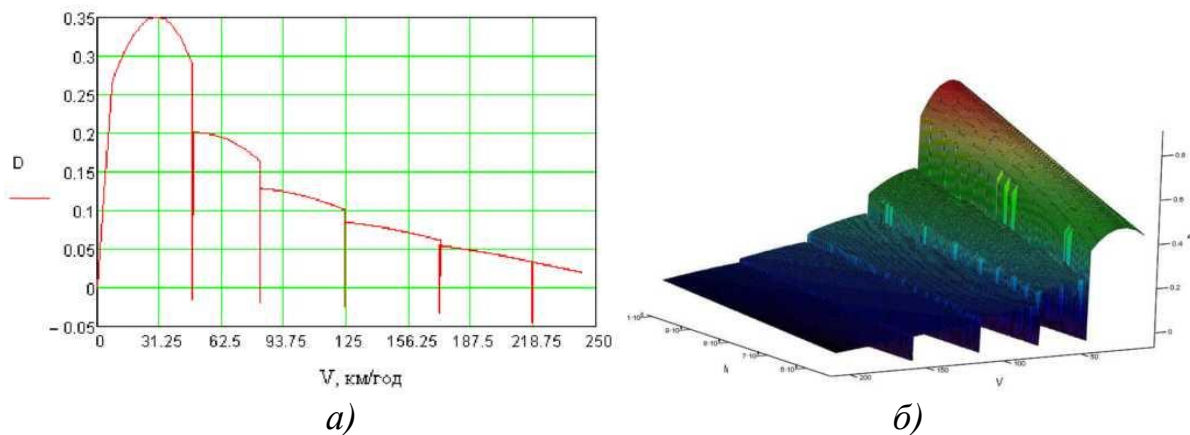
Метою дослідження є оцінка тягово-швидкісних властивостей електромобілів. Для досягнення мети прийнято легковий автомобіль сегменту С (рис. 2) - це бюджетна версія українського виробництва.



Рисунок 2 - Загальний вид легкового автомобіля сегменту С

Оцінку тягово-швидкісних властивостей виконуємо за технічною характеристикою автомобіля сегменту С (рис. 2).

Графічне зображення залежності динамічного фактора на різних передачах від швидкості руху автомобіля називається його динамічною характеристикою (рис. 3) [2, 3]. В результаті математичного моделювання були побудовані графіки тягово - швидкісних характеристик електромобіля.



a - динамічний фактор проєктованого автомобіля;

б - поверхність розподілу динамічного фактору

Рисунок 3 - Дінамічна характеристика автомобіля

Порівняльний аналіз результатів математичного моделювання динамічного фактора звичайного автомобіля з ДВЗ (рис. 3) і електромобіля на його базі, показано на рис. 4 [4, 5].

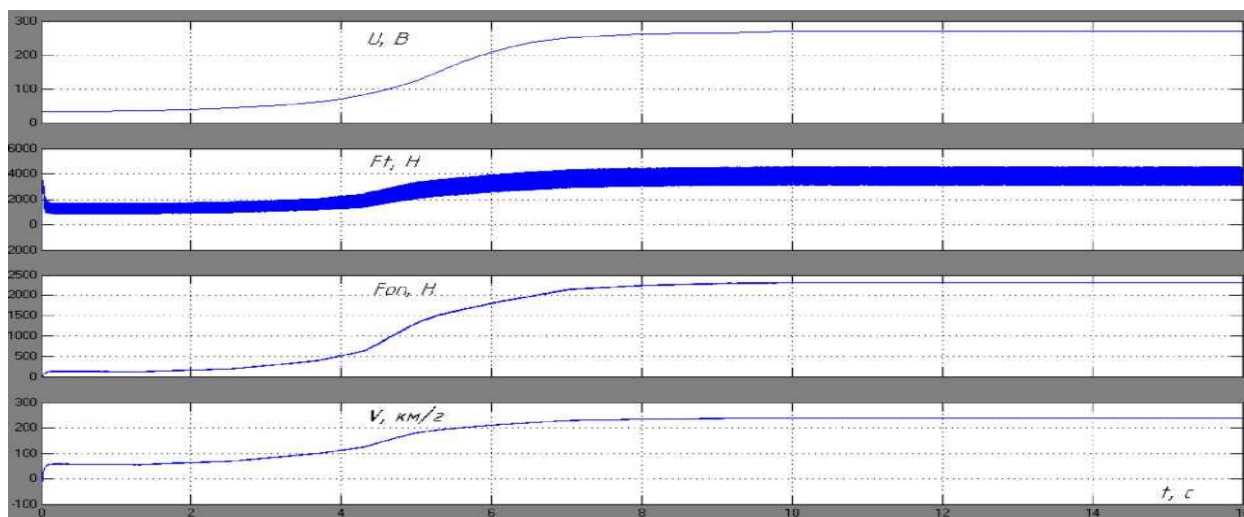


Рисунок 4 – Графіки динамічних характеристик електромобіля

В дослідженні було проведено порівняльний аналіз характеристик легкового автомобіля сегменту С з ДВЗ і електромобіля на його базі, в результаті якого були визначені переваги електромобіля, зокрема:

- висока екологічність через відсутність застосування нафтових палив і моторних масел;
- низька пожежонебезпечність і вибухонебезпечність при аварії;
- простота конструкції, висока надійність і довговічність у порівнянні зі звичайним автомобілем;
- тягові електричні двигуни мають ККД до 90-95% в порівнянні з 22-42% у ДВЗ;
- менший шум за рахунок меншої кількості рухомих частин і механічних передач;
- можливість підзарядки АКБ під час рекуперативного гальмування.

Література

1. До 2040 р. кількість електромобілів у світі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gazeta.org/business/019/10/02/12726001.shtml>.
2. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів / В.П. Волков, ХДАДУ, 2003. 296 с.
3. Elektromobilität - grundlagen einer zukunftsstechnologie 2. Auflage 2018 / prof. Dr.-ing. Achim kampker, univ.-prof. dr.-ing. Dirk Vallée, univ.-prof. dr.-ing. Achim Kampker. 262 с.
4. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik 8. Auflage 2016 / Prof. Stefan Pischinger RWTH Aachen University, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert. 181-184 с.
5. Zeraouila, M. Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: a Comparative Study / M. Zeraouila, M. E. H. Benbouzid, D. Diallo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2006. Vol. 55, No 6. 1756–1764 с.
6. Automobile. Theory and operational properties : study guide / S. M. Shuklinov, V. I. Klymenko, D. M. Leontiev, M. M. Aloksa ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 278 p.

7. Шуклінов, С. М. Автомобіль. Теорія та експлуатаційні властивості : навч. посіб. / С. М. Шуклінов, М. М. Альокса ; Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2022. – 280 с.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Гур'єв Денис, ст. гр А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, *Denicgurievl807@gmail.com*

ТРУДНОЩІ ЗИМОВОГО ПУСКУ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Водії дизельних автомобілів при зміні сезону експлуатації на осінньо-зимовий період відзначають труднощі пуску двигунів.

Енергоозброєність системи пуску дизельного двигуна набагато вище, ніж у двигуна легкого палива. Відповідно, пускова частота обертання колінчастого валу дизеля становить 150-250 об/хв проти 50-100 об/хв у бензинового двигуна [1, 2].

Ця різниця обумовлена особливостями робочого циклу дизеля, умовами стиснення та займання суміші.

Основними факторами, що забезпечують займання суміші дизелі, є тиск і температура кінця стиснення.

Температурні інтервали дано для режимів номінальних навантажень, а режиму пуску температури для дизелів без наддуву і наддувом відрізняються значно сильніше.

Таким чином, у зимовий час дія низьких температур направлена у бік ускладнення умов пуску.

Конструктивно ця дія в двигунах компенсується нагріванням повітря, що надходить за допомогою свічок розжарювання, що встановлюються в кожному циліндрі.

Сучасні свічки розігріваються до 850–1300 градусів протягом 2–30 секунд і загалом споживають струм 8–16 ампер кожна. Тривалістю подачі струму на свічку та величиною напруги управляє реле або спеціальний електронний блок. Відмова навіть однієї свічки призводить до проблем при запуску.

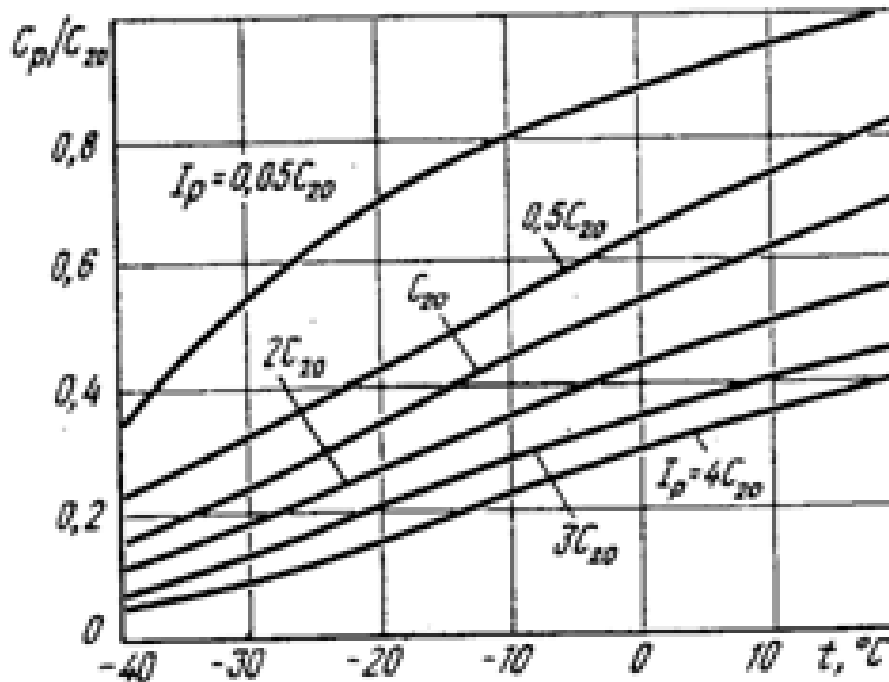
Низька температура повітря має не лише термодинамічний ефект у робочому циклі двигуна під час його пуску.

Зниження температури додатково викликає збільшення моменту прокручування колінчастого валу, і це відбувається одночасно зі значним зниженням розрядної ємності акумуляторної батареї.

Зниження моменту опору прокручування досягається застосуванням сезонного масла відповідного класу в'язкості та своєчасністю його заміни, оскільки зі збільшенням часу роботи олії його в'язкість зростає.

Дизелі з наддувом мають менший ступінь стиснення та меншу температуру кінця стиснення, тому їх пускові властивості помітно нижчі.

Значний вплив на пускові властивості дизелів при низьких температурах мають характеристики акумуляторних батарей, причому в результаті дії низької температури і високих значень розрядного струму, що вимагаються при цьому, розрядна ємність акумуляторної батареї зменшується, рис. 1.



C_p, C_{20} – фактична та номінальна розрядна ємність

Рисунок 1 - Зміна розрядної ємності акумуляторної батареї залежно від сили розрядного струму та температури

Нові вимоги до систем пуску висувають інноваційні рішення у силових установках, тобто. у двигунах та трансмісії.

Широке застосування дизельних двигунів з безпосереднім упорскуванням спричинило збільшення значень крутильних коливань, що, у свою чергу, позначилося на зносі двигунів, агрегатів трансмісії та комфортабельності автомобілів.

Таким чином, процедура пошуку причин труднощів пуску дизельного двигуна повинна включати такі операції:

- 1) повне заряджання акумуляторної батареї;
- 2) контроль стану свічок розжарювання;
- 3) контроль сезонності, в'язкості масла та дотримання термінів його заміни;
- 4) вимірювання пускової частоти колінчастого валу.

Література

1. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія: підручник / В.Г. Дяченко; за ред. А.П. Марченка. Харків: НТУ «ХПІ», 2008. 488 с.
2. Енциклопедія з машинобудування XXL, обладнання, матеріалознавство. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://mash.info>

3. Construction and layout of automobiles and internal-combustion engines : study guide / V. I. Klymenko, O. I. Voronkov, D. M. Leontiev, M. H. Mykhalievych, O. O. Yaryta, S. V. Ponikarovska, O. P. Borzenko, A. Ye. Fandieieva ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 248 p.

4. Korohodskyi, V., Leontiev, D., Rogovyi, A., Kryshropa, S., Gritsuk, I., Voronkov, O., & Prokopiuk, D. (2022). Research of spark ignition engine and internal mixture formation using single-zone, two-zone and three-zone calculation model of it working process. In *SAE Powertrains, Fuels & Lubricants Conference & Exhibition*. SAE Technical Paper.

Науковий консультант: Дитятьєв Олександр Васильович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Дворічанський Віталій Юрійович, ст. гр. А-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, mia2005.62@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ АЕРОДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В САЛОНІ АВТОМОБІЛЯ

Автомобільна система кондиціонування повітря – різновид системи кондиціонування повітря, що встановлюється в автомобілі і дозволяє охолоджувати повітря в салоні, а також очищати його від вологості і сторонніх запахів. У сучасних автомобілях є складовою частиною системи вентиляції та опалення салону.

Комфортні умови означають оптимальні для організму людини температуру і вологість повітря, які можуть варіюватися в залежності від зовнішньої температури і навіть тривалості поїздки.

Для уникнення наслідків перегрівання і створення комфортних умов для водія, пасажирів, для забезпечення безпечного руху в сучасному автомобілі встановлюють клімат контроль. Головний плюс системи – в можливості автоматичного виконання завдань, без участі водія. При цьому виробники не зупинилися на досягнутих результатах. Останні версії клімат-контролю більш досконалі. Так, з'явилася функція зонування, завдяки якій, в різних частинах салону, створюється індивідуальний мікроклімат. Наприклад, для області водія може здаватися одна температура, а для пасажирів – інша.

Зміна розподілу температури в салоні автомобіля відбувається за рахунок поглинання елементами автомобіля теплової енергії сонця і теплової енергії силового агрегату [1-4]. На цей розподіл впливають зовнішні фактори, такі як температура зовнішнього повітря (t_3), його вологість (R_3), а так само швидкість руху повітря ($V_{\text{п}}$). Призначенням традиційних систем опалення вентиляції в автомобілі при високій зовнішній температурі є створення комфортних умов для водія і пасажирів, але ці системи з таким завданням не справляються. Узагальнюючим показником, кількісно характеризує спільна дія на організм водія параметрів мікроклімату, є результуюча температура:

$$T_p = f(t_3; R_3; t_{\Pi}; V_{\Pi}), \quad (1)$$

де t_3 – температура зовнішнього повітря, °C;

R_3 – вологість зовнішнього повітря, %;

t_{Π} – час нагрівання повітря, хв;

V_{Π} – швидкість повітря, м/с.

При русі повітря "зіштовхується" з різними елементами системи вентиляції, які перешкоджають руху повітря. Місцеві опори, які характеризуються відповідним коефіцієнтом місцевого опору (втрати тиску).

Для проведення аеродинамічного розрахунку всі ці параметри "зв'язуються" формулою

$$DP = x \cdot r \cdot \frac{v^2}{2}, \quad (2)$$

де DP – втрата тиску.

x – коефіцієнт місцевого опору;

r – густина робочого тіла;

v – швидкість руху робочого тіла;

Таким чином, завдання проведення аеродинамічного розрахунку полягає у визначенні сумарної величини втрати тиску на всіх елементах. Завдання обладнання системи вентиляції автомобіля: втягти свіже повітря з вулиці; очистити повітря від пилу і пуху; підігріти повітря (в зимовий період року); знизити рівень звукового тиску; розподілити підготовлене повітря по приміщеннях; рівномірно роздати підготовлене свіже повітря по кожному приміщенню; зібрати відпрацьоване повітря по кожному приміщенню; зібрати відпрацьоване повітря з усіх приміщень; видалити відпрацьоване повітря на вулицю.

Аеродинамічний опір прийомних і змішувальних блоків, ΔP , визначається як:

$$\Delta P_{\text{ПС}} = b \cdot \left(\frac{G_{\Pi}}{3600 \cdot \rho_{\Pi} \cdot F_{\text{ФР}}} \right)^2, \quad (3)$$

де b – коефіцієнт, який приймається для повітрозабірних секцій $b = 2,3$; а для змішувальних $b = 3,1$;

G_{Π} – маса повітря, кг;

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря ($\rho_{\text{п}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$);

$F_{\text{фр}}$ – площа фронтального перетину, м^2 .

Метою аеродинамічного розрахунку є визначення втрат напору (опору) системи розподілу повітря і зіставлення цих втрат з вільним тиском вентилятора, що визначаються завданням. Розрахунок вважається виконаним правильно, якщо забезпечується умова:

$$\Delta P_{\text{пот}} \leq P_{\text{вільн}}, \quad (4)$$

Розрахунковий тиск (витрати напору) визначаються за формулою

$$\Delta P_{\text{пот}} = 1,1 \cdot \sum (\Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}}), \quad (5)$$

де 1,1 – коефіцієнт запасу на непередбачені опори;

$\Delta P_{\text{тр}}$ – втрати напору на тертя окремих ділянок;

$\Delta P_{\text{м}}$ – втрати напору на місцеві опори окремих ділянок;

Для виконання розрахунку становлять схему і розбивають її на окремі ділянки (рис. 1), в межах яких витрата повітря, розмір повітропроводів і швидкість руху повітря постійні. Розрахункова схема складається для найбільш протяжної гілки мережі повітропроводів. Розрахунок починають з найбільш віддаленої ділянки.

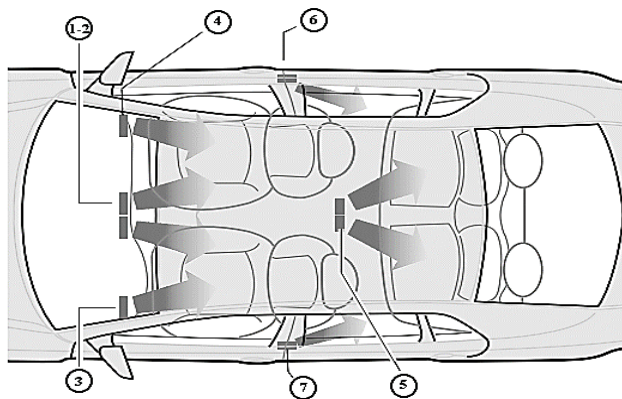


Рисунок 1 – Схема ділянок розподілу повітря

Втрати напору на тертя для кожної ділянки, Па, розраховуються за виразом (5). Дані розрахунків представлені на діаграмі (рис. 2).

$$\Delta P_{\text{тр}} = \xi_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot W_i^2}{2}, \quad (6)$$

де ξ_i – коефіцієнт опору тертю для окремої ділянки;

l_i – довжина окремої ділянки;

d_i – діаметр круглого повітроводу;

ρ – густина повітря;

W_i – швидкість руху повітря на окремій ділянці.

Визначимо коефіцієнти опору тертю за формулою (7), результати розрахунків і представлені на діаграмі (рис. 2):

$$\xi_i = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0001}{d_i} + \frac{68}{Re} \right) \cdot 0,25, \quad (7)$$

де d_i – визначальний розмір повітроводу;

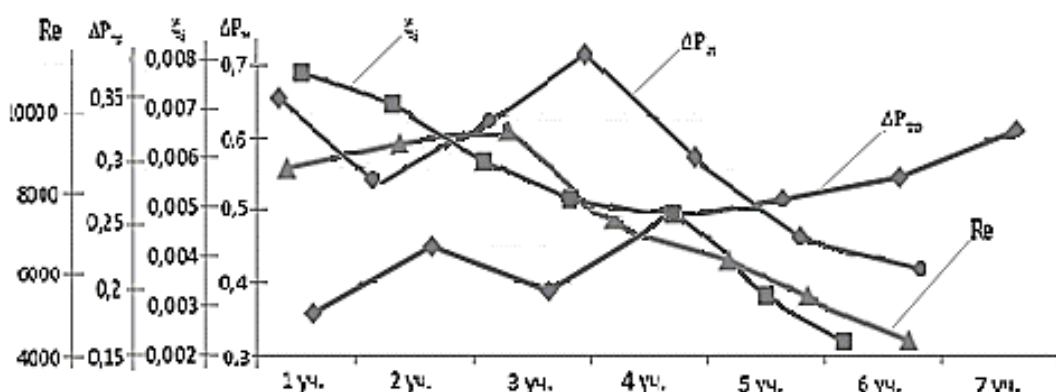
Re – число Рейнольдса для певної ділянки повітроводу.

Число Рейнольдса для кожної ділянки розрахуємо за формулою (8), результати розрахунків представлені на діаграмі (рис. 2).

$$Re = \frac{W_i \cdot d_i}{\nu}, \quad (8)$$

Втрати натиску на місцеві опори визначимо за формулою (9) на окремих ділянках (рис. 2).

$$\Delta P_m = \sum \psi_i \cdot \frac{\rho \cdot W_i^2}{2}. \quad (9)$$



ξ_i – коефіцієнт опору тертю для окремої ділянки; l_i – довжина окремої ділянки; d_i – діаметр круглого повітроводу; ρ – густина повітря; W_i – швидкість руху повітря на окремій ділянці

Рисунок 2 – Аеродинамічний розрахунок параметрів мікроклімату в салоні автомобіля

Використані чисельні методи для моделювання режимів кондиціонування в салоні автомобіля; розраховані залежності втрати натиску на тертя для кожної ділянки, протяжної гілки мережі повітроводів; визначені коефіцієнти опору тертя і сумарні втрати на тертя всього повітроводу і місцеві опори на окремих ділянках.

Література

1. Air conditioning for passenger cars. Access mode: <http://surl.li/dhaxz>.
2. Automotive air conditioning. Access mode: <http://surl.li/dhayq>.
3. HVAC System for Cars and Automotive Vehicles. Access mode: <http://surl.li/dhayw>.
4. Design of ROVAC Air-Conditioning System for a Car. Access mode: <http://surl.li/dhbac>.
5. Construction and layout of automobiles and internal-combustion engines : study guide / V. I. Klymenko, O. I. Voronkov, D. M. Leontiev, M. H. Mykhalievych, O. O. Yaryta, S. V. Ponikarovska, O. P. Borzenko, A. Ye. Fandieieva ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 248 p.
6. Automobile. Theory and operational properties : study guide / S. M. Shuklinov, V. I. Klymenko, D. M. Leontiev, M. M. Aloksa ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 278 p.
7. Богомолів, В. О. Математичне моделювання робочих процесів колісних та гусеничних транспортних засобів : навч. посіб. / В. О. Богомолів, Д. М. Леонт'єв. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2025. – 170 с.

Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Захарченко Данило Віталійович, ст. гр. А-41-22, Довженко Дмитро Вікторович, А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Вступ. Машини стають дедалі складнішими й дорожчими, а прогрес у цій сфері лише прискорюється. Хоча сучасні авто стали комфортнішими та швидшими, їхня будова настільки заплутана, що це автоматично робить ремонт і сервіс дорожчими. Технічний стан систем ходової частини визначає динамічні характеристики та безпеку транспортного засобу. Використання новітніх засобів діагностування гарантує отримання повної та точної картини стану вузлів для підтримки оптимальних показників керованості й економічності.

Дослідження технічного стану ходової частини — це комплекс заходів, спрямованих на виявлення зносу, деформацій або пошкоджень вузлів, що відповідають за стійкість, керованість та комфорт автомобіля [1].

На рис. 1 наведена загальна схема визначення технічного стану елементів ходової частини сучасного автомобіля.

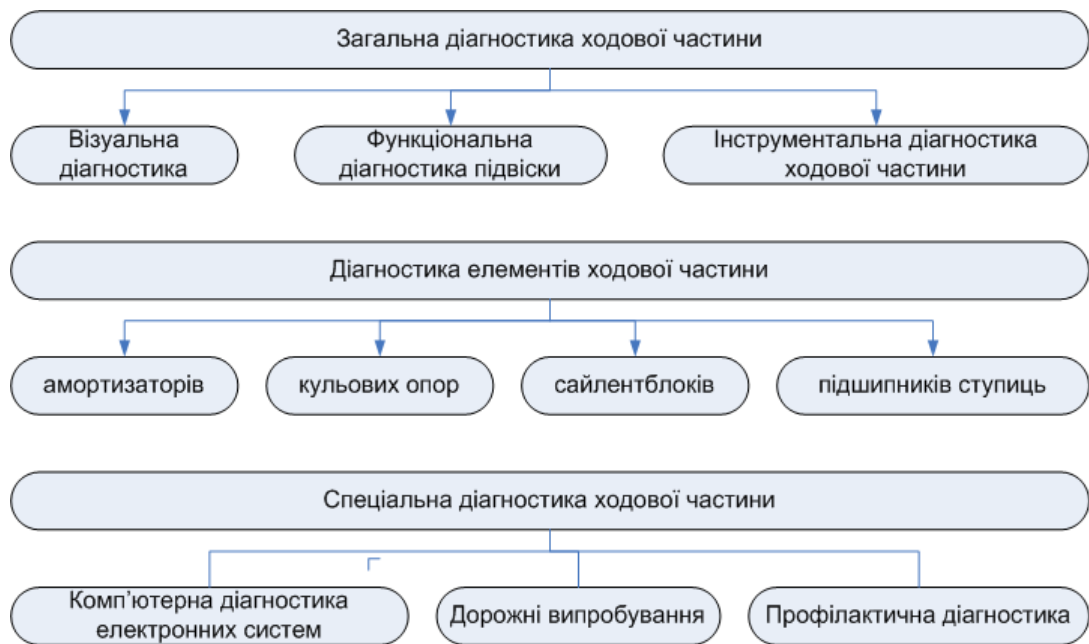


Рисунок 1 – Методи оцінки технічного стану підвіски автомобіля

Завдяки візуальній діагностиці можна знайти до 70 % поломок ходової, не витрачаючи ресурси на складне устаткування. Це фундамент професійного сервісу, який визначає, чи потребує автомобіль додаткових вимірювань та тестів на стендах.

Метою функціональної діагностики є верифікація справності підвіски за допомогою тестів, максимально наближених до реального руху. Це забезпечує точне розуміння того, як компоненти системи справляються зі своїми функціями.

Інструментальний метод передбачає використання спецобладнання для прецизійного вимірювання параметрів підвіски та пошуку прихованих дефектів. Зокрема, стендові випробування амортизаторів дають змогу проаналізувати їхні демпфувальні властивості безпосередньо на авто, що істотно скорочує тривалість сервісних робіт [2].

Використання професійного обладнання для аналізу геометрії підвіски допомагає виявити порушення кутів розвалу-сходження та висоти просвіту. Своєчасне усунення цих відхилень запобігає нерівномірному зносу протектора та втраті контролю над транспортним засобом.

Вібродіагностика допомагає виявити приховані дефекти — від деформації дисків до зносу підшипників, які спричиняють дискомфорт під час руху. Спеціалізоване обладнання не просто фіксує проблему, а чітко вказує на конкретний несправний вузол, що суттєво спрощує ремонт.

Обслуговування інтелектуальних систем підвіски та стабілізації виходить за межі класичного ремонту. Оцінка їхнього стану потребує сучасних діагностичних комплексів, здатних взаємодіяти з електронікою автомобіля на програмному рівні.

Комп'ютерна діагностика за допомогою сканерів забезпечує доступ до пам'яті електронних модулів керування. Це дає змогу не лише ідентифікувати зафіксовані помилки, а й проводити динамічний аналіз сигналів датчиків та реакцій виконавчих механізмів. Програмне забезпечення для сервісу дає інструменти для точного налаштування та синхронізації виконавчих механізмів. Процедури адаптації допомагають інтегрувати нові деталі в систему, встановлюючи оптимальні режими роботи згідно зі специфікаціями.

Заключний етап оцінки технічного стану — виїзна перевірка. Вона дає змогу остаточно переконатися, що всі вузли підвіски працюють належним чином у реальному дорожньому середовищі. Дорожні випробування зосереджені на верифікації динамічних характеристик: стійкості авто в різних режимах руху, надійності гальм та загальної плавності ходу.

Висновок

Своєчасна діагностика запобігає «ланцюговій реакції» — коли одна несправна деталь (наприклад, розбита кульова опора) прискорює руйнування інших вузлів підвіски та кермового управління, що прямо впливає на безпеку руху.

Література:

1. Діагностика і технологія ремонту автомобілів : підруч. / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. — Київ : Літера ЛТД, 2017. — 224 с.
2. Лець М.Ю. Діагностування технічного стану підвіски автомобіля Volkswagen Touareg // Збірник студентських наукових праць 2019. - Харків: ХНАДУ, 2019. — URL: https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/НИРС/2019/TESA_Lets.pdf.

Науковий консультант: Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Зінченко Дмитро, гр. А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Zinchenko@gmail.com

НЕСПРАВНОСТІ ЛЯМБДА-ЗОНДА

Лямбда-зонд визначає залишковий вміст кисню у газах, що відпрацювали, і подає на блок управління двигуном електричний сигнал для регулювання складу суміші.

Принцип дії лямбда-зонда ґрунтується на порівняльному вимірі вмісту кисню. Це означає, що залишковий вміст кисню в відпрацьованих газах 0,3 – 3%, порівнюється із вмістом кисню у навколишньому повітрі (20,8 %).

Якщо залишковий вміст кисню у відпрацьованих газах становить 3 % (збіднена суміш), то через різницю у вмісті кисню в навколишньому повітрі утворюється напруга 0,1 В.

Якщо залишковий вміст кисню становить менше 3 % (суміш з високим вмістом кисню), то напруга зонда збільшується до 0,9 пропорційно збільшенню різниці.

Залишковий вміст кисню вимірюється за допомогою різних лямбда-зондів.

Випускаються λ – зонди зі стрибком напруги та зі стрибком опору.

Зонд зі стрибком напруги [2], складається з пальцеподібної, порожнистої всередині керамічної оболонки з діоксиду цирконію. Особливість цього твердого електроліту полягає у його проникності для іонів кисню при температурі близько 300°C. Обидві сторони цієї керамічної оболонки вкриті пористим тонким шаром платини, який служить електродом.

Гази, що відпрацювали, обтікають через керамічну оболонку, а внутрішня частина оболонки заповнюється еталонним повітрям. Вимірювання залишкового вмісту кисню та збагачення чи збіднення суміші – повторюється кілька разів на секунду, і за необхідності регулюється стехіометрична суміш ($\lambda = 1$).

Широкосмуговий лямбда-зонд дозволяє вимірювати точну кількість повітря як в збідненому ($\lambda > 1$), так і в збагаченому діапазоні ($\lambda < 1$). Він подає точний електричний сигнал і тому може регулювати будь-які задані значення, наприклад для дизельних двигунів, двигунів внутрішнього згоряння з примусовим займанням, газових двигунів і газових котлів.

Широкополосний лямбда-зонд має конструкцію звичайного зонда з еталонним повітрям. Він також оснащений другим електрохімічним осередком накачування.

При виході лямбда-зонда з ладу можуть виявлятися такі ознаки несправності: висока витрата палива, низька потужність двигуна, високий рівень викидів газів, що відпрацювали (токсичність відпрацьованих газів), загоряння контрольної лампи двигуна, збереження коду помилки.

Для лямбда-зонду без підігріву характерні такі причини несправностей, табл. 1.

Таблиця 1 – Характерні несправності лямбда-зонду

Несправність	Причина
Захисна трубка або корпус зонда засмічені залишками олії	Олія, що не згоріла, потрапила в систему ОГ, наприклад, через несправність поршневих кілець або ущільнень штока клапана
Неправильне всмоктування повітря, відсутність опорного повітря	Зонд встановлений неправильно, отвір опорного повітря засмічено
Пошкодження через перегрівання	Температура перевищує 950 °C через неправильний момент запалення або зазор клапана
Погане з'єднання на штекерних	Окислення

контактах	
Обрив кабельних з'єднань	Погане прокладання кабелів, сліди зношування, пошкодження гризунами
Відсутність сполуки з масою	Окислення, корозія на системі ВГ
Механічні пошкодження	Надто високий момент затягування
Хімічне старіння	Дуже часті поїздки на короткі відстані
Свинцеві відкладення	Використання етилованого палива

Автомобілі, оснащені функцією самодіагностики, можуть виявляти несправності в контурі керування та зберігати їх у пам'яті несправностей.

Про це сигналізує контрольна лампа двигуна.

Для діагностики несправностей дані пам'яті несправностей можна вважати за допомогою діагностичного приладу.

Література

1. Програма самонавчання. Діагностика EURO-ON-BOARD для бензинових двигунів. Конструкція та функції. Volkswagen AG, Вольфсбург. 2000.
2. Selbststudienprogramm 175 On-Board-Diagnose II im New Beetle (USA) Konstruktion und Funktion. VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg. 1999.

Науковий консультант: Дитятьєв Олександр Васильович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Зосімов Марк, ст. гр. А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, zosimovmark553@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ НА РОЛИКОВОМУ СТЕНДІ

Для забезпечення достовірності результатів діагностування автомобіля за допомогою нестандартизованих засобів вимірювань треба якісна перевірка цих засобів, згідно регламенту [1, 2] та вимог до роликів стендів [3]. Для перевірення каналу вимірювання потужності при діагностуванні автомобіля на роликівому стенді ПДС-Л необхідний тарований і повірений динамометр класу не гірше 0,1, а також автомобіль зі справною ходовою частиною. Перевірення каналу вимірювання потужності проводиться після отримання результатів перевірення каналу вимірювання лінійної швидкості. Дії по перевірці каналу вимірювання потужності (КВП) містять такі операції [4, 5].

1. Забезпечити вимір зусилля, що розвивається автомобілем на стенді із заданою похибкою (похибка динамометра повинна бути в 5...10 разів менше, ніж очікувана похибка каналу вимірювання потужності).

2. Вимірювання тягового зусилля і лінійної швидкості проводяться кілька (n) разів, (але не менше п'яти) з вибраною величиною демпфірування гідросистеми стенду. Величина демпфірування (при заданій швидкості роликів) встановлюється за показаннями манометра (допускається користуватися штатним манометром вимірювальної системи стенду).

3. Результати вимірювань для різних установчих швидкостей заносяться в таблиці за такою формою (таблиці 1, 2 і т.д.).

Таблиця 1 – Результати перевірення каналу вимірювання потужності

Швидкість установча $V_k = 20$ км/год				
Номер відліку	1	2	3	4...№
Швидкість, км/год	20,1	19,6	...	
Демпфірування, МПа	10	9,8	...	
Тягове зусилля, P_k , Н				
Потужність розрахункова – N_p , кВт				
Показання індикатора «Потужність» на пульті – $N_{вим}$, кВт				
Похибка абсолютна, кВт				
Похибка відносна				

4. Вимірювання проводяться для значень установчої швидкості 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 км/год.

Таблиця 2 – Результати перевірення каналу вимірювання потужності

Швидкість установча $V_k = 30$ км/год				
Номер відліку	1	2	3	4...№
Швидкість, км/год	30,05	29,96	...	
Демпфірування, МПа	5,2	5,3	...	
Тягове зусилля, P_k , Н				
Потужність розрахункова – N_p , кВт				
Показання індикатора «Потужність» на пульті – $N_{вим}$, кВт				
Похибка абсолютна, кВт				
Похибка відносна				

5. За результатами вимірювань з таблиць 1, 2 і т.д. розраховуються для кожного значення швидкості і тягового зусилля усереднені значення результатів багаторазових вимірювань:

- середнє значення швидкості $\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ki}}{n}$,

- середнє значення розрахункової потужності $\bar{N}_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_{pi}}{n}$,

- середнє значення показника «Потужність» на індикаторі пульта
 $\bar{N}_{\text{вим}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{вим}i}}{n}$,

- середнє значення абсолютної похибки $\overline{\Delta N} = \bar{N}_{\text{вим}} - \bar{N}_p$,

- середнє значення відносної похибки $\overline{\delta_N} = \frac{\overline{\Delta N}}{\bar{N}_p}$.

6. Розрахунки середнього відхилення похибки каналу вимірювання потужності проводять за формулою

$$\sigma_N = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta N})^2}{n-1} \right]^{1/2}. \quad (1)$$

7. Систематичну складову похибки вимірювача потужності представляють у вигляді динамічної залежності $\Delta_c(P) = f(V_k)$. Подання може бути оформлено у вигляді сукупності таблиць (табл. 3).

Таблиця 3 – Середнє тягове зусилля $P_k = \dots N$

Швидкість, км/год	10	20	30	40	50	60	70
Систематична похибка вимірювання потужності, кВт							

Таблиці 1-3 заповнюються для 3-5 значень тягового зусилля.

8. На підставі п.п. 6 і 7 робляться висновки про придатність каналу вимірювання потужності до експлуатації. Критерії придатності: $\overline{\delta_N} \leq 0,1$, $\sigma_N \leq 2,5$ кВт.

Примітка. В силу істотних нелінійних температурно-швидкісних характеристик рідини в гідросистемі стенду можливе введення у використання в процесі експлуатації ПДС поправочних коефіцієнтів, отриманих на підставі вимірювань, проведених відповідно до вищевикладеної методики.

Література

1. Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016

р. № 94. Редакція від 27.09.2024. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text>.

2. Закон України № 1314-VII «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 5 червня 2014 р. Редакція від 15.11.2024. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text>.

3. Говорущенко М.Я., Волков В.П., Рабінович Е.Х., Мармут І.А., Зуєв В.О. (2009). Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання): монографія. Харків: ХНАДУ, 344 с.

4. Мармут І.А. (2020). Розробка методики повірки системи вимірювання потужності на роликовому стенді пересувної діагностичної станції легкових автомобілів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Науковий журнал ХНТУСГ, 22, 19-26.

5. Володарський Є.Т., Потоцький І.О. (2019). Забезпечення метрологічної надійності вимірювань. Вимірювальна техніка та метрологія, 80(3), 5-9. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.005>.

6. Automobile. Theory and operational properties : study guide / S. M. Shuklinov, V. I. Klymenko, D. M. Leontiev, M. M. Aloksa ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 278 p.

Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Зубко Яків Романович, ст. гр. А-43-22, Черниш Владислав Романович, А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Вступ. Актуальність безпеки на автомобільному транспорті сьогодні обумовлена високим рівнем аварійності, зростанням інтенсивності руху та необхідністю захисту життя учасників дорожнього руху. Забезпечення безпеки – це комплексний процес, що поєднує технічні інновації, правове регулювання та відповідальну поведінку водіїв.

Гальмівні властивості – це здатність автомобіля швидко та стабільно знижувати швидкість аж до повної зупинки. Це один із найважливіших показників активної безпеки. Діагностування гальмівної системи проводиться для перевірки її ефективності та виявлення несправностей на ранніх стадіях. Стандарт [1] передбачає перевірку гальм на дорозі або на імітаційному стенді з біговими барабанами.

Дорожні методи (експлуатаційні) проводиться на рівній сухій ділянці дороги з твердим покриттям. Вимірюють: гальмівний шлях, сповільнення та проводять оцінку на «відведення».

Стендові методи діагностування відбуваються за допомогою спеціального обладнання: роликів або платформних стендах. У свою чергу роликові стенди за принципом передачі гальмівного моменту поділяються на силові та інерційні.

В табл. 1 наведено аналіз переваги та недоліків стендових методів оцінки гальмівних властивостей автомобіля у порівнянні з дорожніми методами випробування.

Таблиця 1 – Характеристика стендового діагностування гальм

Характеристика	Переваги	Недоліки
Точність	Висока точність вимірювання сили на кожному колесі окремо.	Потребує регулярного калібрування та обслуговування
Аналіз	Дозволяє виявити овальність дисків та нерівномірність зусиль (дисбаланс)	Висока вартість обладнання та необхідність стаціонарного встановлення
Умови	Стабільні результати незалежно від погодних умов чи навичок водія	Ризик "викидання" автомобіля зі стенда при різкому гальмуванні

Аналіз стендів з біговими барабанами (роликів гальмівних стендів) показує, що вони є найбільш точним та повторюваним методом діагностики гальмівної системи автомобіля. Принцип їх роботи базується на вимірюванні гальмівної сили в точці контакту колеса з роликами, що імітують дорожнє покриття.

Силові стенди (статичні) - найбільш поширені. Колеса обертаються примусово електродвигунами зі швидкістю 2–5 км/год. Датчики вимірюють реактивний момент, що виникає при гальмуванні.

Інерційні стенди (динамічні) - барабани розганяються до високої швидкості (до 50–70 км/год.) і мають велику інерційну масу (маховики). Вимірюється шлях або час вибігу барабанів разом з колесами при гальмуванні

На силових стендах визначаються наступні діагностичні параметри:

- максимальну гальмівну силу на кожному колесі.
- питому гальмівну силу (відношення сумарної сили до ваги автомобіля).
- коефіцієнт нерівномірності (різниця сил між колесами однієї осі).
- час спрацювання привода.

Інерційні стенди з біговими барабанами дозволяють отримати теж самі показники, що в дорожніх умовах. Для порівняння параметрів, отриманих на інерційному стенді, з параметрами, отриманими силовим методом, необхідно використовувати методи математичного моделювання [2].

Згідно зі стандартам [3], стенди мають відповідати таким критеріям:

- Діаметр роликів має бути не менше встановленого мінімуму для відповідного класу авто (наприклад, для легкових автомобілів – від 200 мм).
- Поверхня роликів повинна мати високий коефіцієнт тертя (зазвичай у сухому стані), що досягається спеціальним запиленням.
- Наявність датчиків присутності авто та системи автоматичного вимкнення при блокуванні коліс для запобігання пошкодженню шин.
- Похибка вимірювання гальмівної сили не повинна перевищувати 2–3%.

На параметри, що отримані під час стендових випробувань, буде впливати конструктивні властивості імітаційного обладнання: діаметр міжосьова відстані та висота розташування роликів, величина інерційних мас деталей стенду та маховика, тип приводу та принцип гальмування, тощо. Ці фактори також потрібно враховувати у процесі діагностування гальмівних властивостей автомобіля.

Висновок. Комплексна перевірка гальмівної системи передбачає застосування спеціалізованих методів і засобів діагностики для точного виявлення дефектів та гарантування експлуатаційної надійності всіх її вузлів.

Література

1. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. – Київ: Держспоживстандарт України, 2011. – 30 с.
2. Мармут І.А., Кашканов А.А., Кашканов В.А. Дослідження взаємодії коліс автомобіля з роликами стенда при гальмуванні // Вісник машинобудування та транспорту. – Том. 13. – Вип. 1. – 2021. – С. 68–77.
3. ДСТУ 3333-96. Стенди роликові для перевірки гальмівних систем дорожніх транспортних засобів в умовах експлуатації. Загальні технічні вимоги. – Київ : Державний Стандарт України, 1996. – 11 с.

Науковий консультант: Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Капацій Андрій Костянтинович, ст. гр. А-43-22, Бондаренко Дмитро Дмитрович, А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ОЦІНКА ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛІВ З БЕНЗИНОВОЮ ПАЛИВНОЮ СИСТЕМОЮ

Вступ. Заощадження палива — це комплексне питання, яке охоплює особисті фінанси, екологію та навіть технічний стан автомобіля. Чим менше авто споживає на 100 км, тим дешевшою стає вартість кожного кілометра шляху. Чим менше палива згорає у двигуні, тим менше вуглекислого газу та токсичних речовин (оксиди азоту, важкі метали) потрапляє в атмосферу. Колективне заощадження пального зменшує загальну потребу країни в імпорті нафтопродуктів

Нормування витрат палива — це встановлення гранично допустимих обсягів споживання пально-мастильних матеріалів (ПММ) для конкретних марок авто в певних умовах експлуатації. Це необхідно для контролю за раціональним використанням ресурсів, запобігання розкраданням та коректного бухгалтерського обліку.

Існує кілька шляхів отримання норми витрат палива для конкретної моделі автомобіля. Це використовувати рекомендації заводу-виробника, експериментально визначити витрату палива, використовувати методичні рекомендації, які діють в Україні [1], або розрахувати споживання палива за математичними моделями.

Норма витрати палива автомобіля в л/100км визначається за формулою проф. Говорущенко М.Я.:

$$H = \frac{1}{\eta_i} \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)], \quad (1)$$

де V_a - швидкість автомобіля, км/год.; A , B , C - постійні для даної марки автомобіля; η_i - індикаторний коефіцієнт корисної дії; i_k - середньозважене передатне число коробки змін передач; ψ - коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля; kF - фактор обтічності, Н·с²/м²; G_a - вага автомобіля, Н.

Значення параметрів, що входять у формулу (1), можна визначити розрахунковим методом або прийняти умовні величини, які характерні для майже всіх автомобілів із бензиновим двигуном.

Значення нижчої теплоти згоряння для бензину можливо прийняти $H_H = 44000$ кДж/кг, а щільності палива - $\rho_T = 0,76$ кг/м³. Значення індикаторного ККД для середніх режимів навантаження бензинового двигуна можливо прийняти на рівні - 0,35. Середньозважене передавальне число коробки передач для легкових автомобілів можливо прийнятим на рівні - 2,0. Коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля можливо прийнятим на рівні - 0,01.

Значення коефіцієнтів A , B і C , фактор обтічності та вага автомобіля залежить від конструктивних параметрів автомобіля.

Визначимо норму витрати палива на прикладі легкового автомобіля Skoda Octavia A5 з бензиновим двигуном 1.8T/TSI.

Для цього автомобіля можливо прийняти наступні показники: коефіцієнт - $A=0,256$, коефіцієнт - $B=0,0072$, коефіцієнт - $C=0,00325$, фактор обтічності - $kF=0,863$, вагу автомобіля - $G_a=16240$.

На рис. 1 наведено графік зміни витрати палива автомобіля Skoda Octavia A5 з бензиновим двигуном 1.8T/TSI від середньої технічної швидкості руху.

Норму витрати палива рекомендовано встановлювати при швидкості руху автомобіля 50 км/год., що відповідає середнім умовам експлуатації між 2 та 3 категоріями доріг. З графіку (см. рис. 1) видно, що витрата палива при швидкості 50 км/год. становить 8.6 л/100 км. У нормативах [1] наведено значення норма витрати палива 8,7 л/100 км, що дуже близько для розрахунків. Завод-виробник вказує витрату палива для режимів місто/траса/змішаний цикл - 10.1/5.9/7.4 л/100 км., що також співпадає із розрахунками.

Висновок. За наведеною методикою можливо розрахувати базові норми витрат палива для легкових автомобілів з бензиновими двигунами.

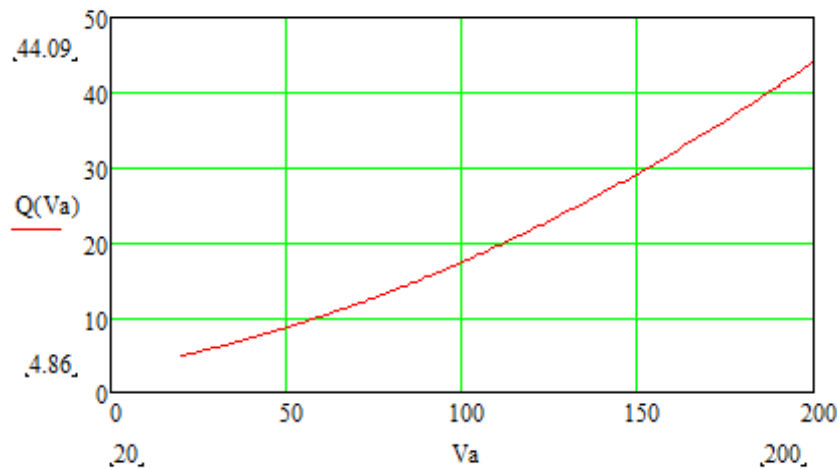


Рис. 1 - Залежність витрати палива від швидкості руху для автомобіля Skoda Octavia A5 з бензиновим двигуном 1.8T/TSI

Література

1. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2012, 120 с..
2. Automobile. Theory and operational properties : study guide / S. M. Shuklinov, V. I. Klymenko, D. M. Leontiev, M. M. Aloksa ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 278 p.
3. Філіпов, В. В., Смірнова, Н. В., & Леонтьєв, Д. М. (2014). Про залежність витрати палива та вплив на нього швидкості руху автомобіля та дорожніх умов. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, (67), 7-12.
4. Смірнова Н.В., Леонтьєв Д.М. Особливості зміни дорожніх умов при русі транспортного потоку на основі силового балансу автомобіля. / Матеріали конференції Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту та експертизи автомобіля : зб. тез. міжнар. наук. – практ. конф. – Х.: ХНАДУ, 2014. С. 66
5. Смірнова, Н. В., & Леонтьєв, Д. М. (2014). Узагальнення рівнянь руху автомобілів для розрахунку швидкості вільного руху. *Автомобільний транспорт*, (34), 44-48.
6. Філіппов В.В., Смірнова Н.В., Леонтьєв Д.М. Обґрунтування залежності витрати пального від дорожніх умов. *Журнал Автошляховик України*. – Київ. 2015. - №1/2 С. 46 – 49.
7. Смірнова Н.В., Леонтьєв Д.М. Аналіз режимів руху в задачах проектування та експлуатації автомобільних доріг. *Журнал Автошляховик України*. – Київ. 2014. - №5 С. 23 – 25.

Науковий консультант: Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРИВЕДЕНОЇ ІНЕРЦІЙНОЇ МАСИ РОЛИКОВОГО СТЕНДА

Як показують багато досліджень, зокрема, відображені в роботах [1, 2], що проводилися на інжинірингу систем автомобільного транспорту ХНАДУ (ХАДІ), інерційні стенди дають більш достовірну інформацію про технічний стан гальмівної системи. Інерційний метод перевірки гальм дозволяє відтворити реальні швидкісні і теплові режими роботи гальма. Отже, за всіма параметрами, які визначають точність моделювання на стенді реальних режимів роботи гальма, кращим є інерційний роликовий стенд.

Точність обчислення гальмівної сили залежить від того, наскільки точно знаємо складові приведенної маси і наскільки точно вимірюємо лінійне сповільнення [3].

На стенді пересувної станції діагностики легкових автомобілів (ПДС-Л), яка знаходиться на кафедрі технічної експлуатації і сервісу автомобілів ХНАДУ, лінійне сповільнення вимірюють із точністю $\pm 1\%$. Допустима похибка обчислення гальмівної сили за ДСТУ 3649:2010 [4] становить $\pm 3\%$. Тоді після перетворень та підстановки чисельних значень отримаємо, що приведену масу системи ми повинні знати з точністю $\pm 2,83\%$ [5].

Приведена маса колеса і пов'язаних з ним частин автомобілів, що обертаються, може варіювати під дією різних факторів. Найбільш впливовими факторами є: варіація моменту інерції колеса (знос шини та металевих частин гальмівних механізмів, зміна тиску), варіація радіусу колеса (залежить від переданого моменту) [5].

Приведена маса колеса визначається моментом інерції шини та її радіусом кочення. А ці дві величини істотно залежать від початкових характеристик покриття і від величини зносу протектора. Дані щодо варіації початкового моменту інерції відсутні, але ДСТУ 8816:2018 [6] допускає відхилення номінального діаметра шини $\pm 1\%$. Оскільки момент інерції циліндра прямо пропорційний радіусу у 4-й ступені ($I = m \cdot R^2/2 = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B \cdot R^2/2$), можна очікувати, що при таких допусках варіація моменту інерції становитиме мінімум $\pm 4\%$. Зміна моменту інерції шини зі зносом можна оцінити розрахунковим шляхом за методикою, наведеною у [5].

Також, на точність визначення гальмівної сили впливатиме знос деталей гальмівних механізмів автомобіля – гальмівного барабана чи диска. Зміна моменту інерції цих деталей можна оцінити розрахунковим шляхом за методикою, наведеною у [5].

Розрахунки показали, що внаслідок зносу протектора шини, зміна моменту інерції колеса складає до 28%. Знос металевих деталей гальмівних механізмів автомобіля змінює момент інерції системи ще на 1,5-2,7%.

При перевірці провідних коліс під частинами, що обертаються, розуміються також деталі трансмісії. Незнання величини приведеної маси трансмісії також вносить похибку обчислення гальмівної сили [7, 8]. Приведену масу трансмісії можна визначити, вимірюючи моменти інерції окремих її частин і приводячи їх до осі. Але це трудомісткий процес і займає багато часу. При цьому приведена маса трансмісії також величина непостійна: відбувається знос деталей, хоч і невеликий, але на великих радіусах, що позначається на значенні, що нас цікавить.

Мета роботи: запропонувати варіанти доробки конструкції стенду ПДС-Л для оптимізації його інерційної маси.

Як показали дослідження кафедри ІСАТ ХНАДУ [2, 3], технічно раціональніший спосіб розв'язання проблеми підвищення точності діагностування гальм на інерційному роликовому стенді – це збільшення приведеної маси стенду. Збільшити приведену масу стенда треба таким чином, щоб частка приведеної маси колеса і пов'язаних з ним частин автомобіля, що обертаються, становила невелику частину і вносила похибку не більш допустимої [3].

Це не складе проблем для стаціонарних стендів, де можна встановити додаткові маховики або збільшити існуючі. Однак, коли йдеться про пересувні стенди, доводиться думати про небажаність збільшення металоємності, тобто ваги стенду.

Проаналізуємо можливі шляхи збільшення приведеної маси на прикладі пересувного стенду ПДС-Л.

Ціль – отримати необхідний момент інерції стенда при мінімальному збільшенні його ваги. Необхідно також відзначити, що збільшення приведеної маси стенду вирішується по-різному у двох випадках.

Варіант 1 – це виготовлення нового стенду. Збільшити приведену масу стенду можна різними способами. Розглянемо кілька із них.

1. Збільшити $m_{ст}$ можна за рахунок збільшення товщини стінки ролика (див. рис. 1).



Рисунок 1 – Доробка конструкції нового стенду шляхом збільшення товщини стінки ролика

Зовнішній діаметр ролика 240 мм, товщина стінки $H = 8$ мм.

Збільшити приведену масу стенда необхідно на 312 кг, тобто додатковий момент інерції роликів має становити $1,62 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Потрібний додатковий момент інерції одного ролика $I_p = 0,405 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Момент інерції ролика визначається як момент інерції порожнистого циліндра за такою формулою

$$I = \sqrt{\frac{L \cdot \pi \cdot \rho \cdot (R_H^4 - R_B^4)}{2}}, \quad (1)$$

де L – довжина циліндра, м;

ρ – густина матеріалу циліндра, $\text{кг}/\text{м}^3$;

R_H – зовнішній радіус циліндра, м;

R_B – внутрішній радіус циліндра, м.

Товщину стінки ролика необхідно збільшувати, зменшуючи його внутрішній діаметр. Збільшувати зовнішній діаметр небажано, так як це вимагає переробки вимірювальної системи і погіршить умови роботи навантажувально-приводного пристрою (НПП) (потрібний більший крутний момент при меншій швидкості).

Визначимо додаткову товщину стінки ролика за формулою

$$H' = R_H' - R_B', \quad (2)$$

де $R_H' = R_B$ – зовнішній радіус нового ролика, м;

R_B' – внутрішній радіус нового ролика, м.

Внутрішній радіус нового ролика визначимо із формули (1)

$$R_B' = \sqrt[4]{\frac{L_p \cdot \pi \cdot \rho \cdot R_H'^4 - 2 \cdot I_p}{L_p \cdot \pi \cdot \rho}} = \sqrt[4]{\frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,112^4 - 2 \cdot 0,405}{0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850}} = 0,1 \text{ м},$$

де $L_p = 0,6$ м – довжина ролика;

$\rho = 7850 \text{ кг}/\text{м}^3$ – густина матеріалу ролика.

Додаткова товщина стінки ролика: $H' = 0,112 - 0,1 = 0,012$ м.

Загальна товщина стінки ролика: $H_{\text{об}} = H + H' = 0,008 + 0,012 = 0,02$ м.

При цьому металоємність стенду збільшиться на масу додаткової частини роликів і становитиме:

$$m = 4 \cdot [L_p \cdot \pi \cdot \rho_p \cdot (R_n^{/2} - R_b^{/2})] = 4 \cdot [0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot (0,112^2 - 0,1^2)] = 150,4$$

кг.

2. Підвищити приведену масу стенду можна, збільшуючи товщину стінки ролика та збільшуючи маховик (рис. 2).

Збільшити момент інерції маховика можна лише за рахунок зменшення внутрішнього діаметра. Зовнішній діаметр маховика не можна збільшити, оскільки він обмежений габаритами стенду та конструкцією візка. Зовнішній діаметр маховика $D_n = 0,16$ м; внутрішній – $D_b = 0,264$ м.

При цьому металоємність стенду буде найменшою, якщо внутрішні діаметри нового ролика та нового маховика будуть однакові.

З наведених вище формул видно, що момент інерції зростає пропорційне 4-ї ступені радіусу, а маса – пропорційне 2-ї. Тому збільшення металу на малому радіусі збільшує вагу стенду, практично не змінюючи його момент інерції.

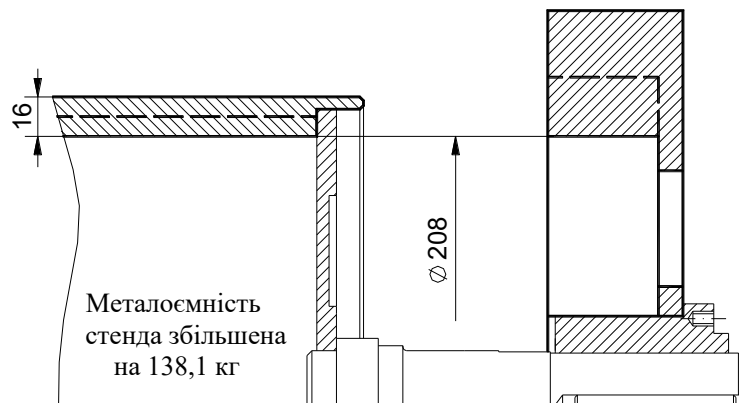


Рисунок 2 – Доробка конструкції нового стенду шляхом збільшення товщини стінки ролика та збільшення розмірів маховика

Новий внутрішній діаметр визначається з наступного виразу:

$$R_b^{//} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot I_p - L_m \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot R_{nm}^{/4} - L_p \cdot \pi \cdot \rho_p \cdot R_{np}^{/4}}{-L_m \cdot \pi \cdot \rho_m - L_p \cdot \pi \cdot \rho_p}} =$$

$$= \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 0,405 - 0,055 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,132^4 - 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,112^4}{-0,059 \cdot 3,14 \cdot 7850 - 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850}}$$

$$= 0,104 \text{ м,}$$

де $L_M = 0,055$ м – ширина маховика;

$\rho_M = 7850$ кг/м³ – густина матеріалу маховика;

$R_{HM}' = R_{BM} = 0,132$ м – зовнішній діаметр додаткового маховика м.

Товщина стінки нового ролика: $H = R_{HP} - R_B'' = 0,12 - 0,104 = 0,016$ м.

Металоемність стенду збільшиться на наступну величину:

$$m = 4 \cdot [L_M \cdot \pi \cdot \rho_M \cdot (R_{HM}'^2 - R_B''^2) + L_P \cdot \pi \cdot \rho_P \cdot (R_{HP}^2 - R_B''^2)] = \\ = 4 \cdot [0,055 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot (0,132^2 - 0,104^2) + 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot (0,112^2 - 0,104^2)] = 138,1 \text{ кг.}$$

Виконані розрахунки показують, що збільшити приведену масу стенду краще за рахунок збільшення стінки ролика та маховика.

Варіант 2 – це доробка конструкції існуючого екземпляра. Тут найважливіша вимога – мінімум змін існуючої конструкції та простота виконання доробки.

З цих позицій найзручніше збільшити приведену масу встановивши всередину роликів сталеві прутки (як показано на рис. 3), або установкою металевих труб, залитих свинцем або іншим важким матеріалом. Оскільки свинець метал дорогий, то встановлення сталевих прутків буде набагато дешевшим.

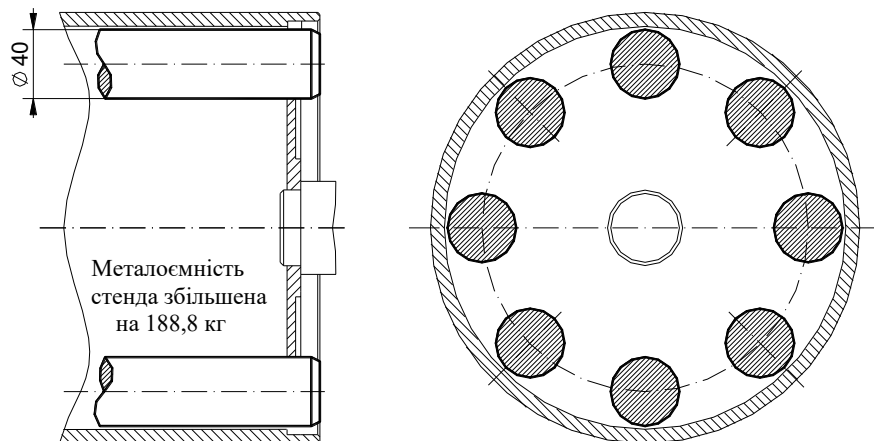


Рисунок 3 – Збільшення приведеної маси існуючого екземпляра стенда

Визначимо необхідний діаметр та кількість прутків. Прийmemo діаметр прутка 40 мм. Власний момент інерції прутка:

$$I_0 = \frac{L \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^4}{2} = \frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,02^4}{2} = 0,0012 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де $L = 0,6$ м – довжина прутка, що дорівнює довжині ролика.

Як зазначалося вище, момент інерції зростає пропорційно 4-ї ступені радіусу. Тому розташовувати прутки необхідно максимально близько до внутрішньої сторони ролика. Виходячи з цього, радіус установки прутків прийемо рівним 0,09 м.

Момент інерції прутка, встановлений на радіусі l :

$$I = I_0 + m_{\text{п}} \cdot l^2, \quad (3)$$

де $m_{\text{п}}$ – маса прутка, кг;

$l = 0,09$ м – радіус установки.

Маса прутка: $m_{\text{п}} = L \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^2 = 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,02^2 = 5,9$ кг.

$I = 0,0012 + 5,9 \cdot 0,09^2 = 0,05$ кг·м².

Потрібна кількість прутків: $n = \frac{I_{\text{р}}}{I} = \frac{0,405}{0,05} \approx 8$.

Металоємність стенду збільшиться на масу встановлених прутків:

$m = m_{\text{п}} \cdot n \cdot 4 = 5,9 \cdot 8 \cdot 4 = 188,8$ кг.

Запропоновані варіанти доробки конструкції стенду ПДС-Л для того, щоб збільшити приведену інерційну масу стенда. Це треба зробити таким чином, щоб частка приведеної маси колеса і пов'язаних з ним частин автомобіля, що обертаються, становила невелику частину і вносила похибку не більш допустимої. З цих позицій найзручніше збільшити приведену масу встановивши всередину роликів сталеві прутки. При цьому металоємність стенду збільшиться на 188,8 кг.

Література

1. Е.Х. Рабінович, «Дослідження та вдосконалення методів та засобів стендової перевірки автомобільних гальм» дис. канд. техн. наук, ХАДІ, Харків, 1981.
2. М.Я. Говорущенко, В.П. Волков, Е.Х. Рабінович, І.А. Мармут та В.О. Зуєв, Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання). Харків: ХНАДУ, 2009, 344 с.
3. І.А. Мармут, «Розробка науково-методичних основ проектування пересувних станцій діагностики» дис. канд. техн. наук, ХДАДТУ, Харків, 2001.
4. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2011. 28 с. (Держспоживстандарт України).
5. І.А. Мармут, «Вплив зносу шин та деталей гальмівних механізмів на точність стендової перевірки гальм», Збірник наукових праць ХНАДУ «Автомобільний транспорт», № 16, с. 34-38. 2005.
6. ДСТУ 8816:2018. Шини пневматичні для легкових автомобілів та причепів до них. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-10-01]. Київ, 2019. 19 с. (Держспоживстандарт України).

7. І.А. Мармут, «Моделювання процесу гальмування автомобіля на інерційному роликовому стенді» на Міжнародній науково-практичній конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці», Харків, 2017, с. 155-159.

8. І.А. Мармут, «Математичні моделі стендової діагностики гальмівних систем автомобілів», Науковий журнал Луцького НТУ «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті», №2(11), с. 90-96. 2018.

Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Косінов Максим, ст. гр. А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, mia2005.62@ukr.net

СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ НА ІНЕРЦІЙНОМУ РОЛИКОВОМУ СТЕНДІ

Одним із важливих елементів вимірювальної системи (ВС) інерційного роликового стенду є первинний датчик, від якого залежать метрологічні властивості системи та елементи обробки сигналу. В якості датчика первинних сигналів пропонується використовувати диск з прорізами (обтюратор) і імпульсний фотоелектричний датчик (рис 1).

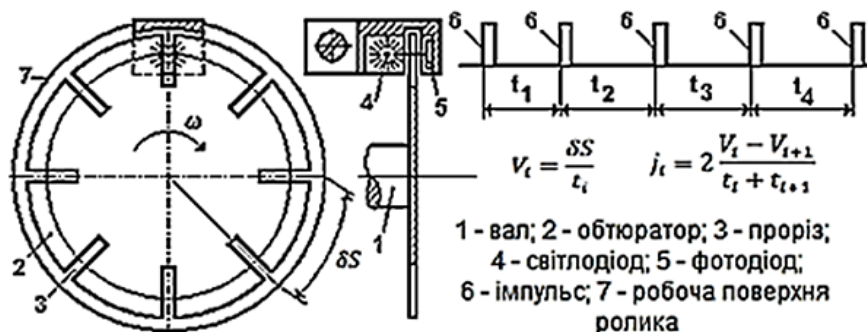


Рисунок 1 – Імпульсно-цифрова ВС роликового стенда ПДС-Л для вимірювання кутової швидкості та прискорення (уповільнення) з фотодатчиком [1]

Спосіб вимірювання уповільнення на інерційному роликовому стенді. Уповільнення (j_i^c) i -го колеса (надалі стендове уповільнення) – це середня величина уповільнення за час гальмування.

Для контролю його величини пропонується наступне. Для кожної осі певної марки автомобіля вибирається стабільна ділянка гальмівної діаграми (характеризується сталістю уповільнення), якій відповідає певний діапазон швидкостей ($V_2 - V_3$).

Надалі вважатимемо, що всередині обраного діапазону уповільнення постійно. Тоді його величину, м/с^2 , можна визначити за формулою

$$j_i^c = \frac{V_2 - V_3}{3,6 \Delta t_i}, \quad (1)$$

де Δt_i – час зміни швидкості ролика при гальмуванні від V_2 до V_3 , с.

Умовимося називати час зміни швидкості – показником уповільнення i -го колеса (ПУ_{*i*}): $\Delta t_i = \text{ПУ}_i$.

Аналіз великої кількості гальмівних діаграм, отриманих під час масових перевірок легкових автомобілів, показав, що доцільно приймати $V_2 = 27$ км/год, а $V_3 = 6$ км/год. Таким чином, за допомогою задатчика гальмування з високою точністю встановлюються значення швидкостей V_2 і V_3 , а в ході діагностування фіксується величина ПУ_{*i*} електронним секундоміром ВС. За допомогою спеціального генератора заповнюються проміжки між прорізами обтюратора (опорні імпульси).

При досягненні кількості імпульсів між двома сусідніми прорізами, що відповідає початковій установці швидкості V_2 включається електронний секундомір. При падінні швидкості до кінцевого значення V_3 (йому відповідає своє число імпульсів) секундомір вимикається.

З урахуванням прийнятих чисельних значень V_2 і V_3 формула (1) набуде вигляду:

$$j_i^c = 5,833 / \text{ПУ}_i. \quad (2)$$

Для постановки діагнозу "придатний – не придатний" можна попередньо розрахувати таблицю нормативних значень (ПУ_{ін}) для всієї гами автомобілів, що перевіряються (окремо для передньої і задньої осі). В цьому випадку умова працездатності гальмівної системи виразиться наступним чином: $\text{ПУ}_{i\phi} \leq \text{ПУ}_{iн}$ (ПУ_{*i*φ} – фактичне значення показника уповільнення i -го колеса).

Спосіб вимірювання часу спрацьовування на інерційному роликовому стенді. Для характеристики часу спрацьовування пропонується заміряти різницю часу проходження одного прорізу обтюратора при швидкості, що дорівнює V_0 і через нормативний період часу спрацьовування τ_c (за ДСТУ 3649:2010 – $\tau_c = 0,5$ с).

Якщо гальмівна система справна, через проміжок часу τ_c досягається

величина нормативного уповільнення. Умовимося оцінювати його за величиною показника спрацьовування (ПС). Тоді, у загальному вигляді, ПС визначається за формулою

$$ПС = \left| \frac{\Delta S}{V_{0,5}} - \frac{\Delta S}{V_0} \right|, \quad (3)$$

де ΔS – шлях, пройдений при повороті ролика на один проріз обтюратора, м;

$V_{0,5}$ – миттєва швидкість через 0,5 с після початку гальмування, м/с;

V_0 – початкова швидкість гальмування, м/с.

Шлях, пройдений при повороті ролика на один проріз обтюратора, дорівнює:

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot D}{z}, \quad (4)$$

де D – діаметр ролика, м;

z – число прорізів обтюратора.

Для конкретної конструкції стенда значення формули (3) є постійними величинами. Таким чином, розраховуються нормативні значення $ПС_{ін}$ для кожної осі за марками автомобілів.

Умова працездатності гальмівної системи за часом спрацьовування виразиться так: $ПС_{іф} \geq ПС_{ін}$ ($ПС_{іф}$ – фактичне значення показника спрацьовування i -го колеса).

Вимірювальна система реєструє значення $ПС_{іф}$ в такий спосіб. Через 0,5 с після початку гальмування вимірюється миттєва швидкість $V_{0,5}$ та обчислюється за формулою (3) значення $ПС_{іф}$, яке виводиться на відповідний індикатор.

Методика метрологічного контролю каналу вимірювання ПС. ПС за визначенням – це різниця між двома інтервалами часу $t_{поч}$ і $t_{кін} = t_2$.

Перший з інтервалів – це період частоти проходження прорізу обтюратора у момент початку гальмування. Він формується ВС при досягненні окружної швидкості роликів одного із значень, що вибирається оператором: 50, 60, 70 або 80 км/год.

Другий інтервал (t_2) вимірюється засобами ВС через 0,5 с після початку гальмування.

Процедура метрологічного контролю ПС, таким чином, повинна

забезпечити метрологічно достовірну імітацію сигналів, формованих фотодатчиками в процесі вимірювання ПС. Метрологічна достовірність імітації може бути забезпечена при виконанні наступних умов:

а) значення початкової частоти імпульсів повинно відповідати одному із значень лінійної швидкості, при якій включається «пневмонога» – пристрій для натискання на гальмівну педаль;

б) період проходження імпульсів фотодатчика $t_{\text{поч}}$ або імпульсного сигналу, що імітує сигнали фотодатчика, повинен бути відомий наперед, або зміряний у момент початку гальмування зовнішніми вимірювальними приладами;

в) за час, що не перевищує 0,5с – період проходження імпульсного сигналу, що імітує роботу фотодатчиків, повинен змінитися до величини $t_{\text{кін}}$ і бути відомим з метрологічною точністю;

г) процес метрологічного контролю ПС повинен адекватно імітувати роботу стенду і його вимірювальної системи не тільки в статичному, але і динамічному режимах.

На підставі вищевикладеного процес метрологічного контролю (МК) каналу вимірювання ПС розбивається на декілька стадій, а саме:

МК каналу включення гальма;

МК каналу формування затримки вимірника ПС (каналу, що формує затримку 0,5с);

МК каналу вимірювання величини $t_{\text{кін}}$ і обчислення ПС у вигляді $(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})$ (слід врахувати, що у фізично реальній системі завжди $t_{\text{кін}} \geq t_{\text{поч}}$).

Для реалізації МК каналу вимірювання ПС необхідно зібрати перевіірочну схему, представлену на рис. 2.

Метрологічний контроль каналу вимірювання швидкості включення пристрою натискання на педаль гальма («пневмоноги»). Встановити на генераторі «А» значення частоти вихідного сигналу, рівне 1,05 значення частоти імпульсів обтюратора, відповідної вибраної швидкості початку гальмування.

Амплітуда імпульсу повинна складати 10 В; полярність позитивна; тривалість імпульсу:

$$\tau_i = (0,8 \dots 1,5) \tau_{i.\text{обт.розр.}} \quad (5)$$

де $\tau_{i.\text{обт.розр.}}$ – розрахункова тривалість імпульсу фотодатчика для вибраної швидкості початку гальмування.

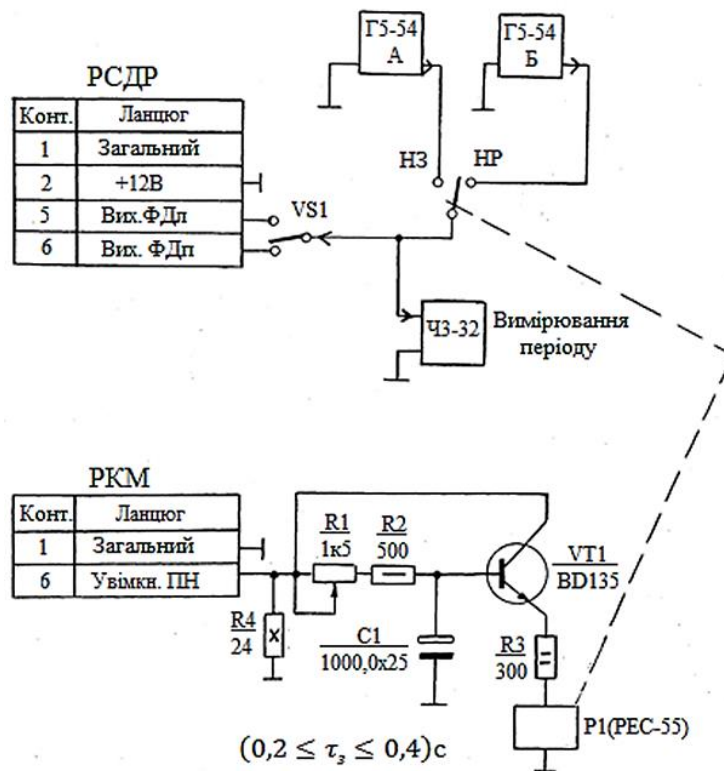


Рисунок 2 – Схема метрологічного контролю каналу ПС [2]

Плавню зменшувати частоту сигналу генератора «А» до моменту включення «пневмоноги». Виконати це для всіх значень початкових швидкостей гальмування.

Для кожного із значень початкової швидкості гальмування розрахувати величини:

$$T_{\text{вим.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{вим}i}}{N}; \quad (6)$$

$$\Delta \bar{T} = (T_{\text{розр.}} - T_{\text{вим}})_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_p - T_{\text{вим}i})}{N}. \quad (7)$$

Величина $\Delta \bar{T}$ характеризує систематичну похибку каналу включення у вигляді величини, що описує відхилення значення періоду прорізу обтюратора від розрахункового значення для кожної з вибраної швидкості гальмування.

Випадкова складова похибки в цьому випадку містить дві складові: апаратну і методичну, причому зміряти або оцінити їх по окремоті не представляється можливим. Тому оцінку значення випадкової складової похибки каналу включення гальмування проводити по величині СКВ:

$$\sigma_{\Delta T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{(T_p - T_{\text{вим}i}) - \Delta \bar{T}\}^2}{N-1}}. \quad (8)$$

Прийняти рішення про придатність до експлуатації каналу включення гальмування. Критерії придатності:

$$\frac{\Delta \bar{T}}{T_p} \leq 0,01; \quad \frac{\sigma_{\Delta T}}{T_p} \leq 0,05. \quad (9)$$

Метрологічний контроль каналу формування затримки 0,5 с (при вимірюванні показника спрацьовування). Процес МК по цьому пункту полягає у вимірюванні величини затримки, яка повинна мати значення: $t_3 = [(0,500) \pm 0,002] \cdot 10^{-3} \text{с}$.

Ухвалити рішення про придатність каналу до експлуатації по цьому критерію.

Метрологічний контроль каналу вимірювання величини і обчислення ПС. Виконується у вигляді $(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})$.

Встановити на генераторі «А» значення однієї з частот, відповідної вибраної початкової швидкості гальмування.

Встановити на генераторі «Б» вибране значення частоти, що забезпечує виконання умови $0,00014 \leq \left(\frac{1}{f_B} - \frac{1}{f_A}\right) \leq 0,003880$.

Плавню зменшуючи значення частоти генератора «А» добитися включення каналу гальмування і записати показання приладу ЧЗ і вимірювальної системи після зупинки процесу рахунку.

Розрахувати для кожного значення початкової швидкості гальмування абсолютні і відносні похибки, систематичну і випадкову складові: $\Delta_c(\text{ПС})$, $\sigma(\text{ПС})$. Формули для розрахунку метрологічних характеристик каналу вимірювання ПС:

$$\delta(\text{ПС})_i = \frac{\Delta \text{ПС}_i}{\text{ПС}_{\text{ЧЗ-32}}}; \quad (10)$$

$$\Delta(\text{ПС}) = (\text{ПС}_{\text{ЧЗ-32}} - \text{ПС}_{\text{ВС}}); \quad (11)$$

$$\bar{\delta}(\text{ПС}) = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i(\text{ПС})}{N}; \quad (12)$$

$$\sigma(\text{ПС}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{\delta(\text{ПС}) - \bar{\delta}(\text{ПС})_i\}^2}{N-1}}; \quad (13)$$

$$\delta_\sigma(\text{ПС}) = \frac{\sigma(\text{ПС})}{\text{ПС}_{\text{ЧЗ-32}}}. \quad (14)$$

Прийняти рішення про придатність до експлуатації каналу вимірювання ПС. Критерії придатності:

$$|\Delta(\text{ПС})| \leq 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}; \quad \sigma(\text{ПС}) \leq 3 \cdot 10^{-6}. \quad (15)$$

Запропонована методика реєстрації параметрів стану гальмівної системи на роликовому стенді дозволяє за допомогою одного первинного датчика швидкості оцінювати ефективність робочої гальмівної системи відповідно до вимог стандарту.

Література

1. Говорущенко М.Я., Волков В.П., Рабінович Е.Х., Мармут І.А., Зуєв В.О. (2009). Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання): монографія. Харків: ХНАДУ, 344 с.
2. Мармут, І., & Шестов, С. (2025). Удосконалення методики перевірки каналів вимірювання гальмівних параметрів автомобілів на інерційному роликовому стенді. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 1(24), 273-283. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i24.1733>.
3. Володарський Є.Т., Потоцький І.О. (2019). Забезпечення метрологічної надійності вимірювань. Вимірювальна техніка та метрологія, 80(3), 5-9. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.005>.
4. І.А. Мармут, «Моделювання процесу гальмування автомобіля на інерційному роликовому стенді» на Міжнародній науково-практичній конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці», Харків, 2017, с. 155-159.
5. І.А. Мармут, «Математичні моделі стендової діагностики гальмівних систем автомобілів», Науковий журнал Луцького НТУ «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті», №2(11), с. 90-96. 2018.
6. І.А. Мармут, «Розробка науково-методичних основ проектування пересувних станцій діагностики» дис. канд. техн. наук, ХДАДТУ, Харків, 2001.
7. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2011. 28 с. (Держспоживстандарт України).
8. І.А. Мармут, «Вплив зносу шин та деталей гальмівних механізмів на точність стендової перевірки гальм», Збірник наукових праць ХНАДУ «Автомобільний транспорт», № 16, с. 34-38. 2005.
9. ДСТУ 8816:2018. Шини пневматичні для легкових автомобілів та причепів до них. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-10-01]. Київ, 2019. 19 с. (Держспоживстандарт України).

Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Кукленко Дмитро, гр А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Kuklenkodima89@gmail.com

ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ

Основна властивість автоматичної коробки передач (АКП), що забезпечила її широку популярність - це перемикання передач без водія. Інша приваблива властивість АКП – відсутність переривання потоку потужності до коліс при перемиканні передач.

Поряд із цим існує проблема діагностування АКП хоча б на попередніх етапах, пов'язаних з оцінкою витрат на відновлення. Допомогти вирішити проблему може спостерігати особливості поведінки автомобіля при експлуатації, такі як жорстке перемикання або неможливість включення певних передач, неможливість реалізації деяких режимів, наприклад, гальмування двигуном і т.д. Існуючі рекомендації з діагностики АКП мають, переважно, універсальний характер, придатний всім видів АКП і насправді є описовими [1].

Volkswagen для АКП автомобілів концерну наводить таблицю типових несправностей, у якій наводяться ознаки, причини несправностей та їх усунення [2]. У зв'язку з глибокої деталізацією як ознак, і причин несправностей, таблиця може бути потужним підмогою при діагностиці АКП без спеціальних технічних засобів. До того ж тут є цінні практичні рекомендації щодо усунення несправностей. Проте таблиця має універсальне призначення, що означає, що з діагностики конкретної моделі АКП її придатність обмежена.

З іншого боку, таблицю характеризує наявність лише однієї виміру «ознаки - причини несправностей», але це означає, що з оцінки будь-якої причини (елемента АКП) необхідно неодноразово проаналізувати всю таблицю.

Ця операція повинна бути повторена для всіх елементів, що цікавлять.

Тим часом у практиці діагностики існують та успішно використовуються двомірні таблиці – матриці діагностування, що дозволяють суттєво економити час на проведення операцій.

Метою дослідження є показати на прикладі конкретної АКП типу Tiptronic від концерну Volkswagen послідовність кроків та необхідний обсяг попередніх відомостей для розробки та складання матриці діагностування.

АКП є комбінацією простого планетарного ряду і планетарного ряду Равіньо, включених послідовно [3], що дозволяє мати шість ступенів передач.

АКП управляється блоком управління через муфти та гальма (механізми перемикання передач), які наводяться в дію гідроциліндрами, керованими за допомогою золотників-розподільників та електромагнітних клапанів, розміщених у розподільчому модулі.

Електромагнітні клапани включаються блоком керування коробкою передач. У разі експлуатації електромагнітні клапани відмовляють найчастіше, що причиною заміни всього розподільного модуля.

За нашими спостереженнями за вибіркою більш ніж зі ста АКП такі несправності трапляються вже через 14 місяців експлуатації автомобіля, починаючи від пробігу 37 тис. км.

Тому тут головну увагу приділено інформаційному забезпеченню діагностики однієї з головних складових системи управління АКП – розподільчому модулю.

Разом зі структурною схемою АКП, це є основою для діагностики, локалізації несправностей, де К1 - муфта, керована клапаном з позитивною характеристикою; К2, К3 - муфти, керовані клапанами з негативною характеристикою.

Таблиця 1 - Використання багатодискових муфт та гальм на окремих передачах АКП AISIN

Передачі	Механізм перемикавання					
	К1	К2	К3	В1	В2	F
1-а передача	X				*	X
2-а передача	X			X		
3-а передача	X		X			
4-а передача	X	X				
5-а передача		X	X			
6-а передача		X		X		
Задній хід			X		X	

У коробці використовуються вісім електромагнітних гідравлічних клапанів різного призначення і характеристик: з них два клапани є двопозиційними з позитивною характеристикою (за наявності струму клапан відкритий), два клапани регулюючими з позитивною характеристикою (збільшення струму тягне за собою зростання тиску в регульованому контурі) і чотири клапани регулюючим.

Виробник АКП в інструкціях з експлуатації ремонту зазвичай наводить відомості про включені передачі та відповідні активні елементи коробки.

Література

1. Автоматичні коробки передач та роздавальні коробки. Діагностика та ремонт / Джек Гордон : Алфамер Паблішинг, 2004. 392 с.
2. Таблиця несправностей АКПП [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://vwts.ru/vw_doc2/trans/akpp_errors.pdf Назва з екрана.
3. Коробка передач Volkswagen типу 09A/09B. Пристрій та принцип дії. Посібник із програми самоосвіти [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://vwts.ru/page05_09a.html Назва з екрану.

Науковий консультант: Дитятьєв Олександр Васильович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ ПРАЦЮЮЧОГО НА СУМІШЕВОМУ ПАЛИВІ

Паливна криза 70-х років змусила багатьох автомобільних виробників по новому поглянути на альтернативні види палива. Тоді і був перший сплеск інтересу до водню. Сьогодні ці дослідження знову актуальні, враховуючи сучасний екологічний настрій. Серед нових видів палив, найбільш повно відповідає сучасним вимогам водень. Запаси практично безмежні, токсичність відпрацьованих газів мінімальна.

В даний час дослідження зі створення двигунів внутрішнього згоряння з воднем в якості палива проводяться за двома напрямками [1-3]:

- створення двигунів, що працюють на вуглеводневому паливі з частковою заміною його воднем;
- створення двигунів, що працюють на чистому водні.

Застосування водню як палива для транспортних енергетичних установок на сучасному етапі пов'язують з міжнародною програмою з водневої енергетики, покликаної в перспективі виробити універсальну енергетичну систему всієї земної кулі.

В Україні працювати над впливом водню в якості палива в даний час ведуться в напрямку створення бензино-водневих автомобілів.

Перші дослідження довели, що навіть невеликі добавки водню до бензину (5-10) % дозволили поліпшити економічні і знизити токсичні показники двигуна.

Однак в подальшому було доведено, що з метою поліпшення характеристик двигуна при експлуатації автомобіля в міських умовах концентрацію водню в паливі в залежності від навантаження необхідно робити змінною.

На холостому ходу і малих навантаженнях в двигун повинен подаватися водень або бензино-воднева паливна композиція з високим вмістом водню, а в міру збільшення навантаження його концентрацію доцільно зменшувати.

Порівнюючи фізико-хімічні властивості водню і інших палив, необхідно відзначити, що він різко відрізняється від них багатьма параметрами, відносною молекулярною масою, швидкістю згоряння, енергією займання і ін. Водень є, очевидно, найперспективнішим паливом.

Єдиним токсичним компонентом у відпрацьованих газах водневого двигуна залишаються оксиди азоту, освіту яких відповідно до загальноприйнятої в даний час термічної теорії утворення NO, розробленої Я.Б. Зельдовичем, не залежить від роду палива, а визначається температурою горіння в циліндрі двигуна.

Зміст вуглецю і водню в одиниці маси ізооктана становить: вуглецю - 0,842 кг і водню - 0,158 кг на один кілограм палива.

У дослідженнях для порівняння з іншими паливами часто використовують саме це з'єднання, властивості якого найбільш близькі до властивостей бензину

Збільшення вмісту водню розширює межі займання заряду в двигуні. Як приклад, яскраво характеризує це явище, можна навести дані про зміну меж стійкої роботи двигуна в залежності від співвідношення вільного водню і ізооктана, наведені в дослідженні.

Переклад автомобільних двигунів на бензино-водневі композиції ставить питання вибору такого складу паливно-повітряної суміші на всіх режимах, який дозволить поліпшити економічні і токсичні властивості двигунів за рахунок меншої кількості споживаного водню (газ Брауна).

Простими словами Газ Брауна – це водень і кисень. Його позначають як ННО або ще називають гримучий газ (англ. Browns Gas, ННО gas, fire damp, detonating gas, oxyhydrogen gas). Це дві частини газоподібного водню і одна частина кисню в певному об'ємі.

Особливість цього газу полягає в тому, що це суміш двохатомних і атомарних молекул водню і кисню. Газ Брауна, який позначають як НН або гримучий газ (Brown Gas, ННО gas, fire damp, detonating gas, oxyhydrogen gas) - це дві частини газоподібного водню і одна частина кисню в певному об'ємі. Газ Брауна - це унікальний газ, так як він існує не в молекулярній формі H_2 і O_2 , а в одноатомному стані.

В цьому стані при спалюванні водню (реакція з киснем) енергії буде виділено в 3,8 разів більше, ніж на утворення його з води. Газ Брауна може використовуватись в ДВЗ.

Одноатомний водень є каталізатором для різних видів палива на основі вуглеводнів. Це дозволяє підвищити потужність ДВЗ та інших двигунів, збільшити пробіг автомобіля, зменшити викиди при горінні палива. В ДВЗ, в кращому випадку, згорає тільки 40% палива (бензину або дизеля). Решта ж 60% догорають у вихлопній трубі.

Перші дослідження в цьому напрямку зробив Юл Браун в США. Професор Г. В. Дудка випробовував ДВЗ, який виглядав як гібрид карбюраторного двигуна і дизеля.

Бензин в його двигуні використовувався тільки для запуску, а далі відключалось зчеплення і в камеру згорання подавалась звичайна вода зі спеціальними добавками. Вона попередньо нагрівалась і стискалась.

Двигун встановлювали на човні і плавали по морю, заливаючи в двигун воду із-за борту човна. В генераторі газу Брауна проходить хімічна реакція електролізу води, з якої виділяється газ Брауна.

В генераторі використовується спеціальний електроліт, який складається каталізатора КОН та дистильованої води. Газ, що виділяється, проходить крізь водяний затвор, фільтр вловлювання вологи, зворотній клапан в повітряний колектор, а звідти — в камеру згорання. З кожної літри води утворюється 186 л газу Брауна.

Кисень для роботи береться з води, яка використовується для отримання газу. Особливість цього газу полягає в тому, що це суміш двохатомних і атомарних молекул водню і кисню.

Найпростіший спосіб отримати газ Брауна - застосування електролізерів, які використовують електричний струм для розщеплення води на кисень і водень.

В момент розщеплення водень і кисень деякий час існують в атомарному стані. При нормальному процесі електролізу водень і кисень з атомарного стану переходять в бінарний. Бінарний стан - це H_2 і O_2 .

Двохатомний стан характеризується низьким енергетичним станом молекул. Щоб розщепити воду шляхом електролізу необхідно затратити енергії 442,4 Ккал/моль.

Це ендотермічна реакція (поглинання енергії). З 1л води утворюється 1866,6л газу Брауна. При нормальному двохатомному стані H_2 і O_2 виходить 933,3 л цього газу.

Якщо припустити, що нам вдалося отримати достатню кількість атомарної суміші H і O для спалювання в газовому пальнику, то температура полум'я була б істотно вища, ніж при звичайному спалюванні водню.

Таким чином ми б отримали «гаряче» полум'я, тому що витрачалась би енергія на дроблення молекул H_2 і O_2 . Якщо б H і O безпосередньо приймали б участь в синтезі 214 молекул води, то в нас були б (для 4-х молів H і 2-х молів O) 442,4 Ккал доступної енергії, замість 115,7 Ккал доступних при $2H_2:O_2$.

Ця додаткова енергія може пояснити такі дивні ефекти як плавлення W , утворення чистих отворів, як при різці отворів лазером в дереві, металі, кераміці.

Температура горіння моноатомного газу Брауна вища в 3,8 рази, ніж традиційної суміші H_2 і O_2 .

Зауваження по газу Брауна: на практиці навіть найкращі електролізери не виробляють чистий газ Брауна. Він практично містить деякий процент молекул H_2 і O_2 . Чим кращий електролізер, тим більший процент газу Брауна він буде виробляти; • через деякий час заряджені іони H^+ і O^- будуть з'єднуватись в H_2O , H_2 , O_2 молекули, зменшуючи процент газу Брауна.

З цієї причини газ Брауна буде найкращим рішенням «газ на вимогу»; • при виробництві газу Брауна електролізер не нагрівається.

Електрика для виробництва газу поглинається в реакції створення H^+ і O^- з H_2O . Коли H^+ і O^- перетворюються в молекули H_2 і O_2 , вони погано віддають тепло. Це тепло може бути використане як міра виробленого газу; • газ Брауна буде мати подвійний об'єм для такої ж кількості молекул H_2 і O_2 . Тому об'єм може бути використаний як міра продуктивності по газу Брауна.

Тема газу Брауна вже відома в досить широкому колі, але в той же час треба ще багато чого вивчити з цього питання,

На кафедрі ІСАТ ХНАДУ здобувачем Костишак М.В. був виготовлений стенд для одержання Газу Брауна безпосередньо на двигуні (рис.2).

Експериментальні дослідження проводились на пересувній діагностичній станції в лабораторії технічної експлуатації кафедри ХНАДУ.

Воднева система встановлюється в моторному відсіку автомобіля.. Електролізер встановлюється між радіатором охолодження і облицюванням.

Бак-сепаратор і водяний фільтр зліва від радіатора, біля бачків з охолоджувальною рідиною і бака з рідиною омивача реле на стінці моторного відсіку.

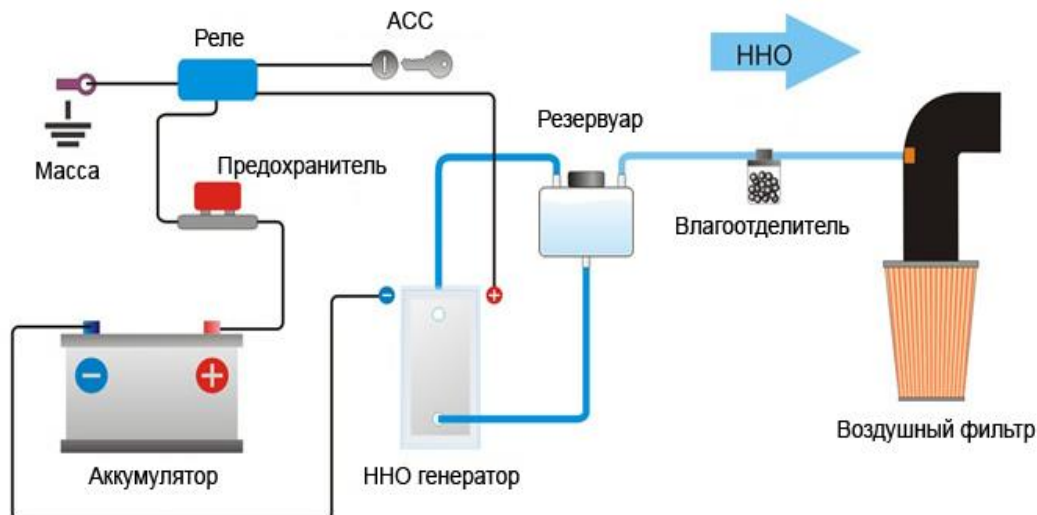


Рисунок 2 – Схема станції одержання Газу Брауна

Переклад автомобільних двигунів на бензино-водневі композиції ставить питання вибору такого складу паливно-повітряної суміші на всіх режимах, який дозволить поліпшити економічні і токсичні властивості двигунів за рахунок меншої кількості споживаного водню.

Збільшення в паливній композиції вільного водню призводить до падіння максимальної потужності двигуна. В області багатих сумішей ($\alpha \leq 1$), відповідних роботі двигуна на режимі максимальної потужності, через відсутність в сучасній теорії горіння залежностей, що описують горіння вуглецю і водню в паливному заряді в умовах нестачі кисню, можлива лише якісна оцінка цих закономірностей.

Література

1. Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згорання: Конспект лекцій / А.М.Кравець А.М. Харків. УкрДАЗТ, 2010. 29 с. 2. Варшавський І.Л., Міщенко О.І., Талда Г.Б. і ін. Зниження токсичності ОГ бензинового двигуна із застосуванням добавок водню. Матеріали Всесоюзної конференції «Захист повітряного басейну від забруднення токсичними викидами транспортних засобів». Т.І. Харків, 1977. 3. Особливості вибору параметрів генераторів газу Брауна для паливних систем впорску бензинових двигунів / М.В. Костишак // Збірник матеріалів конференції ХНАДУ. Науково-дослідна студентська конференція. Харків. 2018 р.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Сучасна автомобільна промисловість активно переходить до екологічно чистих технологій, серед яких ключове місце займають електромобілі та гібридні транспортні засоби. Зростання їх популярності зумовлене необхідністю зменшення викидів шкідливих речовин, підвищення енергоефективності та зниження залежності від викопного палива.

Однак разом із розвитком цих технологій змінюється і підхід до технічного обслуговування (ТО). Електромобілі та гібриди мають принципово іншу конструкцію у порівнянні з традиційними автомобілями, що впливає на особливості їх експлуатації, діагностики та ремонту.

Метою даної роботи є аналіз особливостей технічного обслуговування електромобілів та гібридних транспортних засобів.

Електромобілі працюють виключно за рахунок електричної енергії, що накопичується в акумуляторних батареях. Основними елементами є:

- тяговий електродвигун;
- акумуляторна батарея (літій-іонна);
- інвертор;
- система керування електроприводом.

Гібридні транспортні засоби поєднують двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електричний привід, що дозволяє зменшити витрату палива та викиди шкідливих речовин [1].

Таким чином, відмінність конструкції безпосередньо впливає на склад і періодичність технічного обслуговування.

Особливості технічного обслуговування електромобілів. Електромобілі мають значно менше рухомих частин у порівнянні з автомобілями з ДВЗ. Відсутні такі елементи, як:

- система змащення двигуна;
- паливна система;
- система випуску відпрацьованих газів.

Це зменшує потребу в регулярному обслуговуванні (заміна масла, фільтрів тощо) [2].

Найважливішим елементом електромобіля є акумулятор. Його стан визначає запас ходу та ефективність роботи транспортного засобу.

Основні аспекти ТО:

- контроль температурного режиму;
- перевірка рівня деградації батареї;
- діагностика системи управління батареєю (BMS).

З часом ємність батареї зменшується, що потребує її заміни або відновлення. Термін служби зазвичай становить 8–10 років [3].

Електромобілі мають складні системи охолодження батареї та електроніки. Їх несправність може призвести до перегріву і виходу з ладу дорогих компонентів.

Технічне обслуговування включає:

- перевірку охолоджувальної рідини;
- контроль герметичності системи;
- перевірку насосів та теплообмінників.

Через використання рекуперативного гальмування механічні гальма зношуються значно повільніше. Однак вони потребують періодичної перевірки через можливе закисання або корозію.

Електромобілі значною мірою залежать від програмного забезпечення. Оновлення систем керування може виконуватися дистанційно (OTA), що є новою практикою в технічному обслуговуванні.

Гібридні транспортні засоби поєднують особливості як електромобілів, так і автомобілів із ДВЗ, що ускладнює їх обслуговування.

Гібриди мають:

- двигун внутрішнього згоряння;
- електродвигун;
- акумуляторну батарею.

Це означає, що технічне обслуговування включає як традиційні процедури (заміна масла, фільтрів), так і обслуговування електричної частини.

На відміну від звичайних автомобілів, двигун у гібриді працює в більш оптимальних режимах, що зменшує його знос. Проте необхідно:

- регулярно змінювати моторне масло;
- перевіряти систему охолодження;
- контролювати стан паливної системи.

Гібриди оснащені високовольтними електричними системами, які потребують особливих заходів безпеки:

- використання спеціального інструменту;
- навчання персоналу;
- дотримання правил роботи з напругою понад 100 В.

Це суттєво змінює вимоги до сервісних центрів.

Поєднання двох систем приводу ускладнює процес діагностики. Необхідно використовувати спеціалізоване обладнання для аналізу роботи як ДВЗ, так і електричних компонентів.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз технічного обслуговування

Параметр	Електромобіль	Гібрид
Кількість обслуговуваних вузлів	Менша	Більша
Наявність ДВЗ	Ні	Так
Обслуговування батареї	Основне	Важливе
Вартість ТО	Нижча	Середня
Складність	Середня	Висока

Таким чином, електромобілі простіші в обслуговуванні, але мають дорогі ключові компоненти, тоді як гібриди є більш універсальними, але складнішими.

Поширення електромобілів і гібридів змінює підходи до організації технічного обслуговування:

- зростає роль електроніки та програмної діагностики;
- підвищуються вимоги до кваліфікації персоналу;
- зменшується потреба у традиційних ремонтних роботах;
- збільшується значення профілактичного обслуговування.

Крім того, з'являються нові напрямки сервісу, пов'язані з обслуговуванням акумуляторів та зарядної інфраструктури.

Електромобілі та гібридні транспортні засоби суттєво змінюють підхід до технічного обслуговування автомобілів. Електромобілі мають простішу конструкцію і потребують меншого обсягу регулярного обслуговування, однак їх ключові компоненти є дорогими та потребують спеціалізованої діагностики.

Гібридні автомобілі, навпаки, поєднують переваги та недоліки двох типів силових установок, що ускладнює їх обслуговування.

У майбутньому розвиток електротранспорту призведе до трансформації системи технічного обслуговування, з акцентом на цифрові технології, діагностику та управління енергетичними системами.

Література

1. Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. CRC Press, 2018. 412 p.
2. Larminie J., Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained. Wiley, 2012. 320 p.
3. Tie S.F., Tan C.W. A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 20. P. 82–102.

Науковий консультант: Павленко В'ячеслав Миколайович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Медведь Михайло, ст. гр. А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Bear@gmail.com

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСУ АВТОМАТИЧНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ГІБРИДНИХ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

Автоматичні коробки передач вже давно не є рідкістю і чи не половину сучасних автомобілів оснащено саме цим різновидом трансмісії [1].

Переваг вавтоматичних коробок чимало, але є й недоліки, що не дозволило автоматизації повністю витіснити інші типи коробок передач.

Найголовніший недолік - висока вартість автомобілів та їх дороговартісний ремонт під час поломок. Але попри це, прихильників АКПП теж чимало, особливо в мегаполісах, де часом доводиться годинами чекати в заторах. Автоматична коробка передач робить процес очікування та довготривалої експлуатації не таким напруженим.

На термін служби коробки-автомат (АКПП) впливає багато факторів [2], починаючи з досконалості конструкції, якості виготовлення та закінчуючи стилем експлуатації (рис.1).

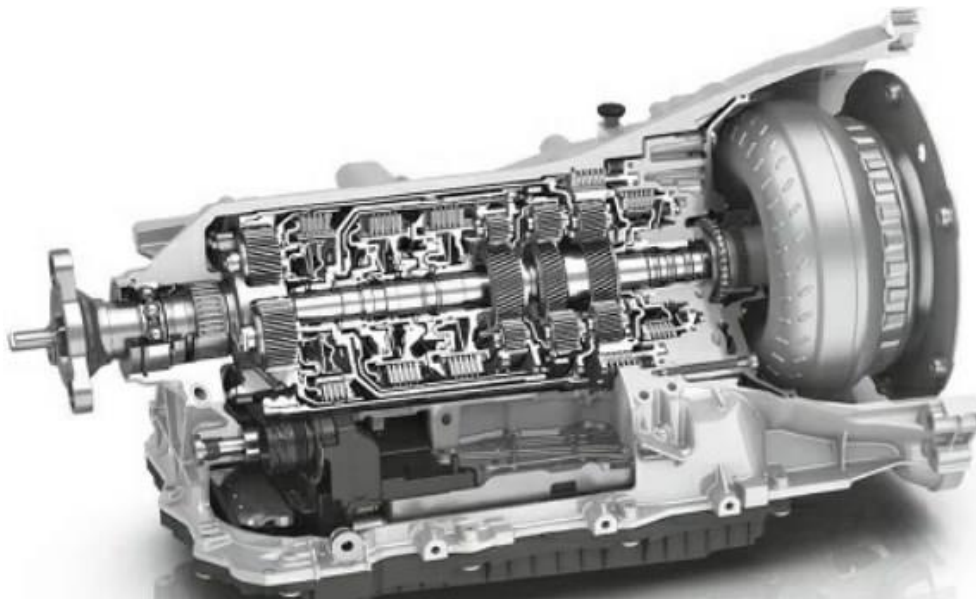


Рисунок 1 - Схема конструкції коробки-автомат класичної конструкції

Необхідно постійно контролювати стан АКПП, систематично проводити технічне обслуговування, змінювати масло, перевіряти маслоприймач та радіатор, проводити діагностику. У такому разі можна бути впевненим, що коробка відкочує свій відведений термін і навіть більше.

Виробник автоматичних коробок передач вказує про періодичність заміни масла, вид трансмісійної рідини, яку потрібно використовувати [1, 2].

Не завжди періодичність вказана точно, адже в реальності умови експлуатації автомобіля в наших умовах набагато жорсткіші, ніж у Європі чи Азії. Тим не менш, важливо дотримуватися цих рекомендацій, у тому числі:

- проводити заміну оливи та розхідників;
- перед початком руху прогрівати коробку, як мінімум кілька хвилин.

Періодичність заміни оливи залежить від виду та року випуску коробки. Найчастіше це раз на 30-60 тисяч кілометрів пробігу. Але є коробки, які потребують заміни оливи рідше – раз на 70-100 тисяч кілометрів.

Все залежить від виробника коробки. Адже ринок пропонує, як бюджетні варіанти, так і високоякісні та дорогі.

Тому, вирішивши купити автомобіль з АКПП на борту, не зайвим буде прочитати про неї детальніше, ознайомитися з відгуками на спеціалізованих майданчиках або проконсультуватися з фахівцем.

Реальні терміни служби АКПП. Однозначно говорити про реальний термін служби автоматичної коробки неможливо. На це є кілька причин.

По-перше, сьогодні більшість всіх видів коробок порівнюють як одну, думаючи, що варіатор і робот - це та ж АКПП, хоча це в корені неправильно.

АКПП, варіатор та роботизована коробка передач - принципово різні види коробок передач зі своїми особливостями та реальними термінами служби.

Навіть якщо брати за приклад два автомати, то й у них може бути різний термін служби. Тому, що має велике значення якість обслуговування, метод і частота експлуатації, навіть якість самої коробки.

Логічно, що якщо коробка дорога і надійна (наприклад, у дорогих автомобілях люксового рівня), вона щорічно проходить ТО і використовується раз на кілька днів на короткі відстані, агрегат прослужить набагато довше.

Якщо автомобіль використовується як таксі, та й сама модель коробки недосконала, а заміна оливи не проводилась, то через 50 000 км пробігу можна вже замислитися про повну заміну АКПП.

Розглянемо термін експлуатації кожного виду коробки передач.

Надійність та ресурс АКПП класичної конструкції. У минулому автоматична коробка була далека від ідеалу. Тоді механіка, справді, була лідером, прославляючи надійність і довговічність.

Сьогодні ж автоматичні коробки настільки добре опрацьовані, що їхній ресурс може становити 500 000 кілометрів пробігу і навіть більше за умови правильного та якісного обслуговування.

Проте, враховуючи спосіб експлуатації, неможливо порівняти термін служби АКПП двох автомобілів, якщо вони експлуатуються по-різному.

Класична автоматична коробка по праву вважається найнадійнішою конструкцією в порівнянні зі своїми новими різновидами.

Вона простіша з конструктивної точки зору, піддається обслуговуванню, а ремонт АКПП фінансово доступний та виконується багатьма СТО. Тому, думаючи про тривалий термін експлуатації, без сумніву коробка-автомат – лідер цього питання.

Ресурс варіатора. Хоча варіаторна коробка передач (рис. 2) і вважається другим видом за надійністю після класичної АКПП, з нею в нашій країні справи набагато гірші.

Варіатор є принципово інший конструктив. Так, у ньому передбачений гідротрансформатор, але працює він шляхом двох шківів та металевого ремня, натягнутого між ними.

Під час роботи ремінь третється об метал, виробляє стружку і протирається, що позначається на загальний ресурс варіатора. І вже через 90 – 100 тисяч кілометрів пробігу потребує заміни.

Сьогодні випускаються нові модифікації варіатора з терміном служби більш тривалим – 100-150 000 км пробігу. Тим не менш, заміна ремня залишається вимушеною процедурою, крім класичної заміни оливи та розхідників.



Рисунок 2 - Схема варіаторної АКПП

І тут уже розпочинається цікава історія. На відміну від АКПП, ремонт вариатора, - питання складне. В Україні дуже мало фахівців та й взагалі СТО, які займаються цим.

Зумовлено це тим, що варіаторна коробка у нас не розповсюджена та мало популярна. Та й технічно вона є складним агрегатом.

Щобільше, ремонт варіаторної коробки дороговартісний.

Проте, з належним ТО вариатора коробка розкриє свої яскраві переваги - неймовірна зручність водіння та чудову динаміку, що поєднується з відмінною економічністю у витраті палива.

Реальні терміни роботи роботизованих коробок. З усіх видів коробок передач – коробка-робот (АТМ) по праву вважається ненадійною. Її ресурс становить понад 200 000 км, тому, що з часом з'являються проблеми з приводами або дисками зчеплень, або програмним забезпеченням.

І все було б набагато простіше, адже робот, по суті, це класична механіка з електронним керуванням, якби виробник не додав сервомеханізмів та додатковий вузол зчеплення. Результатом стала поява двох різних видів коробки-робота.

Ресурс АТМ. Автоматизована механіка - сукупність сервопривода та виконавчих механізмів, які відповідають за зчеплення та перемикання швидкостей (рис. 3).

Сервопривод вважається проблемною зоною коробки, тому що перед тим, як дати сигнал про зміну передач, він зчитує показники температури, швидкості та обертів двигуна. Взаємозв'язок між ними досконало не налагоджено ще від заводу-виготівника. Деякі моделі робота АТМ за комфортом поступаються навіть варіаторним АКПП - під час перемикання передач водій відчуває поштовхи та ривки.

Ресурс АТМ становить близько 100 000 км максимум. І це за умови постійного контролю коробки та її обслуговування. Після виробітку доведеться або здійснювати капітальний ремонт, або міняти коробку повністю.

Ресурс DSG 6/7. DSG 6/7 складається з двох дисків, які відповідають за парні та непарні передачі (рис. 3). Завдяки цьому виключені поштовхи та ривки під час перемикання передач. DSG – привілей концерну VAG.



Рисунок 3 - Схема роботизованої коробки передач DSG 6/7

Автомобілі Volkswagen випускаються з цим видом коробки. Вона зручна в експлуатації, має м'яку та плавну динаміку, непогану потужність.

Ресурс DSG – 200 000 км. Після цього нерідко виходить з ладу мехатроніка та виникають проблеми у ПЗ.

Література

1. Удосконалення ТО автомобілів (назва з екрану). Дата звернення 17.11.2024. Режим доступу: <https://elar.khmnu.edu.ua/items/d8ebec48-e00d-4949-9819-6b08fd547906>.
2. Технічне обслуговування автомобілів (назва з екрану). Дата звернення 17.11.2024. Режим доступу: <https://gepard.org.ua/ua/shho-vhodit-u-to-avtomobilja-ua/>
3. Руденко С. Г., Бойко П. І. Автоматизація робочих процесів в автосервісі: стаття . К.: Автомеханік, 2020. С. 93-99.
4. Барановський Я. О., Левченко К. М. Діагностика автомобільних систем: підручник. Х.: ХНАДУ, 2016. С. 45-67.

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ОСОБЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВЗ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

Бортова мережа автомобілів за останні роки постійно вдосконалювалася. При цьому зростають вимоги до акумуляторної батареї.

Аварійна ситуація, викликана розрядженою акумуляторною батареєю, або проблеми в бортовій енергетичній мережі можуть мати різні причини, які в більшості випадків не відносяться до самої батареї. Тому заміна високовольтної акумуляторної батареї надовго усуває проблему тільки в найбільш рідкісних випадках [1, 2].

Тест-блок з діагностики енергосистеми допомагає в пошуку причини.

Метою діагностування енергосистеми є максимально точне визначення причини несправності.

Тест-блок зчитує всі необхідні дані з відповідних ЕБК і після оцінки цих даних видає можливу причину, яка веде до розряду акумуляторної батареї або виникнення проблем в бортовій енергетичній мережі, або загальну інформацію.

Обсяг цієї інформації може бути різним.

При наявності декількох можливих причин несправності вони сортуються по пробігу (остання подія стоїть у списку на першому місці).

Загальна інформація може бути показана завжди (результати останніх перевірок струму спокою, інформація про акумуляторну батарею, наприклад, ступеня заряду за останні 5 днів, перевірка акумуляторної батареї (споживання зарядного струму / стартові перешкоди) гістограма стану заряду, середній огляд поїздок, характер стоянок, історія змін тестового модуля).

На підставі одержаної інформації можна вирішити, про причину несправності.

Аварійна ситуація, викликана розрядженою акумуляторною батареєю, або проблеми в бортовій енергетичній мережі не обов'язково вказують на несправність батареї.

Різні причини розрядки акумуляторної батареї можна розділити на дві основні категорії: несправність автомобіля або несприятливі параметри експлуатації.

Несправність автомобіля:

- автомобіль не переходить в режим очікування;
- автомобіль постійно виходить зі стану спокою;
- занадто високий струм спокою при стані спокою;
- поганий зарядний баланс;
- несправність акумуляторної батареї.

Несприятливі параметри експлуатації:

занадто довго були включені стоянкові вогні або аварійні світлові сигнали;

- занадто довго був включений контакт R або контакт 15;
- тривалий простій;
- середня поїздка невігідна (експлуатація автомобіля на коротких відстанях);
- часте або тривале включення споживачів струму спокою (наприклад радіоприймача або задньої розважальної системи), яке також може бути причиною перешкоди до переходу в стан спокою і підвищеного споживання струму.

Проведемо дослідження даних з діагностичного блоку автомобіля, що аналізуються та зчитуються.

Аналізовані дані це зокрема інформація з запам'ятовуючого пристрою помилок в центральному між мережевому перетворювачі або з запам'ятовуючого пристрою помилок при діагностиці управління контактами.

Центральний між мережевий перетворювач контролює стан автомобіля, реєструє перешкоди до переходу в стан спокою або несанкціоновані активації. Він посилає команду на скидання або відключення контакту 30F.

Запам'ятовуючий пристрій помилок і діагностичний запит в управлінні контактами аналізує наступні дані:

- перезапуск або відключення контакту 30F;
- перешкода перезапуску або відключення контакту 30F (умови не виконані);
- граничне значення можливості пуску досягається при включеному контакті 15 або 30B;
- запис в запам'ятовуючий пристрій несправностей при автоматичному відключенні контакту 15 або 30 В через досягнення граничного значення можливості пуску;
- історія останніх збільшень інерційних фаз роботи контакту 30B (споживачі струму спокою);
- історія останніх причин пробудження.

В запам'ятовуючий пристрій історії енергосистеми записується різна інформація, яка може допомогти при пошуку причин проблем з бортовою енергетичною мережею.

Інформація, збережена в запам'ятовуючому пристрою історії енергетичної системи, це зокрема:

- огляд поїздок за останні 5 тижнів. Огляд поїздок зберігається в пам'яті історії електроживлення за допомогою 6 наборів даних. Кожен набір даних містить наступну інформацію: час початку реєстрації набору даних, пройдений шлях в км під час реєстрації, кількість поїздок на різних ділянках;
- новий набір даних запускається, коли часовий інтервал між поточним часом і часом початку реєстрації поточного набору даних перевищує 7 днів. Таким чином, проміжок часу аналізу становить, як правило, приблизно 35 днів., якщо тільки автомобіль не знаходився в режимі спокою більшу кількість часу;

- старий набір даних перезаписується, як тільки все 6 наборів даних в пристрої заповнюються;
- максимальне число активізацій протягом періоду спокою (контакт R виключений) за відповідні останні 5 тижнів.

Система управління двигуном або система EDME зберігає різні діагностичні дані, які використовуються при діагностиці електроживлення:

- результати останніх 24 перевірок струму спокою;
- остання зареєстрована заміна акумуляторної батареї;
- ступінь заряду ТАБ за останні 5 днів;
- пробіг за останні 5 днів.;
- час і тривалість останніх 4 обмежень або відключення споживачів струму;
- дані вимірювань для контролю стану акумуляторної батареї з розширеним інтелектуальним датчиком акумуляторної батареї: розпізнавання несправних елементів акумуляторної батареї, залишкова ємність.

Проведемо дослідження пам'яті помилок в системі керування двигуном та в EDME.

Система управління двигуном або система EDME зберігає код помилки при перевищенні струму спокою, глибокому розряді акумуляторної батареї і обмеження або відключення споживачів струму.

Запам'ятовуючий пристрій помилок в системі управління світлом працює наступним чином.

При вимкненому контакті R система управління світлом вимикає стоянкові, або паркувальні вогні, якщо вимірювана напруга в бортовій мережі нижче 10,6 В протягом мінімум 2 хв.

При відключенні в запам'ятовуючому пристрої несправностей записується відповідний код несправності.

При утрудненому переході в стан спокою або несанкціонованої активації послідовно проводяться різні заходи, такі, як відключення контактів, щоб не допустити глибокого розряду акумуляторної батареї і забезпечити можливість пуску автомобіля.

Література

1. Бажинов О.В. Метод визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля» / Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. // Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». 2021 №21 С. 180-187
2. Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. Інформаційна комплексна система діагностики гібридних і електромобілів //Науковий журнал «Інженерія природокористування». – 2020. – №. 2 (16). – С. 12-18.

Науковий консультант: Бажинов Олексій Васильович, д.т.н., проф. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сучасна автомобільна галузь перебуває під значним тиском екологічних і економічних вимог, що стимулює впровадження інженерних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності транспортних засобів. Енергоефективність автомобіля визначається як здатність мінімізувати витрати енергії під час руху при збереженні необхідних експлуатаційних характеристик. Вона залежить не лише від конструкції транспортного засобу, а й від умов його експлуатації, технічного стану та стилю керування.

Одним із ключових напрямків підвищення енергоефективності є вдосконалення двигунів внутрішнього згоряння та електричних силових установок. Інженерні рішення у цій сфері спрямовані на зменшення втрат енергії та підвищення коефіцієнта корисної дії. Наприклад, використання турбонаддуву дозволяє підвищити потужність двигуна без збільшення його об'єму, що сприяє зменшенню витрати палива. Також широкого застосування набули системи безпосереднього впорскування палива, які забезпечують точніше дозування паливно-повітряної суміші та більш повне її згоряння [1].

Важливу роль відіграє зниження механічних втрат у двигуні та трансмісії. Для цього застосовуються сучасні мастильні матеріали з низькою в'язкістю, які зменшують тертя між деталями. Крім того, вдосконалення конструкції підшипників, поршневих груп і зубчастих передач дозволяє підвищити ефективність передачі енергії від двигуна до коліс.

Окрему увагу приділяють аеродинаміці автомобіля, оскільки опір повітря є одним із основних факторів втрати енергії при русі на високих швидкостях. Інженерні рішення у цій сфері включають оптимізацію форми кузова, використання активних аеродинамічних елементів та зменшення зазорів між деталями кузова.

Зменшення маси автомобіля також є важливим фактором підвищення енергоефективності. Використання легких матеріалів, таких як алюміній, магнієві сплави та композитні матеріали, дозволяє знизити загальну масу транспортного засобу, що безпосередньо впливає на витрати енергії, особливо в міських умовах руху. Для наочності основні інженерні рішення можна узагальнити у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні інженерні рішення

Напрямок	Інженерне рішення	Ефект
Двигун	Пряме впорскування	Зменшення витрати палива
Трансмісія	Оптимізація передач	Зниження втрат енергії
Матеріали	Легкі сплави, композити	Зменшення маси
Аеродинаміка	Оптимізація кузова	Зниження опору повітря
Електроніка	Системи керування	Оптимізація режимів роботи

Суттєвий вплив на енергоефективність мають електронні системи керування. Сучасні автомобілі оснащені складними електронними блоками, які оптимізують роботу двигуна, трансмісії та допоміжних систем. Наприклад, системи старт-стоп автоматично вимикають двигун під час зупинок, що дозволяє зменшити витрату палива в міському циклі. Інтелектуальні системи керування енергією також дозволяють ефективно розподіляти навантаження між різними компонентами автомобіля [2].

Окремим напрямком є використання рекуперації енергії, яка особливо актуальна для гібридних і електричних транспортних засобів. Під час гальмування частина кінетичної енергії перетворюється на електричну і зберігається в акумуляторі для подальшого використання. Це дозволяє суттєво підвищити загальну ефективність системи.

Не менш важливим є вплив умов експлуатації на енергоефективність автомобіля. Регулярна перевірка тиску в шинах, стану фільтрів, свічок запалювання та мастильних матеріалів дозволяє підтримувати оптимальний рівень ефективності.

Основні експлуатаційні фактори, що впливають на енергоефективність:

- стиль керування (різкі прискорення збільшують витрати енергії);
- стан дорожнього покриття;
- навантаження автомобіля;
- технічний стан вузлів і агрегатів.

Перспективним напрямком є інтеграція цифрових технологій, які дозволяють аналізувати стиль водіння та пропонувати рекомендації щодо його оптимізації. Такі системи можуть у реальному часі підказувати водію, як зменшити витрати енергії, що є важливим кроком до підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів [3].

У майбутньому розвиток енергоефективних технологій буде пов'язаний із подальшою електрифікацією транспорту, використанням альтернативних джерел енергії та впровадженням інтелектуальних систем керування. Очікується, що автомобілі стануть частиною єдиної енергетичної системи, де вони зможуть не лише споживати, а й накопичувати та передавати енергію.

Таким чином, підвищення енергоефективності автомобілів є комплексним завданням, що включає як інженерні рішення на етапі проектування, так і оптимізацію умов експлуатації. Використання сучасних технологій дозволяє значно зменшити витрати енергії, підвищити економічність транспортних засобів і знизити їх негативний вплив на довкілля.

Література

1. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals., 2018. 1030 p.
2. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Wiley, 2018. 1230 p.
3. Guzzella L., Sciarretta A. Vehicle Propulsion Systems. Springer, 2013. 400p.

Науковий консультант: Павленко В'ячеслав Миколайович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ З АВТОМАТИЧНОЮ КОРОБКОЮ ПЕРЕДАЧ

Автоматична коробка передач є важливим елементом трансмісії сучасних легкових автомобілів, що забезпечує автоматичну зміну передач залежно від умов руху та навантаження на двигун.

Використання автоматичних коробок передач підвищує комфорт керування автомобілем, спрощує процес водіння та сприяє більш плавному руху транспортного засобу.

У процесі експлуатації елементи автоматичної коробки передач (рис. 1) піддаються значним механічним і тепловим навантаженням, що може призводити до їх зношування або виникнення несправностей.

Тому важливе значення має своєчасне технічне обслуговування та правильне діагностування автоматичної трансмісії.

Застосування сучасних методів діагностики дозволяє своєчасно виявляти можливі несправності, підтримувати надійну роботу агрегату та продовжувати строк його експлуатації [1-3].

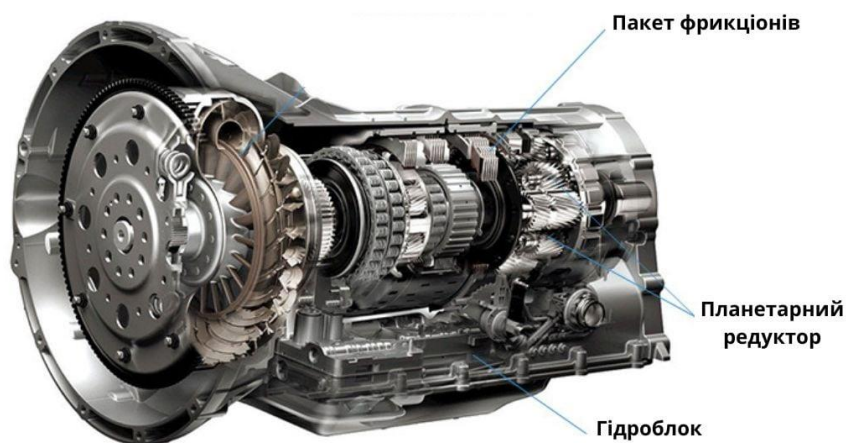


Рисунок 1 – Структура АКПП

Основні заходи обслуговування АКПП.

Контроль рідини ATF. Регулярна перевірка рівня та стану (колір, запах) трансмісійної рідини. Потемніння або запах гару свідчать про знос фрикціонів.

Регламентна заміна. Заміна масла та фільтра АКПП (рис. 2) залежно від умов експлуатації (часті затори, перевезення вантажів вимагають частішого обслуговування). Рекомендовано проводити заміну оливи кожні 30,000 - 60,000 км або відповідно до рекомендацій виробника.

Захист від перегріву. Уникання тривалих пробуксовок, буксирування важких причепів.

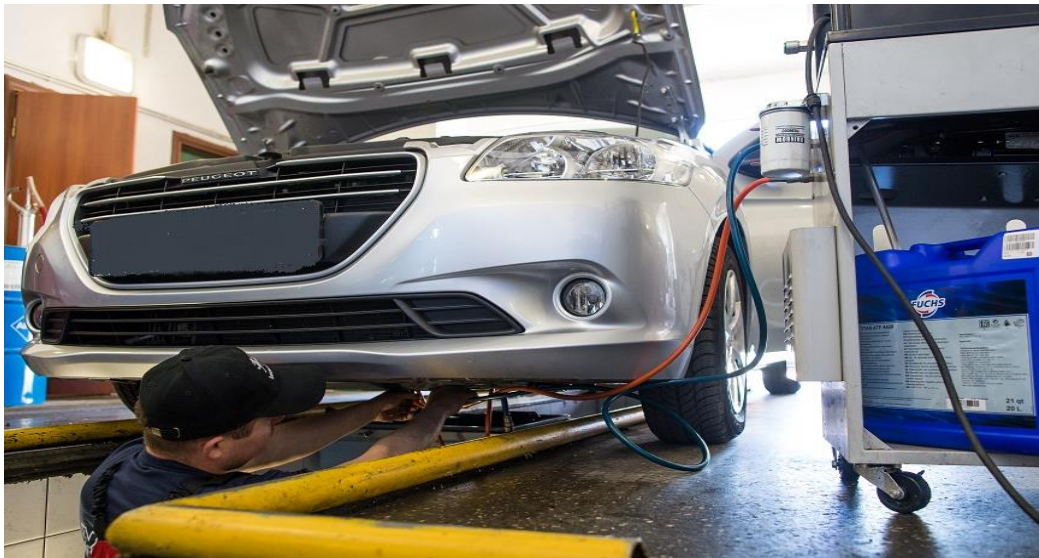


Рисунок 2 - Заміна мастила АКПП

Правильна експлуатація. Перемикання режимів (P-R-N-D) тільки при повній зупинці автомобіля.

Діагностування АКПП.

Комп'ютерна діагностика. Підключення сканера до ЕБУ для аналізу роботи датчиків, тиску рідини та зчитування кодів несправностей.

Тест-драйв (динамічна діагностика). Оцінка якості перемикання передач (відсутність поштовхів, затримок).

Перевірка на місці. Утримання гальма при увімкненій передачі (Stall-test) для оцінки роботи двигуна та АКПП разом

Ознаки несправності АКПП.

Пробуксовка (оберти зростають, швидкість - ні).

Ривки, удари або затримки при перемиканні передач.

Автомобіль котиться назад при зупинці на гірці (в положенні Drive).

Поява запаху горілого мастила.

Типові поломки АКПП

У моделях старої конструкції, однією з частих проблем з перемиканням передач був знос куліси важеля.

Це проявлялося у неможливості вибору режиму роботи.

Такі проблеми швидко усуваються заміною пошкодженого селектора та зношеної куліси, без необхідності демонтажу коробки передач.

Ще одним з недоліків є протікання оливи з-під ущільнювачів.

Власникам автомобілів з АКПП рекомендується регулярно проводити візуальний огляд блоку.

Ця несправність не потребує складного ремонту і швидко усувається заміною ущільнювальних прокладок та трансмісійної оливи.

Складнішою несправністю є пошкодження блоку управління. Якщо він працює некоректно, відбувається неправильний вибір обертів для перемикання передач.

Можлива також повна блокування роботи агрегата. У цьому випадку фахівці виконують заміну пошкоджених блоків та шлейфів.

Однією з важких поломок є пошкодження гідроблока.

Типовими симптомами є помітні поштовхи, удари, вібрації.

Автомобіль може взагалі не рушати з місця. Така поломка вимагає підключення діагностичних пристроїв до бортового комп'ютера.

Ще однією частою проблемою є неправильна робота гідротрансформатора. Це діагностується за стуком, характерними шурхотливими звуками та погіршенням динаміки авто.

Додатковим симптомом є наявність великої кількості стружки в піддоні при заміні оливи в коробці.

Регулярні перевірки та обслуговування зовнішніх компонентів, стан шлангів, з'єднань та інших зовнішніх компонентів також мають важливе значення для правильної роботи автомобіля.

Огляд на виявлення витоків оливи або гідравлічної рідини проводиться періодично.

Навчайте водіїв користуватися режимами передач (економія пального, спорт, ручне перемикання) з урахуванням умов руху також сприятимуть безперебійній та довготривалій роботі автомобіля.

Технічне обслуговування та ремонт автоматичної коробки передач - це важливий аспект догляду за автомобілем, який сприяє забезпеченню безпеки та тривалості роботи трансмісії.

Найкраще проводити ці процедури відповідно до рекомендацій виробника та, в разі виявлення проблем, звертатися до кваліфікованих майстрів для їхнього вирішення.

Література

1. Технічна експлуатація автомобілів / за ред. Лудченка О.А. Київ: Знання, 2017.
2. Технічна експлуатація та надійність автомобілів / Є.Ю. Формальчик, М.С. Олісевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо. Львів: Афіша, 2004.
3. Основні несправності автоматичної коробки передач та їх ознаки. Режим доступу https://www.avtoradosti.com.ua/ua/news/12_2025/1353.html

Науковий консультант: Зибцев Юрій Васильович. ст. викладач каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Мусієнко Ігор, ст. гр. А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Musienko@gmail.com

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ТРАДИЦІЙНИХ АНТИФРИЗІВ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ НА РИНКУ УКРАЇНИ

Надійна робота автомобілів взимку, легкість пуску двигунів, економія палива в значній мірі залежать від сортів вживаних експлуатаційних матеріалів, а також від їх якості і стану.

Низькозамерзаючі охолоджувальні рідини - антифризи у великій мірі полегшують і спрощують експлуатацію автомобілів взимку. Автотранспортники все частіше застосовують ці рідини як всесезонні.

Пояснюється це тим, що в системах охолодження двигунів автомобілів нових марок і моделей антифризи застосовуються цілий рік. Замінювати їх водою автозаводи або не рекомендують взагалі, або дозволяють в крайніх, практично аварійних випадках [1].

Всім автомобілістам знайоме слово «антифриз», утворене від англійського «фриз» (замерзати) і приставки «анти» (проти). У сучасному понятті низькозамерзаючі рідини (антифризи) – це розчини різних спиртів, солей і інших з'єднань у воді.

Традиційні антифризи отримують розбавленням технічного етиленгліколя ($C_2H_6O_2$) дистильованою водою. Щоб зменшити шкідливу дію етиленгліколя на метали, до складу низькозамерзаючих рідин вводяться антикорозійні присадки.

З часом присадки, введені до складу антифризу, піддаються мимовільному розпаду. Концентрація їх знижується, погіршуються властивості рідини.

Охолоджувальна рідина повинна відповідати ряду вимог, які часто перечать один одному. Перш за це вимоги, визначені призначенням і типом автотранспортного засобу.

При виборі охолоджувальної рідини необхідно враховувати конструктивні особливості системи охолодження двигуна, умови його експлуатації, а також умови технічного обслуговування і поточного ремонту автотранспортних засобів.

На жаль, вживані на автомобільному транспорті охолоджуючі рідини не повною мірою відповідають сучасним вимогам. Велика різноманітність систем охолодження автомобільних двигунів, типів і призначення автотранспортних засобів, умов їх експлуатації дозволяють диференціювати вимоги і тим самим підвищити ефективність використання охолоджувальних рідин.

Вимірювання електропровідності вуглеводневих рідин (палив, олив, розчинів присадок) широко використовується не тільки для оцінки цього показника, але і для дослідження міжмолекулярних взаємодій у вказаних рідинах.

Електропровідність характеризує наявність в цих рідинах вільних заряджених частинок, здатних пересуватися під дією електричного поля (електронів, іонів, заряджених колоїдних частинок) [2].

1. Для проведення дослідження якості чистих охолоджуючих рідин були обрані традиційні антифризи класу G11, що представлені на ринку експлуатаційних матеріалів України і доступні для придбання будь-якому автовласнику.

Антифриз Polo Expert G11 – це сучасний високопродуктивний готовий антифриз, пофарбований в синій колір. Відповідає вимогам класифікації G11, згідно з яким відмінно підходить для застосування в сучасних легкових і

невеликих комерційних транспортних засобах, а також в спеціальній техніці і стаціонарному устаткуванні.

Він відрізняється високими значеннями теплоємності і теплопровідності, за рахунок чого гарантує надійний захист двигуна від перегріву і збоїв в роботі навіть при високих обертах.

Містить в складі потужні інгібітори корозії, які запобігають появі та поширенню іржі, а також нейтралізує вогнища корозії, які з'явилися раніше. Антифриз Polo Expert G11 сумісний з усіма видами радіаторів, патрубків, шлангів та прокладок, не пошкоджує їх і виключає появу протікання.

Заявлені переваги:

- Повністю готовий до застосування і не вимагає додавання води перед заливкою.
- Забезпечує ефективне охолодження двигуна і захищає від перегріву.
- Стійкий до закипання і випаровування, не допускає появу парових пробок і підвищення тиску.
- Не ушкоджує прокладки, патрубки і шланги системи.
- Володіє вкрай низькою температурою кристалізації і відмінно працює в зимовий період [5].

Антифриз CARAT G11 – це антифриз з особливо низькою температурою замерзання і стійкістю до закипання і випаровування. Є універсальним продуктом, може застосовуватися як в класичних системах охолодження і блоках циліндрів, виконаних з заліза і чавуну, так і в сучасних – виконаних з алюмінію, міді або сплавів.

Завдяки етиленгліколевій основі і спеціально підібраним активним присадкам, антифриз забезпечує надійний захист від утворення корозії і іржі, має стійкість до спінювання. Заявлені переваги:

- Особливо низька температура кристалізації до -35 °C.
- Має високі показники теплоємності і теплопровідності, ефективно відводить тепло від вузлів і агрегатів запобігаючи їх перегрів і забезпечуючи стабільно-оптимальні показники температур.
- Гарантує надійний захист елементів системи від виникнення корозії, в тому числі кавітаційної і корозії алюмінієвих поверхонь, продовжує їх безвідмовний термін служби.
- Завдяки стійкості до окислення і зносу рідина зберігає свої охолоджуючі та захисні властивості на дуже тривалий період аж до п'яти років [5].

2. Антифриз TURBO PULS ANTIFREEZE – це високоякісний продукт на основі моногліколю, розроблений, щоб забезпечити оптимальну продуктивність системи охолодження та надійний захист від корозії та морозів. Він забезпечує надійний захист від корозії всередині системи охолодження вашого двигуна. Це допомагає продовжити термін служби двигуна та інших компонентів.

3. Забезпечує надійний захист від замерзання і перегріву двигуна. З його допомогою ви можете бути впевнені, що ваш двигун завжди працює в оптимальних умовах, навіть у найекстремальніших погодних умовах.

4. Антифриз спроектований для забезпечення безпечної роботи за низьких температур, маючи точку замерзання на рівні -30°C продукт відповідає стандарту G11, що підтверджує його високу якість і відповідність сучасним вимогам до охолоджувальних рідин. Синій колір антифризу робить його легко впізнаваним і дає змогу візуально контролювати рівень і стан рідини в системі охолодження. Заявлені переваги:

- Чудовий захист від корозії.
- Збереження ущільнювачів.
- Захист від морозів і перегріву.
- Температура замерзання -30°C .
- На основі моногліколю.
- Присадки BASF [5].

5. Під час дослідження перевірялась електропровідність та деякі показники якості антифризу згідно ДСТУ ГОСТ 28084-89 (зовнішній вигляд, щільність, лужність, водневий показник) [3].

6. Результати досліджень основних показників якості антифризів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результат дослідження електропровідності та аналізу показників якості чистих антифризів представлених на ринку України

№ з/п	Найменування показника	Норма за ДСТУ ГОСТ 28084	Антифриз Polo Expert G11	Антифриз CARAT G11	Антифриз TURBO PULS G11
1	Зовнішній вигляд	Однорідна, прозора	Однорідна, прозора	Однорідна, прозора	Однорідна, прозора
2	Густина, при 20°C , г/см^3	1,065 - 1,085	1,050	1,075	1,075
3	Водневий показник, pH	7,5 - 11,0	7,5	8,5	10,0
4	Лужність, см^3 , не менше	10,0	11,0	12,0	15,0
5	Електропровідність, $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$	—	$1,548\cdot 10^{-5}$	$2,255\cdot 10^{-5}$	$2,931\cdot 10^{-5}$

7. Із результатів експерименту видно, що не всі охолоджувальні рідини відповідають вимогам ДСТУ ГОСТ 28084-89. Так антифриз Polo Expert має показник густини $1,050\text{ г/см}^3$ замість мінімального $1,065\text{ г/см}^3$, а водневий показник лише 7,5 одиниць. Антифриз CARAT та TURBO PULS по перевіреним критеріям повністю відповідають вимогам ДСТУ ГОСТ 28084-89, хоча й з мінімальними значеннями деяких показників.

Показник електропровідності не нормується в ДСТУ ГОСТ 28084-89 і значно відрізняється у всіх досліджених антифризів. Найменший він у

антифризу Polo Expert і становить $1,548 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, далі йде антифриз CARAT – $2,255 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Найвище значення має антифриз TURBO PULS – $2,931 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, що майже в двічі більше ніж у Polo Expert і на 30% більше ніж у антифризу CARAT.

Експериментальні дослідження обраних антифризів класу G11 показали, що електропровідність чистих антифризів одного класу має різні величини, а різниця може бути дуже суттєва і сягати майже 100%. Крім того не всі вони відповідають вимогам якості, які пред'являються діючим Держстандартом.

Це говорить про те, що обираючи антифриз, автовласник повинен звертати увагу на показники її якості наведені в сертифікаті, які свідчать про те, чи підійде даний антифриз системі охолодження саме його автомобіля.

Вимірювання величини електропровідності чистого антифризу дає можливість слідкувати за зміною його значень в процесі експлуатації антифризу і проводити своєчасну заміну, а також підбирати найбільш підходящий зразок для доливки, або часткової заміни.

Література

1. Дійчук В.В. // Укр. хім. журн. – 2010. Том 76. № 5/6 С. 84-88.
2. Білоусов А. І., Рожков І. В., Бушуєва Є. М. Хімія та технологія палив та олив, № 8, 1977, С. 61-63.
3. Державний стандарт ГОСТ 28084-89 Рідини охолоджуючі низькозамерзаючі. Загальні технічні умови. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79744 (дата звернення: 15.03.2026).
4. Державний стандарт ГОСТ 6581-75. Матеріали електроізоляційні рідкі. Методи електричних випробувань. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54527 (дата звернення: 17.03.2026).
5. Автомагазин AutoBaza – зручний шопінг для автомобіліста. URL: <https://avtozvuk.ua/ua/antifrizy/c314/1368=74696;5367=75836> (дата звернення: 21.03.2026).

Науковий консультант: Наглюк Михайло Іванович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Орел Віталій, ст. гр.А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Eagle@gmail.com

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

У другій половині ХХ століття перед людством повстала глобальна проблема – це забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння органічного палива тому все частіше стали вигадувати нові види альтернативної енергії. Види альтернативної енергії для автомобілів [1]:

- електрична енергія;
- газове паливо;
- спиртові рідини;
- біодизельне паливо
- водень;
- стиснене повітря.

В наступний час світовий ринок електромобілів в 2025 році встановив новий рекорд. За рік в світі продали 20,5 млн. нових електрофікованих транспортних засобів, що включає батарейні електромобілі, гібриди з можливістю підзарядки і автомобілів на паливних елементах.

Метою дослідження є оцінка тягово-швидкісних властивостей автомобілів з різними джерелами енергії.

Для порівняння пропонуються два автомобілі одного класу: водневий Toyota Mirai і електромобіль Nissan Leaf.

У таблицю 1 зведено основні технічні характеристики цих автомобілів [2].

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики автомобілів

Автомобіль		Toyota Mirai	Nissan Leaf
Тип кузова		Седан	Хетчбек
Число місць		4	5
Розміри, мм	Довжина	4890	4445
	Ширина	1815	1770
	Висота	1535	1550
Повна маса, кг		2180	1521
Макс. Потужність, к.с./КВт		154/113	108/80
Макс. Крутний момент, Нм		335	280
Привід		Передній	Передній
Максимальна швидкість, км/год		178	145
Час розгону 0-100 км/год, с		9,6	11,9
Запас ходу, км		480	135-172

На рис. 1 порівнюється потужність двигунів, на рис. 2 порівнюється крутний момент двигунів в залежності від обертів.

Аналізуючи отримані графіки можна зробити висновки, що електродвигун Toyota Mirai потужніший за двигун Nissan Leaf на всьому діапазоні обертів і має більш якісну характеристику крутного моменту.

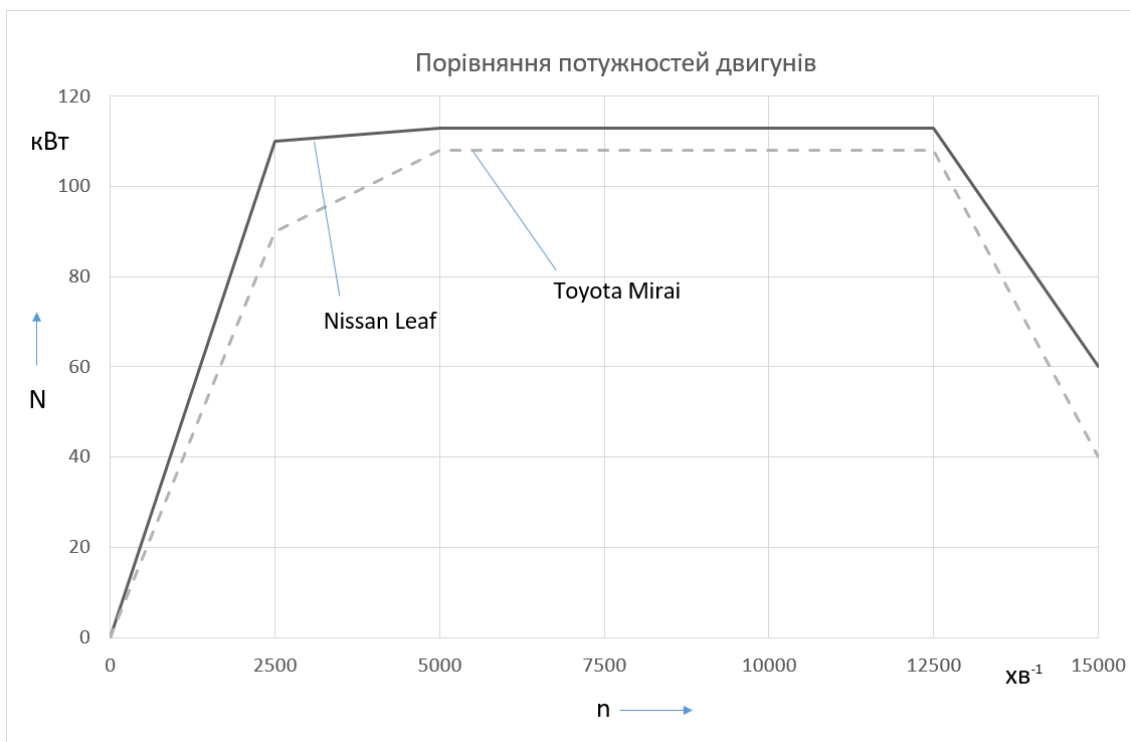


Рисунок 1 – Порівняння потужності двигунів автомобілів

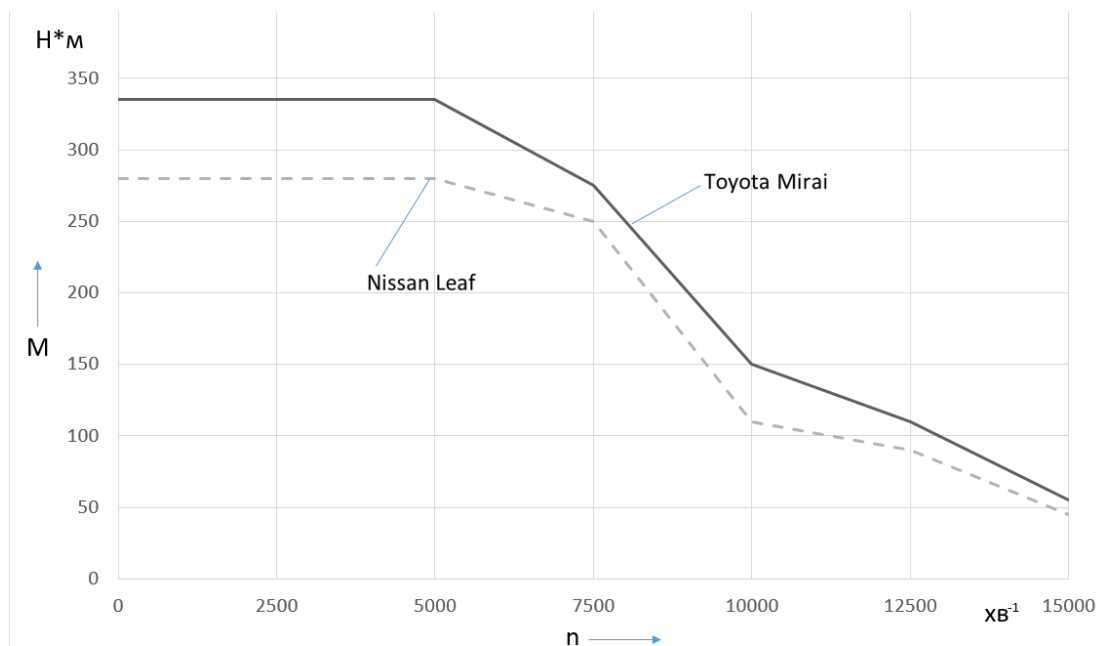


Рисунок 2 – Порівняння крутних моментів двигунів автомобілів

Для порівняння часу розгону автомобілів було зроблено розрахунки, які представлено на рис. 3.

Для порівняння прискорень автомобілів було зроблено розрахунки, які представлені графіком на рис. 4.

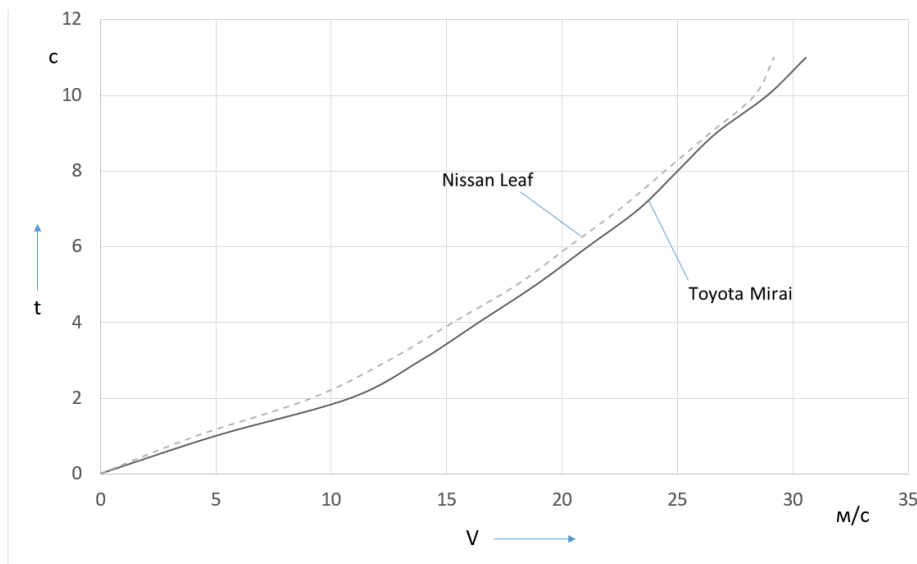


Рисунок 3 – Порівняння часу розгону автомобілів

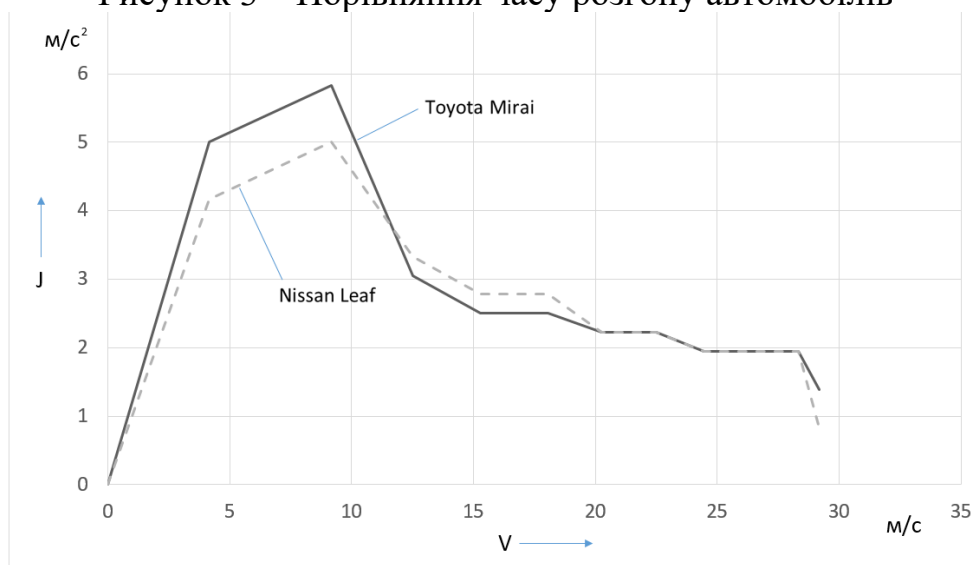


Рисунок 4 - Порівняння прискорення автомобілів

Література

1. Elektromobilität - grundlagen einer zukunftstechnologie 2. Auflage 2018 / prof. Dr.-ing. Achim kampker, univ.-prof. dr.-ing. Dirk Vallée, univ.-prof. dr.-ing. Achim Kampker. - 262 с. 2. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів / В.П. Волков, ХДАДУ, 2003. – 296 с. 3. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik 8. Auflage 2016 / Prof. Stefan Pischinger RWTH Aachen University, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert. – 181-184 с. 4. Zeraouila, M. Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: a Comparative Study / M. Zeraouila, M. E. H. Benbouzid, D. Diallo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2006. Vol. 55, No 6. – 1756–1764 с.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ICAT Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ВЛАСТИВОСТІ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОБУСІВ

Сучасні тенденції експлуатації автобусів полягають у збільшенні їхнього технічного ресурсу і інтервалів проведення технічного обслуговування. Реалії автомобілебудування такі, що строк експлуатації автобусів до капітального ремонту їхніх двигунів становить 250-500 тис. км.

Слід зазначити, що за останні піввіку відбулася революція в галузі обслуговування автомобільного транспорту. Якщо з 30-х років по 90-і строки заміни моторних олив збільшувалися з 3–5 тис. до 7–10 тис. км., то з 95 року по теперішній час з'явилися автомобілі, строк заміни моторних олив у двигунах яких становить 20 тис. км. і більше. Зараз автобуси, які експлуатуються в Україні, здатні відпрацьовувати на одній заправці оливи більше ніж вказано у керівництвах з їхньої експлуатації [1].

Однак, протягом строку, зазначеного в керівництві з експлуатації виробники автобусів гарантують збереження проектного ресурсу двигуна при самих несприятливих режимах експлуатації. Варто розуміти, що зазначений інтервал заміни моторної оливи – це мінімум, який гарантує виробник двигуна і нафтова компанія, що виробляє оливу [2].

По даним, які наведені у роботі [2], більше половини загальної кількості неполадок, виникаючих у двигунах при експлуатації автомобільного транспорту, пов'язана з якістю застосовуваної оливи. Згідно з хімотологічною концепцією, у якій моторна олива розглядається як елемент конструкції двигуна, якість оливи є ключовим чинником, керування яким дозволить значно підвищити ефективність експлуатації автобусів, одночасно із цим підвищуючи їхню експлуатаційну надійність.

Як було відзначено раніше, при експлуатації автомобільного транспорту олива старіє. Вивчення кінетики старіння оливи дозволило встановити основну закономірність: стабілізацію, що настає після першого несталого періоду щодо бурхливого потоку процесу. Із цієї причини і спрацьовування присадки найбільше інтенсивно в першому періоді, коли вона витрачається на нейтралізацію кислих продуктів, що утворюються при роботі двигуна, і на адсорбцію на поверхнях деталей, а також зважених у оливі часток забруднень. Тому цілком закономірно, що й лужність оливи в другому періоді стабілізується.

У процесі роботи двигуна в періоді стабілізації старіння оливи здатність базової частини утворювати відкладення знижується у зв'язку з тим, що найбільш активні молекули вже вступили у відповідні з'єднання, а частина, що залишилася, - менш реакційно-здатна. Щодо цього якість оливи покращилася. Однак присадка в цей час вже в значній мірі втратила свою ефективність, наслідком чого є погіршення якості оливи.

Важливо з'ясувати співвідношення цих протилежно діючих факторів. При цьому необхідно враховувати ступінь форсування двигуна і вихідні фізико-

хімічні властивості оливи. У двигунах високого ступеня форсування, що працюють на правильно підібраних оливах зі стабільними присадками, поліпшення базової частини оливи в періоді стабілізації може виявлятися достатнім для забезпечення необхідних фізико-хімічних властивостей при низькій або нульовій концентрації присадок.

У цьому випадку застосування оливи без заміни може бути тривалим. У процесі експлуатації двигуна інтенсивне спрацьовування присадок може зробити більше значний негативний вплив на фізико-хімічні властивості оливи, ніж поліпшення базової частини. У таких випадках необхідно робити часту заміну оливи.

Дія цих факторів і ступінь їхнього взаємного впливу не можуть бути оцінені кількісно й тому встановлення раціональних строків заміни оливи може бути здійснене в кожному конкретному випадку тільки шляхом проведення періодичного контролю якості олив, що працюють. Зниження цих строків приводять до необґрунтованої її перевитрати, а збільшення більшістю дослідників розглядаються як небезпечне рішення, що у випадку його реалізації призводить до зниження ефективності експлуатації автобусів.

Звичайно припускають, що зі збільшенням строку заміни оливи погіршується її змащувальна дія у зв'язку з накопичуванням у ній продуктів старіння, різних забруднень, нагароутворення, спрацьовування присадок. Однак відомі дані, з яких випливає, що збільшення строку зміни оливи призводить до поліпшення її фізико-хімічних властивостей.

Також досить корисні продукти окислювання працюючої оливи, які в силу своєї полярної активності адсорбуються на поверхнях тертя і оказують протизносний вплив. Необхідно відзначити, що встановлені до останнього часу строки заміни олив мало обґрунтовані. Це пояснюється відсутністю теорії, що пояснює зв'язок між старінням оливи у всіх її проявах і інтенсивністю процесів зношування, лако- і нагароутворення та корозії [3, 4].

На підставі результатів періодичного контролю якості моторних олив можуть бути запропоновані загальні думки, які обґрунтовують доцільність, у деяких випадках, продовжити строк заміни оливи, у порівнянні зі строком, зазначеним в керівництві з експлуатації автобусів, в інших - рекомендувати його зниження.

Таким чином, проведення періодичного контролю якості дозволить визначити оптимальні строки заміни оливи у двигуні по її фактичному стану, тим самим істотно скорочувати потреби у свіжій оливі, зменшити час простою автобусів, що значною мірою підвищить ефективність їхньої експлуатації [2, 3].

Моторні оливи – це діелектрики, представлені у вигляді багатокомпонентних дисперсних систем, дисперсійним середовищем яких є базова олива, а дисперсною фазою пакет присадок, який поліпшує експлуатаційні властивості олив [4, 5].

При розгляді базової оливи, слід зазначити, що сьогодні широко розповсюджені мінеральні базові оливи, яку одержують при переробці нафти під вакуумом. Вони являють собою рідкі суміші вуглеводнів з

температурою кипіння 300-600⁰С, до складу яких звичайно входять не менш ніж вісім-десять основних компонентів [1].

Діелектричні властивості базових олив легко пояснити з погляду електрокінетичної теорії, що розкриває механізм поведінки полярних і неполярних молекул оливи під впливом зовнішнього електричного поля. Більшість молекул базових олив нафтового походження складаються з однакових атомів, зв'язаних ковалентним зв'язком з рівномірним розподілом зарядів, що є неполярним зв'язком.

Полярність зв'язку або речовини характеризується дипольним моментом [5, 6]. Численні експериментальні дані та літературні джерела [5] свідчать про те, що при використанні моторної оливи при експлуатації автомобільного транспорту відбувається зростання величини її діелектричної проникності.

Дослідження в експлуатаційних умовах проводилися на базі ТОВ «Експрес», де під спостереження були взяті автобуси «Богдан»-А091. Відповідно до рекомендацій керівництва з експлуатації автобусів у двигунах автобусів «Богдан»-А091 експлуатувалася мінеральна всесезонна олива ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4).

Зміна оливи, що експлуатувалися, здійснювалася при строку експлуатації автобусів, рівному 10 тис. км. Проби оливи із двигунів досліджуваних автобусів відбиралися з інтервалом 5-6 тис. км (здійснення ТО-1). У відібраних пробах оливи поряд з показниками якості визначали величину збільшення відносної діелектричної проникності $\Delta\epsilon$.

Проведені дослідження показали, що при рекомендованому керівництвом з експлуатації строку заміни моторних оливи, що дорівнює 10 тис. км відповідно наведені вище показники якості оливи при штатному режимі експлуатації автобусів практично не змінювалися щодо первісних значень, що свідчить про великий вихідний потенціал фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей оливи.

Що стосується величини збільшення відносної діелектричної проникності $\Delta\epsilon$, то для проб оливи, відібраних із двигунів автобусів «Богдан»-А091 при строку експлуатації 10 тис. км, то вона перебувала в межах 0,05-0,15, а при строку експлуатації 16 тис. км у межах 0,22-0,30.

На рис. 1 наведена залежність параметра $\Delta\epsilon$ оливи від строку експлуатації автобусів «Богдан»-А091.

Тільки при експлуатації автобуса «Богдан»-А091 №1, олива відібрана з його двигуна, втрачає свою працездатність у зв'язку з тим, що величина параметра $\Delta\epsilon$ відповідно цьому строку експлуатації становить 0,3.

Автобус №1, що експлуатується з доливками оливи в систему змащення двигуна у кількості 20% об'єму системи змащення, в кожній відібраній пробі характеризується досить високими значеннями параметра $\Delta\epsilon$ оливи у порівнянні із пробами оливи, відібраних із двигунів інших автобусів. Це обумовлює втрату працездатності моторної оливи при строку експлуатації автобуса, рівного 17 тис. км.

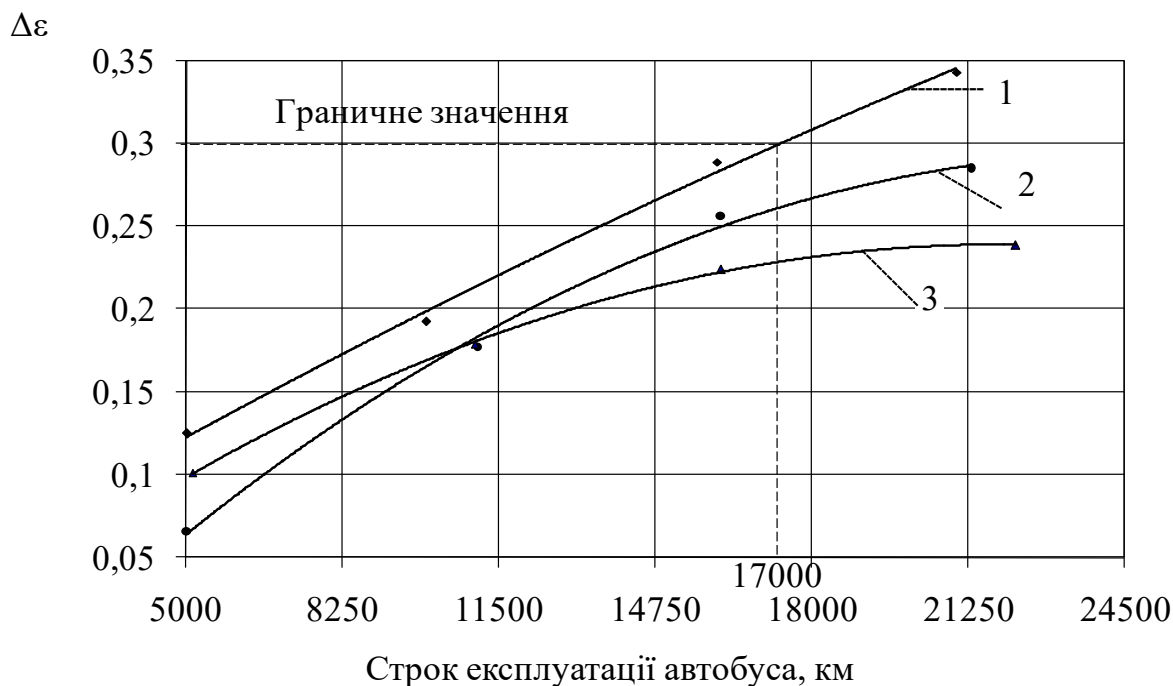


Рисунок 1 – Залежність параметра $\Delta\epsilon$ оливи від строку експлуатації автобусів «Богдан»-А091

Що стосується проб олив, відібраних із двигунів автобусів №2 і №3, то оливи працездатні та придатні до експлуатації. В одних випадках це можна пояснити оптимальними умовами експлуатації автобусів, в інших – частими доливками оливи замість вчаділої й тієї, що витекла із системи змащення двигуна.

Література

1. Полянський С.К. Експлуатаційні матеріали. Підручник. К.: Либідь, 2003. 448 с.
2. Венцель Є.С., Жалкін С.Г., Данько М.І. Поліпшення якості та підвищення термінів служби нафтових олій. Харків: УкрДАЖТ, 2003. 168с.
3. Антропов Б.С. Діагностування технічного стану дизеля. Трактори й сільськогосподарські машини. 2006. № 11. С. 48-49. ISSN 0235-8573.
4. Бабенко А.О. Діагностика зношування й довговічності деталей машин по електропровідності мастила: дис. канд. техн. наук: 05.02.02 / Харківський залізничний інститут, Харків, 2002. 149с.
5. Григоров А.Б., Наглюк І.С., Карножицький П.В. Бракувальні показники моторних олив і діелектрична проникність. Транспорт, екологія – стійкий розвиток: праці XIV міжнародної науч.-тех. конф., 8-10 травня 2008р. Варна: ВТУ, 2008. С. 362-369.
6. Венцель Е.С., Жалкін С.Г., Данько М.І. Поліпшення якості й підвищення термінів служби нафтових олив. Харків: Укрдажт, 2003. 168с.

Науковий консультант: Наглюк Михайло Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Під час сервісного обслуговування автомобілів застосовуються наступні інформаційні технології [1-5].

Аналітичні системи OLAP (On-Line Analytical Processing) призначені для аналізу великих об'ємів інформації в інтерактивному створенні інтелектуального капіталу (аналітичних даних), що дозволяє керівникові прийняти обґрунтоване рішення.

База інформаційна (Informative base), що включає весь комплекс статистичних показників, які характеризують господарську діяльність організації в цілому і її підрозділів, а також, фактологічний матеріал про всі фактори, які впливають на стан і тенденції розвитку організації.

База технічна (Technical base) містить регульовальні дані по автомобілях. У базах є тисячі різних параметрів, нормативів і т. п. Пам'ятати ці цифри навіть по одній марці, що обслуговується неможливо, але неможливо також займатися ремонтом і (або) діагностикою, не маючи їх під рукою.

База Autodata (Autodata base), як мультиінформаційна та мультимарочна система для автосервісів, яка включає повну інформацію по автомобілю та його агрегатах, інтервали ремонту зі списками робіт, змащувальні матеріали та їх об'єми, схеми електрообладнання, робочі схеми.

База ATSG (Automatic Transmission Service Group) – база, що містить інформацію від фірми Automatic Transmission Service Group з ремонту та обслуговування автоматичних коробок передач, велику кількість ілюстрацій, послідовності розбирання й складання вузлів і агрегатів, дані з ідентифікації автоматичних трансмісій всіх основних виробників і багато різної загальнотехнічної і навчальної інформації.

База ELSA - інформаційна база і збірник інструкцій з ремонту автомобілів Audi з описом технології ремонту й обслуговування автомобіля, електричними схемами, кузовними роботами, нормами часу на виконувани роботи і т. д.

Вітрини даних (рівень архітектури інформаційних сховищ – level of architecture of informative depositories) - невеликі сховища із спрощеною архітектурою, призначені для зберігання частини даних інформаційного сховища з метою зняття навантаження з основного інформаційного сховища. В основному вітрини містять відповіді на конкретну низку запитань, наприклад, дані АРМ співробітників організації. Інформація в різних вітринах може дублюватися.

Гібридні системи оперативної аналітичної обробки даних HOLAP (Hybrid OLAP). В цих системах вихідні дані залишаються в реляційній базі, а агрегатні дані зберігаються в багатовимірній базі даних (MDD).

Графічний акселератор (Graphic accelerator) - програмно-апаратний засіб прискорення графічних операцій: перенесення блока даних, зафарбовування

об'єкта, підтримки апаратного курсора. Відбувається розвиток техніки мікросхем з метою збільшення продуктивності електронних пристроїв і мінімізації їх геометричних розмірів. Мікросхеми, що виконують функції компонентів звукової плати, об'єднуються на одній мікросхемі розміром із сірникову коробку. І межі цьому немає.

Дворівнева архітектура інформаційного сховища (Two-tier architecture of informative depository) забезпечує ретроспективні запити (запити даних за минулі роки), аналіз тенденцій, підтримку ухвалення стратегічних рішень. Вони орієнтовані на оперативні бази організації і зовнішні джерела, доступні по інтернету.

Діагностика технічна (technical diagnostics) зглядає будь-який об'єкт як потенційне джерело несправностей (відмов), які повинні бути виявлені і локалізовані.

Засіб групового планування (Group Shedules) забезпечує планування зустрічей, зборів, подій для користувачів, груп і ресурсів. Дозволяє змінити розклад персональних календарів інших співробітників. Керівник може проглянути на екрані календарі декількох співробітників, що обслуговуються різними поштовими відділеннями, із збереженням конфіденційності і внести до них зміни.

Запити інтелектуальні (Intellectual queries) - запити, які здійснюють пошук за умовою або алгоритмом обчислення відповіді.

Інтелектуальні ділові технології (Business Intelligence Services (BIS)) перетворюють інформацію з внутрішніх і зовнішніх баз в інтелектуальний капітал (аналітичні дані). Головними завданнями систем інтелектуального вибору даних є пошук функціональних і логічних закономірностей в накопичених даних для підказки обґрунтованих управлінських рішень. Вони ґрунтуються на використанні технологій інформаційного сховища і алгоритмів автоматизації ділових процесів.

Інтерфейси програм (Program interfaces) або клієнтські інтерфейси дозволяють виконувати різні програми, що знаходяться на сервері. Інформація (Information) - цілеспрямоване повідомлення про зміну будь-якого фізичного параметра. Програми технічного обслуговування (Programs of technical service) надають сервіс для експлуатації комп'ютера, виявлення помилок при збоях, відновлення зіпсованих програм і даних.

Програмне забезпечення спеціалізованого обладнання (Specialized equipment software) - програмне забезпечення сканерів, мотор-тестерів, ПЗ для роботи з газоаналізаторами і димомірами, ПЗ для чіп-тюнінгу, ПЗ для вимірювальних систем кузовного ремонту і т. п.

Система технічного обслуговування і ремонту (System of technical service and repair) - сукупність взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту, а також виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості виробів, що входять в цю систему. Метою даної системи технічного обслуговування є забезпечення відповідності стану автотранспортних засобів населення встановленим вимогам і підвищення ефективності їх використання власниками.

Система управління базами даних – Access реалізовує технології структуризації інформації за допомогою гіпертекстової технології. Вона працює з таблицями так, як і Excel, але при цьому дані можуть бути пов'язані між собою перехресними гіпер-текстовими посиланнями, що дозволяє виконувати різні запити.

Система електронна (Electronic system) - сукупність електронних пристроїв, пов'язаних загальною функцією в робочому процесі агрегату чи машини.

Система електронного документообігу (Electronic document system) забезпечує управління документами і діловими операціями. Тим самим реалізовується розділення робіт між співробітниками, виконавська система на рівні кожного співробітника.

Системи HSM (Hierarchical Storage Management) і DM (Data Migration) HSM реалізовує технології ієрархічного сховища, Data Migration – міграції даних. HSM-система створює наче «продовження» дискового простору файлового сервера на вторинних пристроях (бібліотеках-автоматах).

Системи оперативної аналітичної обробки реляційних баз даних ROLAP (Relational OLAP). В цих системах вихідні дані залишаються в реляційній базі, агрегатні дані розміщуються в кеш тієї ж бази.

Системи оперативної аналітичної обробки багатовимірних баз даних MOLAP (Multidimensional OLAP). В цих системах вихідні і агрегатні дані зберігаються в багатовимірній базі даних.

Системи Group Ware і Workflow направлені на автоматизацію і підтримку колективної роботи на підприємстві.

Система GroupWare забезпечує роботу невеликих колективів за допомогою електронної пошти, бази гіпертекстових документів і системи групової роботи (колективного органайзера).

Система Workflow автоматизує управління корпорацією, підтримуючи розділення робіт по ділових операціях (бізнес-процесах) і маршрутизацію робіт, і гіпертекстових документів в мережі виконавців. Відмітимо, що системи Workflow, використовуються в системах електронного документообігу, забезпечують маршрутизацію документів.

Системи ведення електронних архівів EDMS (Electronic Document Management System) - це бази даних гіпертекстових документів. Документи можуть бути текстовими, графічними, відео, звуковими і іншими файлами, підготовленими в різних застосуваннях.

Таблиці діагностичні (Fault tables) - таблиці з аналізом діагностичних кодів несправностей (DTC – Diagnostic Trouble Code). Текстовий процесор – Word найбільш широко використовується, оскільки писати і оформляти тексти необхідно багатьом користувачам. Раніше подібні програми називалися текстовими редакторами, але сьогодні цей термін не відображає можливості, що надаються ними. Технічне обслуговування (ТО) (Technical service) - комплекс операцій або операція з підтримки справного стану колісного транспортного засобу (складових частин, систем колісного транспортного засобу) відповідно до інструкцій його виготовлювача.

Технічні сервісні бюлетені TSB (Technical Service Bulletins) - інструкції та рекомендації від автовиробників щодо усунення конкретних типових несправностей і з інших питань. Ці керівництва містяться практично у всіх дилерських (Ford TIS, Opel TIS, BMW TIS), а також у деяких мультимарочних базах (наприклад, в Mitchell on Demand і Alldata).

Технологічний контроль (Technological control) полягає в організації багаторівневої системи захисту програм і даних від вірусів, неправильних дій користувачів, несанкціонованого доступу.

Технології інформаційно-комп'ютерні (Informative computer technology) - область високих технологій, які відповідають за збереження, передачу, обробку, захист і відтворення інформації за допомогою комп'ютерної техніки.

Технологія клієнт-сервер (Technology is a client-server) забезпечує високошвидкісний обмін даними в рамках робочих груп корпоративної мережі для електронної пошти, електронного документообігу, автоматизації ділових процесів. Для ефективної роботи клієнт і сервер мають бути розташовані в одній логічній підмережі.

Технологія URL (Uniform Resource Locator – уніфікований покажчик на ресурс) URL – частина шлюзового інтерфейсу інтранета CGI (Common Gateway Interface). CGI – інтерфейс дозволяє інтегрувати в інтрамережу будь-яку програму. Наприклад, аби пов'язати інтрамережу з базою даних, web-сервер за допомогою CGI запускає програму, яка перетворить формат бази у формат мови гіпертекстової розмітки HTML.

Література

1. Kolisnik V. Progressive research in the modern world. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2022, pp. 538–542.

2. Things to Look for When Choosing a Car Service Garage. URL: <https://www.dowleys.co.uk/blog/5-things-to-look-for-when-choosing-a-car-servicegarage/>.

3. Distributorships Dealerships. URL: <https://www.inc.com/encyclopedia/distributorships-and-dealerships.html>.

4. Li, S.; Dragicevic, S.; Castro, F. A. Geospatial big data handling theory and methods: A review and research challenges. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2016, pp. 119–133.

5. Things to Look for When Choosing a Car Service Garage. URL: <https://www.dowleys.co.uk/blog/5-things-to-look-for-when-choosing-a-car-servicegarage/>

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ДІАГНОСТУВАННЯ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЯ

Ходова частина (шасі) автомобіля - це комплекс механізмів, що забезпечує пересування, комфорт та керованість, з'єднуючи кузов із дорогою [1-3].

Вона включає передню та задню підвіски, амортизатори, колеса та шини (рис. 1).

Ходова гасить вібрації від нерівностей покриття, гарантуючи стійкість, безпеку та плавний хід.

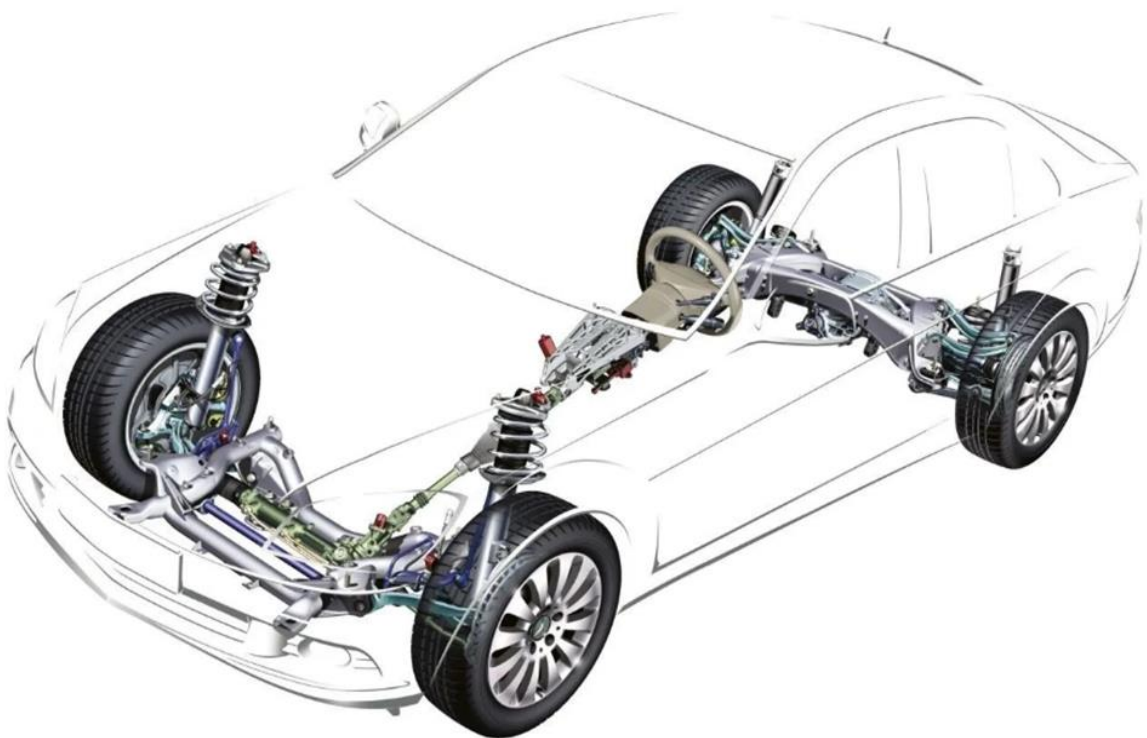


Рисунок 1 - Ходова частина автомобіля

Ознаки несправності ходової частини.

Стукіт або шум у підвісці.

Розгойдування кузова або сильна тряска.

Погіршення керованості.

Нерівномірний знос шин.

Биття передніх коліс при швидкості руху автомобіля 60...-80 км/год може бути наслідком:

- спрацювання кульових з'єднань рульових тяг і поворотних стояків, а також втулок маятникового важеля;
- порушення балансування коліс;
- підвищеного зазору в підшипниках маточин коліс.

Для усунення несправності треба оглядом перевірити стан шарнірних з'єднань рульових тяг, різко повертаючи рульове колесо праворуч і ліворуч, а також перевірити люфт у підшипниках маточин похитуванням передніх коліс у поперечному напрямі в піднятому стані. Несправні кульові з'єднання підлягають заміні, а зазори у підшипниках можна усунути, підтягнувши регулювальну гайку маточини колеса.

Порядок перевірки й регулювання підшипників такий.

Підняти домкратом колесо й надати йому обертання поштовхом руки. Треба, щоб колесо зробило 5-10 обертів. Якщо воно обертається туго, то слід установити причину несправності й усунути її. Здебільшого несправність виникає через чіплення колодок за гальмовий диск (барабан).

Зняти ковпак маточини, встановити великий палець руки на упорну шайбу та край маточини й, похитуючи колесо за верхній край у поперечному напрямі, пересвідчитися, що є зазор у підшипниках.

Вийняти шплінт із регулювальної гайки й ключем плавно закручувати гайку до зникнення люфту, водночас повертаючи колесо, щоб ролики підшипників правильно розташувалися в обоймах. Якщо отвір під шплінт не збігається з прорізом у гайці, то відкрутити гайку до збігу найближчого прорізу з отвором.

Зашплінтувати гайку, заповнити ковпак мастилом і встановити його на місце.

Після 10-15 км пробігу перевірити на дотик ступінь нагрівання маточини. Сильне нагрівання свідчить про надмірне затягування підшипників, що може призвести до швидкого руйнування їх. У цьому разі затягування регулювальної гайки треба послабити.

Порушення балансування коліс супроводжується підвищеним спрацьовуванням шин і погіршує стійкість автомобіля. Воно, як правило, є наслідком: нерівномірного спрацьовування протектора по колу; зміщення балансувальних тягарців та шин під час монтажу; деформування обода колеса й пошкодження шини.

Перевірити й збалансувати колеса можна на стенді або безпосередньо на автомобілі.

Для виконання цієї роботи на автомобілі треба трохи підняти домкратом його передню частину, послабити затягування підшипників маточини переднього колеса, розшплінтувавши й відкрутивши на два-три прорізи регулювальну гайку.

Після цього встановлювати колесо в різні положення й відпускати.

Якщо при цьому колесо не втримується в установленому положенні, а повертається в той чи інший бік і зупиняється тільки в одному положенні, значить, воно має дисбаланс.

Для балансування коліс потрібно:

- знизити тиск у шині до 0,02-0,03 МПа й зняти з обода колеса балансувальні тягарці;

- повільно повернути колесо проти годинникової стрілки й відпустити; коли воно зупиниться, нанести вертикальну мітку, що визначає верхню точку колеса;

- повернути поштовхом колесо за годинниковою стрілкою й після його зупинки також позначити верхню точку вертикальною лінією, поділити найкоротшу відстань між мітками та навпіл і нанести мітку. Це й буде найлегше місце колеса;

- установити по обидва боки мітки малі балансувальні тягарці, які своєю пружиною входять під борт покриття й утримуються на ободі;

- поштовхом повернути колесо. Якщо після зупинки його тягарці перебуватимуть у нижньому положенні, то їхня маса для балансування колеса достатня. Якщо ж тягарці опиняться у верхньому положенні, то потрібно замінити їх більш важкими і, обертаючи колесо, пересвідчитися, що, коли воно зупиняється, тягарці перебувають у нижньому положенні;

- відсовуючи тягарці на однакові відстані від мітки, слід домогтися рівноваги колеса, коли воно після поштовху рукою зупинятиметься в різних положеннях (залежно від прикладеного зусилля).

Отже, ходова частина автомобіля відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки руху, комфорту водія та пасажирів, а також стабільності транспортного засобу на дорозі.

Своєчасне технічне обслуговування та діагностика дозволяють виявляти несправності на ранніх етапах і запобігати серйозним поломкам.

Найпоширенішими ознаками несправностей ходової частини є сторонні шуми, погіршення керуваності автомобіля, нерівномірний знос шин та вібрації під час руху.

Правильна перевірка стану підшипників, балансування коліс та своєчасна заміна зношених деталей сприяють підвищенню надійності та довговічності автомобіля.

Регулярний огляд і профілактика ходової частини дозволяють підтримувати автомобіль у справному технічному стані, забезпечуючи безпечну та ефективну експлуатацію транспортного засобу.

Література

1. Автомобілі: будова, технічне обслуговування і ремонт / за ред. А.П. Баранова. – Київ: Освіта, 2019.

2. <https://garage26.km.ua/koly-potribno-remontuvaty-pidvisku-osnovni-symptomy-nespravnosti/> Основні симптоми несправності підвіски автомобіля.

3. Бажинов О.В., Смирнов С.О. Будова та експлуатація автомобіля. – Київ: Либідь, 2018.

Науковий консультант: Зибцев Юрій Васильович, ст. викладач каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ОЦІНКА ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛІВ З ДИЗЕЛЬНОЮ ПАЛИВНОЮ СИСТЕМОЮ

Вступ. Економія палива на автомобільному транспорті є критично важливою через економічні, екологічні та ресурсні чинники. Зменшення споживання пального дозволяє знизити експлуатаційні витрати власників авто, зменшити обсяг шкідливих викидів у атмосферу та раціонально використовувати вичерпні енергоресурси.

Для підприємств встановлюються базові лінійні норми витрат для контролю за раціональним використанням нафтопродуктів та ведення звітності [1]. Методики розрахунку витрати пального поділяються на нормативні (для підприємств та обліку) та фактичні (для особистого контролю). В Україні з листопада 2023 року відбулися важливі зміни в законодавстві, які змінили підхід до офіційних розрахунків [2]. Тепер підприємства мають право самостійно затверджувати норми внутрішнім наказом керівника, спираючись на методичні рекомендації або власні заміри.

Одним із способів отримати нормативні значення витрати палива – це розрахувати їх значення за формулами. У математичну модель підставляються технічні параметри конкретної моделі автомобіля та умови експлуатації.

За методикою проф. Говорущенко М.Я. норма витрати палива в л/100 км розраховується за загальною формулою:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)], \quad (1)$$

де η_i - індикаторний коефіцієнт корисної дії; A , B , C - постійні для даної марки автомобіля; i_k - середньозважене передатне число коробки змін передач; V_a - швидкість автомобіля, км/год.; G_a - вага автомобіля, Н; ψ - коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля; kF - фактор обтічності, Н·с²/м².

Проведемо розрахунок витрати палива на прикладі автомобіля КрАЗ-260 із дизельним двигуном ЯМЗ-238Л (300 к.с.).

В розрахунках нормативного значення витрати палива рекомендовано приймати швидкість автомобіля 50 км/год. В цих умовах коробка передач буде включено пряму передачу, у якої $i_k = 1$. Для вантажних автомобілів максимальна швидкість руху не перевищує 90 км/год. Тоді, коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля можливо прийняти рівним: $\psi = 0.01$.

Значення нижчої теплоти згоряння та щільності палива залежить від типу двигуна. Середнє значення для дизельного палива відповідає: $H_H = 43000$ кДж/кг; $\rho_T = 0,84$ кг/м³. Значення індикаторного ККД для середніх режимів навантаження можливо прийняті на рівні $\eta_i = 0,5$.

Розрахуємо коефіцієнти A , B і C для цього автомобіля:

$$A = \frac{381 \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k} = \frac{381 \cdot 14.86 \cdot 8.173}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.585} = 2.19; \quad (2)$$

$$B = \frac{11 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k^2} = \frac{381 \cdot 14.86 \cdot 0.14 \cdot 8.173^2}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.585^2} = 0.124; \quad (3)$$

$$C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_T \cdot \eta_{тр}} = \frac{100}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.75} = 0.0037, \quad (4)$$

У формулах (2-4) були прийняті наступні позначки: V_h - робочий об'єм двигуна (14,86), л; i_0 - передавальне число головної передачі (8,173); r_k - динамічний радіус колеса (0,585), м; S_n - хід поршня (0,14), м; H_n - нижча теплота згоряння (43000), кДж/кг; ρ_T - щільність палива (0,84), кг/м³; $\eta_{тр}$ - ККД трансмісії (0,75).

З урахуванням припущень та значень розрахунків за формулами (2-4) витрата палива автомобіля КрАЗ-260 при швидкості руху 50 км/год буде наступною:

$$Q = \frac{1}{0.5} \cdot [2.19 \cdot 1 + 0.124 \cdot 1^2 \cdot 50 + 0.0037 \cdot (106900 \cdot 0.01 + 0.077 \cdot 6.11 \cdot 50^2)] = 33.32 \text{ л/100 км.} \quad (5)$$

У формулі (5) додатково підставлені наступні параметри: вага автомобіля – 106900 Н, що відповідає маси транспортного у спорядженому стані – 10900 кг (без навантаження), фактор обтічності – 6,11 (при висоті автомобіля – 3,116 м та ширині – 2,772 м).

Результати розрахунку норми витрати палива, які були отримані за формулою (5), добре корегуються зі значеннями, що наведені у положенні [1], для автомобіля вантажного КрАЗ-260 з дизельним двигуном ЯМЗ-238ЛІ (300 к.с.).

Висновок. Наведену методику розрахунку норми витрати палива можливе використовувати для інших автомобілів з дизельними двигунами.

Література

1. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2012, 120 с..

Науковий консультант: Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПРИВЕДЕНОЇ ІНЕРЦІЙНОЇ МАСИ РОЛИКОВОГО СТЕНДУ

Для діагностування тягово-гальмівних властивостей автомобілів найбільше пристосовані роликові стенди інерційного типу [1]. Як показує багато досліджень, саме вони дають найбільш достовірну інформацію про технічний стан автомобіля [2]. Це стосується параметрів, що визначають точність моделювання на стенді реальних швидкісних та теплових режимів.

Металоемність інерційного стенду значною мірою визначається величиною приведеної маси стенду (моментом інерції). Розглянемо можливість зниження цього параметра. При дослідженні виходимо з припущення, що значення приведених інерційних мас коліс та інших частин автомобіля, що обертаються (гальмівні диски, маточини та ін.) не постійні, а варіюють в якихось межах (передусім через знос протектора). Через це зростає помилка визначення гальмівних сил на кожному колесі та стандартних показників ефективності гальмівної системи [3]: загальної питомої гальмівної сили – γ_t та коефіцієнта осьової нерівномірності – K_n .

Для обґрунтування вибору оптимальної приведеної інерційної маси пропонується критерій, який можна сформулювати в такий спосіб. Приведена інерційна маса стенда повинна бути настільки великою, щоб сумарна помилка визначення гальмівної сили, спричинена похибкою вимірювальної системи та неточним знанням стендової приведеної маси, не перевищувала величини, допустимої стандартами.

Відповідно до [3], припустима приведена похибка (далі – «похибка») визначення на стенді гальмівної сили становить $\pm 3\%$. Для інерційного стенду до неї входить похибка вимірювальної системи (вимір усталеного сповільнення) і похибка визначення приведеної маси стенда. З теорії вимірювань відомо, що для цього випадку похибка визначення гальмівної сили становить:

$$\varepsilon_p^2 = \varepsilon_j^2 + \varepsilon_m^2, \quad (1)$$

де ε_j – похибка вимірювання сповільнення (вимірювальної системи);

ε_m – похибка визначення приведеної стендової маси (сюди входять приведена маса елементів стенду, що обертаються m_{ct} , і приведена маса коліс та пов'язаних з ними обертових частин автомобіля – m_k , далі – «приведена маса коліс»).

Похибка виміру сповільнення визначається конструкцією вимірювальної

системи. Так, на стендах, згідно з результатами метрологічної атестації, вона становить близько $\pm 1\%$. З формули (1) визначимо допустиме значення ε_m :

$$\varepsilon_m = \sqrt{\varepsilon_p^2 - \varepsilon_j^2}. \quad (2)$$

Підставимо в останній вираз чисельні значення похибок:

$$\varepsilon_m = \sqrt{0,03^2 - 0,01^2} = 0,0283(\pm 2,83\%).$$

Ця похибка є відносною, тому вона може бути визначена за формулою

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m_{\text{ст}} + 2(\Delta m_{\text{к}})}{m_{\text{ст}} + 2m_{\text{к}}}, \quad (3)$$

де $\Delta m_{\text{ст}}$ – абсолютні значення похибок вимірювання наведених мас стенду $\Delta m_{\text{к}}$ і коліс відповідно, кг;

$m_{\text{ст}}, m_{\text{к}}$ – дійсні значення приведених мас стенду і коліс відповідно, кг.

Вимірювання приведеної інерційної маси стенду зводиться до визначення сумарного моменту інерції роликів, маховиків та інших деталей, приведенного до радіусу роликів.

Потім $m_{\text{ст}}$ обчислюється за формулою (6). Вимірювання моменту інерції стенду та радіусу роликів виконується відомими методами з високою точністю [4].

Слід зазначити, що в процесі роботи деталі стенду, зокрема робочі ролики зношуються по поверхні кочення.

Тому згодом значення $m_{\text{ст}}$ знижується. Цю зміну можна визначати під час проведення періодичних перевірок. Враховуючи вищевикладене, помилка $\Delta m_{\text{ст}}$ є систематичною, тому з формули (3) її можна виключити. Тоді запропонований критерій вибору приведеної інерційної маси стенду можна записати так

$$\frac{\Delta m_{\text{к}}}{0,5m_{\text{ст}} + m_{\text{к}}} \leq (\varepsilon_m = 0,0283). \quad (4)$$

Це викликає необхідність аналітично досліджувати можливу варіацію приведеної маси колеса в залежності від зношування протектора та варіації характеристик шини (хоча б у межах стандартних допусків на виготовлення шини).

При цьому використовуємо елементи теорії стендових випробувань гальм

і вимоги до стану гальмівних систем, що діють. На ділянці гальмування, що встановилося, значення сповільнення визначається виразом

$$j_{уст} = \frac{P_{Гi}}{0,5m_{ст} + m_k}, \quad (5)$$

де $P_{Гi}$ – значення гальмівної сили на колесі, Н.

Приведені інерційні маси колеса та стенду обчислюються за формулами

$$m_k = I_k/r_k^2; \quad m_{ст} = I_{ст}/r_p^2, \quad (6)$$

де I_k – приведений до осі колеса момент інерції колеса, шини та інших пов'язаних з колесом частин автомобіля, що обертаються, кг·м²;

r_k – радіус кочення шини по ролику, м;

$I_{ст}$ – приведений до осі ролика сумарний момент інерції роликів та інших частин стенду, що обертаються, кг·м²;

r_p – радіус ролика, м.

Момент інерції колеса складається з наступних складових: $I_{об}$, $I_{ш}$, $I_{м}$, $I_{Г}$, $I_{тр}$ – відповідно моменти інерції ободу, шини, маточини, гальмівного барабана або диска, трансмісії (для провідних коліс).

На інерційному стенді вимірюється лінійне усталене сповільнення у контакті колеса з роликом – $j_{уст}$. Потім визначається значення гальмівних сил по кожному колесу за формулою (5).

Після цього, відповідно до вимог [3], визначаються фактичні значення загальної питомої гальмівної сили γ_t та коефіцієнта осьової нерівномірності K_H .

Вочевидь, що у визначенні гальмівної сили на колесі до похибки виміру сповільнення додається помилка, викликана неточним знанням приведених інерційних мас (насамперед – приведеної маси колеса).

При контролі гальм приведену масу коліс не вимірюють. Зазвичай її визначають розрахунком за формулою (6).

Однак даних щодо моментів інерції та радіусів кочення шин по роликах майже немає.

Умовимося, у першому наближенні, приймати радіус кочення шини рівним її статичному радіусу, тобто. $r_k = r_{ст}$.

Складніше питання з моментом інерції. Цей показник не передбачений стандартом на технічну характеристику автомобіля та шин. Тому він не публікується в літературі, а часто навіть не визначається.

Вимірюють його при спеціальних дослідженнях і тому дані про момент

інерції коліс випадкові, уривчасті і не охоплюють всіх шин, що експлуатуються.

Приведена маса колеса автомобіля визначається за такою формулою

$$m_k = (I_{об} + I_{ш} + I_m + I_r + I_{тр})/r_k^2. \quad (7)$$

Вона може варіювати під впливом різних чинників і визначається величиною моменту інерції шини та її радіусом кочення.

Очевидно, що ці дві величини істотно залежать від початкових характеристик покриття (моменту інерції і номінального діаметра, обумовлених якістю її виготовлення) і від ступеня зношування протектора.

За стандартом допустимі відхилення номінального діаметра та статичного радіусу шини становлять $\pm 1\%$. Дані щодо варіації номінального моменту інерції шин відсутні. Можна оцінити цю варіацію аналітично.

Момент інерції циліндричного тіла визначається за формулою

$$I = \frac{m \cdot R^2}{2} = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H \cdot \frac{R^2}{2}, \quad (8)$$

де m – маса циліндра, кг;

R – радіус основи, м;

ρ – густина матеріалу, кг/м^3 ;

H – висота циліндра, м.

Звідси видно, що момент інерції циліндричного тіла прямо пропорційний 4-му ступеню радіуса. Отже, можна припустити, що при допуску радіусу шини $\pm 1\%$ варіація моменту інерції становитиме $\pm 4\%$.

Результати розрахунків варіації моменту інерції коліс в залежності від зношування протектора показують, що момент інерції колеса істотно залежить від ступеня зношування протектора.

Як показали проведені розрахунки варіації моменту інерції колеса, пов'язаної зі зносом протектора та зносом металевих деталей гальмівних механізмів (барабана або диска), момент інерції шару, що зношується, становить близько 30% від загального моменту інерції колеса.

Якщо як номінальне значення приведеної маси колеса m_k прийняти середнє між значеннями m_k для нового і повністю зношеного колеса, тобто 0,85 значення для нового колеса, то формула (4) набуде вигляду

$$\frac{0,15m_k}{0,5m_{ст} + 0,85m_k} \leq 0,0283 \text{ або } m_{ст} \geq 8,901m_k. \quad (9)$$

Отримане співвідношення приведеної інерційної маси стенда в залежності від інерційної маси колеса автомобіля може бути використано при проектуванні інерційних роликів стендів.

Література

1. Говорущенко М.Я., Волков В.П., Рабінович Е.Х., Мармут І.А., Зуєв В.О. (2009). Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання): монографія. Харків: ХНАДУ, 344 с.
2. Мармут І.А. (2018). Математичні моделі стендової діагностики гальмівних систем автомобілів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. Луцьк, 2(11), 90-96.
3. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. ДСТУ 3649:2010. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, Держспоживстандарт України, 2011. 28 с. (Національні стандарти України).
4. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. (1999). Загальний курс фізики: Т.1.: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ: Техніка, 269 с.

Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Рудінчук Михайло ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ

Курсова стійкість автомобіля є одним з найбільш важливих показників, що визначають безпеку руху. Аналіз статистики дорожньо-транспортних пригод [1] показав, що значна їх частина відбувається внаслідок втрати автомобілем курсової стійкості.

Існуючий метод оцінки курсової стійкості автомобіля не дозволяє проводити аналіз на стадії проектування впливу положення центру мас, розподілу гальмівних сил між осями автомобіля на показники курсової його стійкості. Крім того, в джерелах відсутні рекомендації щодо розрахунку на стадії проектування величини радіуса інерції автомобіля відносно вертикальної осі, що має найбільший вплив на показники курсової стійкості [2, 3], отриманої на підставі аналізу на стійкість диференціальних рівнянь руху

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot L}{\frac{R_{z1}}{K_{y\phi1}} - \frac{R_{z2}}{K_{y\phi2}}}}, \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g=9,81$ м/с²;

L – колісна база автомобіля;

R_{z1}, R_{z2} – вертикальні реакції на колесах передньої та задньої осей відповідно;

$K_{y\phi1}, K_{y\phi2}$ – коефіцієнт відведення передньої та задньої осей.

Важливим результатом проведених теоретичних і експериментальних досліджень стало визначення впливу черговості блокування коліс на стійкість, керованість і ефективність гальмування [4, 5].

Показано, що при випереджаючому блокуванні задніх коліс рух автомобіля нестійкий, а при випереджаючому блокуванні передніх – автомобіль зберігає прямолінійність траєкторії свого руху, але втрачає керованість. При одночасному блокуванні коліс рух менш стійкий, ніж у випадку випереджаючого блокування передніх коліс, але занос розвивається менш інтенсивно в порівнянні з випадком випереджаючого блокування задніх коліс [4, 5].

В теперішній час, для збереження курсової стійкості, є використання на автомобілях таких комплексних автоматичних систем активної безпеки як антиблокувальна система гальмування (ABS), підсилювач екстреного гальмування, система контролю тягового зусилля (TRC), електрона система розподілу гальмового зусилля (EBD), система курсової стійкості (VSC), система контролю тиску в шинах (TPWS), гальмівна система з електронним управлінням (ECB), електричний підсилювач рульового управління (EPS)), інтегрована система управління динамічними характеристиками автомобіля (VDIM) [6].

Отримати одночасне блокування передніх і задніх коліс можна в разі забезпечення коефіцієнта ідеального розподілу гальмівної сили на передню вісь відповідно до залежності [8]

$$\beta_{ud} = \frac{b + \varphi \cdot h}{L}. \quad (1)$$

У роботі [5] на фізичній моделі автомобіля експериментально встановлено, що наближення центру мас до задньої осі підвищує його стійкість проти бічного заносу. Зменшення колії автомобіля при тому ж значенні подовжньої бази дещо знижує бічну стійкість.

Для випадку руху на повороті збільшення радіуса інерції i_z призводить до поліпшення бічної стійкості задньої осі.

Відзначається також, що при зміні $\frac{a}{b}$ від 0,8 до 1,5 відбувається зменшення гальмівного шляху, що пояснюється близьким розташуванням центру мас до задньої осі і підвищенням стійкості руху.

На підставі проведених досліджень рекомендується співвідношення $\frac{a}{b} = 1,5 - 1,8$, зниження висоти центру мас автомобіля і зменшення співвідношення колії до бази.

Гальмовою системою автомобіля називається сукупність пристроїв, призначених для здійснення гальмування.

У свою чергу, сукупність гальмових систем доцільно назвати гальмовим управлінням.

Повна структурна схема гальмового управління сучасного автомобіля показана на рис. 1 [4].

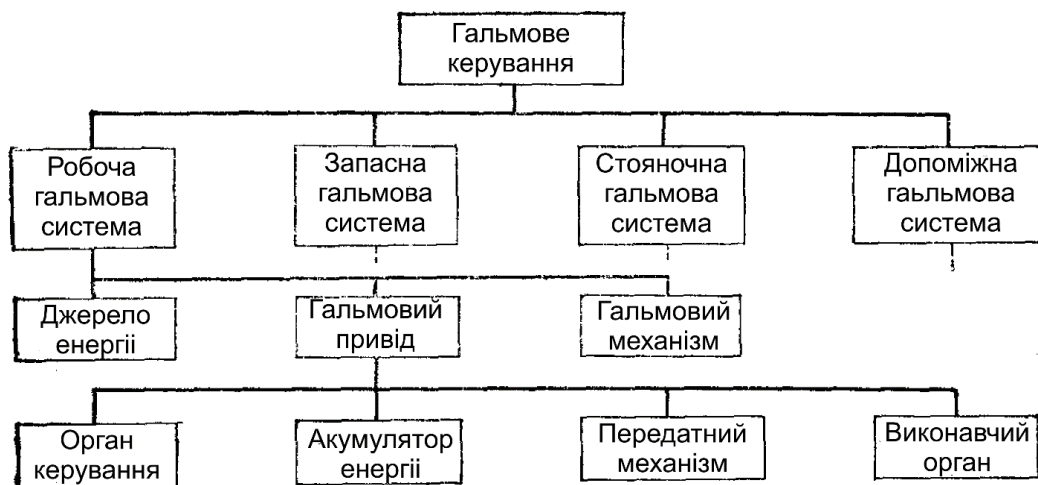


Рисунок 1 - Структурна схема гальмової системи автомобіля

При проектуванні нових автомобілів виконання нормативів ефективності гальмування запасною гальмівною системою можна забезпечити при раціональному виборі схеми поділу контурів гальмівного приводу.

Рекомендації щодо вибору раціональної схеми поділу контурів, що забезпечує виконання нормативних вимог щодо ефективності гальмування, запропоновані в роботі [7].

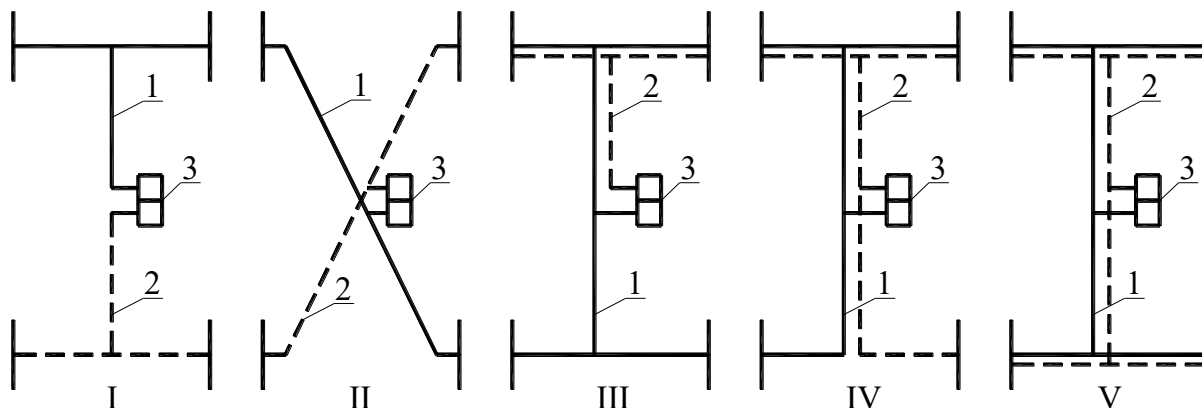
Поділ гальмівного приводу легкових автомобілів на два незалежні контури є обов'язковою вимогою безпеки.

Сьогодні відомі п'ять основних схем поділу контурів гальмівного приводу (рис. 2).

Схема I знайшла переважне застосування на легкових автомобілях 2 класу класичної та задньомоторної компоновок.

Діагональна схема II - на передньопривідних автомобілях. Схема III - на повнопривідних легкових автомобілях.

Схеми IV та V застосовуються на легкових автомобілях 4-5 класу.



1 – перший контур; 2 – другий контур;
3 – головний гальмівний циліндр (кран керування)

Рисунок 2 - Основні схеми поділу контурів гальмівного приводу легкових автомобілях

Вибір схеми поділу контурів визначається положенням центру мас автомобіля та нормативами ефективності гальмування запасною гальмівною системою.

Вага, що припадає на гальмівні колеса, повинна забезпечувати реалізацію загальної гальмівної сили, що створює уповільнення $j_{уст}$ не нижче нормативної величини $[j_{уст}]$.

Аналіз схем показує, що для легкових автомобілів передньопривідного компоновання застосування схеми I неможливо, оскільки з 1983 гальмування заднім контуром не забезпечує необхідної ефективності гальмування.

Діагональна схема поділу контурів (схема II) може ефективно використовуватися для автомобілів зазначеного компоновання до 2028 року.

Схема III на передньопривідних автомобілях буде ефективна до 2126, схеми IV і V мають високий ресурс (по відношенню до морального зносу) для всіх компоновок легкових автомобілів.

На автомобілях класичного компоновання з 2002 року не можна застосовувати осьову схему поділу контурів (схему I). А схеми II та III можна застосовувати до 2028 року та 2069 року відповідно.

На автомобілях задньомоторного компоновання застосування схем I, II та III можливе до 2024, 2028, 2035 років відповідно.

Таким чином, найбільш перспективним для застосування на проєктованих легкових автомобілях є схеми IV і V.

При застосуванні на повнопривідних автомобілів схем I і III можна підвищити ефективність гальмування запасною гальмівною системою, застосовуючи блокування міжосьового диференціала.

Для передньопривідних автомобілів можливе застосування на передній осі блокування міжколісного диференціала, що дозволяє отримати ефективність гальмування запасною гальмівною системою, рівну ефективності гальмування при використанні схеми IV.

Блокування диференціала заднього моста автомобіля класичної та задньомоторної компоновок дозволяє отримати рівну ефективність гальмування запасною гальмівною системою при схемах IV і V.

Проведений аналіз показав, що найбільш перспективними схемами є схеми з повним дублюванням приводу на всі колеса та з повним дублюванням приводу на передні колеса з включенням до кожного контуру одного з задніх коліс.

Застосування зазначених схем дозволить на тривалий період забезпечити виконання нормативних вимог, як щодо ефективності аварійного гальмування, так і за стійкістю легкових автомобілів.

Література

1. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навч. посібник / В.П. Волков. Харків: ХНАДУ, 2003. 292 с. 2. Питання динаміки

гальмування і теорії робочих процесів гальмових систем автомобілів / Б.Б. Генбом, Г.С. Гудз, В.А. Дем'янюк і ін. Львів: Вища школа, 1974. 234 с. 3. Гредескул А.Б. Дослідження процесу блокування автомобільного колеса, що гальмується: Научне сполучення №19. Харків, Вид-во ХДУ, 1963. 28 с. 4. Единообразні приписи, що торкаються офіційного затвердження транспортних засобів в відношенні гальмування. Правила ЄЕК ООН №13: Вид-во ООН, 1973. 41 с. 5. Забезпечення стабільності гальмових властивостей автотransпортних засобів / В.П. Волков. Харків: Вид-во ХНАДУ, 2003. 306 с. 6. Ретроспективний аналіз вимог, подань до ефективності гальмування / В.П. Волков // Автошляховик України. (К.: 2002. №2 (168)). 7. Оцінка перспективи використання різних схем розподілу контурів гальмового приводу легкових автомобілів / В.П. Волков, В.М. Єфимчук // Вісник НТУ «ХП». Харків: НТУ «ХП». 2002. №10. с.109-116.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сазонов Ренат Владиславович, ст. гр. А-46-22, Ісаєв Станіслав Юрійович, А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Вступ. Використання альтернативних джерел енергії (АДЕ) в Україні перейшло від концептуальних планів до етапу форсованого впровадження. За прогнозами на 2026 рік, відновлювана енергетика стає ключовим інструментом енергетичної незалежності та децентралізації енергосистеми. Основні напрями розвитку є сонячна енергетика (СЕС), вітроенергетика (ВЕС), біоенергетика та геотермальна енергія [1].

Перехід на альтернативні джерела енергії на автомобільному транспорті обумовлено зростанням екологічних стандартів та економічною вигодою. Основними векторами розвитку є електрифікація, використання біопалива та водневі технології.

Найпопулярніший варіант в Україні є застосування газу у якості палива. Пропан-бутан або метан дешевші за бензин зазвичай у 1,5–2 рази. Навіть з урахуванням того, що витрата газу на 10–15 % більша, загальна економія на кожному кілометрі залишається суттєвою. Окупність установки залежить від пробігу (зазвичай 10–15 тис. км). Газ має високе октанове число (близько 105–110), що виключає детонацію та забезпечує м'якшу роботу двигуна. На відміну від бензину, газ не змиває масляну плівку зі стінок циліндрів і не розріджує мастило в картері, що подовжує термін його служби та зменшує знос деталей. Газ не містить домішок сірки, тому на свічках запалювання та поршнях майже не утворюється нагар. Газове паливо значно екологічніше. Витрати вуглекислого газу та оксидів азоту нижчі, а викиди твердих частинок (сажі), характерні для дизеля, практично відсутні. Наявність двох паливних систем (газ

+ бензин) дозволяє проїхати значно більшу відстань без дозаправки. Хоча потужність може незначно знизитися (до 10–15%), набір швидкості на газу відбувається плавніше, без різких ривків.

Відносно газу та бензину, електромобілі пропонують принципово інший рівень ефективності та комфорту. Вартість 100 км пробігу на домашній зарядці (особливо з сонячними панелями) залишається найнижчою на ринку. Навіть за високих тарифів на електроенергію, зарядка авто вдома обходиться в 3–5 разів дешевше, ніж заправка газом, і в 10 разів дешевше за бензин. Електромобіль видає максимальну потужність одразу після натискання педалі, що забезпечує вражаюче прискорення без затримок. В електромобілі немає коробки передач (у звичному розумінні), паливної системи, системи охолодження ДВЗ, свічок, фільтрів та ременів ГРМ. Завдяки системі рекуперації гальмівні колодки та диски зношуються в кілька разів повільніше. У електромобілів повністю відсутній вихлоп. У багатьох країнах та містах для електрокарів передбачені безкоштовні паркувальні місця та дозвіл на рух смугами громадського транспорту.

Відносно традиційного бензину та дизелю, біоетанол (спиртове пальне) є цікавою альтернативою, яка поєднує екологічність та технічні переваги для двигуна. З 1 травня 2025 року в Україні обов'язковим є вміст не менше 5 % біоетанолу в бензинах (крім 98+ октану). За продаж пального без біоетанолу санкції починають діяти з 1 січня 2026 року. Біопаливо дозволяє знизити викиди без радикальної зміни конструкції двигунів внутрішнього згоряння. Октанове число чистого етанолу становить близько 105–108. Це дозволяє двигуну працювати з більшим ступенем стиснення, що підвищує його ефективність та фактичну потужність. Спирт є чудовим розчинником. Він поступово очищає паливну систему, форсунки та клапани від паливних відкладень і нагару. При згорянні етанолу майже не утворюється твердих частинок. Вихлоп містить значно менше оксидів азоту, сірки та ароматичних вуглеводнів, ніж бензиновий.

Паливні елементи (переважно водневі) вважаються компромісом між електромобілями та традиційними двигунами, оскільки поєднують екологічність перших зі швидкістю заправки других. Для великих вантажівок або автобусів паливні елементи значно вигідніші за акумулятори, оскільки воднева система набагато легша. Паливні елементи не втрачають ємності з часом так, як це роблять літій-іонні батареї після сотень циклів зарядки-розрядки. У результаті хімічної реакції між воднем та киснем утворюється електроенергія, а єдиним побічним продуктом є чиста водяна пара. В Україні розробляється «Дорожня карта» використання водню в дорожньому транспорті, але мережа заправок поки залишається обмеженою.

Гібридні автомобілі (HEV) поєднують у собі найкраще від світу ДВЗ та електрокарів. У 2026 році майже кожен шостий новий автомобіль у світі є гібридом, оскільки вони виступають компромісним рішенням - економніші за ДВЗ і не залежать від зарядної мережі так сильно, як чисті електрокари. Гібриди найефективніші в пробках. Електродвигун бере на себе роботу при старті та низьких швидкостях, що дозволяє економити 20-50 % пального

порівняно зі звичайними авто. Завдяки допомозі електромотора бензиновий агрегат працює в оптимальних режимах без надмірних навантажень.

Висновок. Використання альтернативних джерел енергії на автомобільному транспорті дозволяє знизити енергетичну залежність держави від зовнішніх ресурсів та забезпечити рівень екологічних стандартів, які мають мету зменшити негативний вплив автомобіля на навколишнє середовище.

Література

1. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підруч. / [Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П., Скрипник О. В., Саченко А.І.]; за редакцією доктора технічних наук, професора Клименка В. В. М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем, 2023. – 268 с.

Науковий консультант: Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Сахаров Павло, ст. гр. А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Sakharov@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ VOLKSWAGEN

У сучасному світі автомобілі стали необхідністю для багатьох людей, а отже, зростає і потреба в сервісних центрах, які забезпечують їх обслуговування. Під час сервісного обслуговування легкових автомобілів застосовуються сучасні інформаційні технології [1-6].

Аналітичні системи OLAP (On-Line Analytical Processing) призначені для аналізу великих об'ємів інформації в інтерактивному створенні інтелектуального капіталу (аналітичних даних), що дозволяє керівникові прийняти обґрунтоване рішення.

База інформаційна (Informative base), що включає весь комплекс статистичних показників, які характеризують господарську діяльність організації в цілому і її підрозділів, а також, фактологічний матеріал про всі фактори, які впливають на стан і тенденції розвитку організації.

База технічна (Technical base) містить регульовальні дані по автомобілях. У базах є тисячі різних параметрів, нормативів і т. п. Пам'ятати ці цифри навіть по одній марці, що обслуговується неможливо, але неможливо також займатися ремонтом і (або) діагностикою, не маючи їх під рукою.

База Autodata (Autodata base), як мультиінформаційна та мультимарочна система для автосервісів, яка включає повну інформацію по автомобілю та його агрегатах, інтервали ремонту зі списками робіт, змащувальні матеріали та їх об'єми, схеми електрообладнання, робочі схеми.

База ATSG (Automatic Transmission Service Group) – база, що містить інформацію від фірми Automatic Transmission Service Group з ремонту та обслуговування автоматичних коробок передач, велику кількість ілюстрацій, послідовності розбирання й складання вузлів і агрегатів, дані з ідентифікації автоматичних трансмісій всіх основних виробників і багато різної загальнотехнічної і навчальної інформації.

База ELSA - інформаційна база і збірник інструкцій з ремонту автомобілів Audi з описом технології ремонту й обслуговування автомобіля, електричними схемами, кузовними роботами, нормами часу на виконувани роботи і т. д.

Вітрини даних (рівень архітектури інформаційних сховищ – level of architecture of informative depositories) - невеликі сховища із спрощеною архітектурою, призначені для зберігання частини даних інформаційного сховища з метою зняття навантаження з основного інформаційного сховища. В основному вітрини містять відповіді на конкретну низку запитань, наприклад, дані АРМ співробітників організації. Інформація в різних вітринах може дублюватися.

Гібридні системи оперативної аналітичної обробки даних HOLAP (Hybrid OLAP). В цих системах вихідні дані залишаються в реляційній базі, а агрегатні дані зберігаються в багатовимірній базі даних (MDD).

Графічний акселератор (Graphic accelerator) - програмно-апаратний засіб прискорення графічних операцій: перенесення блока даних, зафарбовування об'єкта, підтримки апаратного курсора. Відбувається розвиток техніки мікросхем з метою збільшення продуктивності електронних пристроїв і мінімізації їх геометричних розмірів. Мікросхеми, що виконують функції компонентів звукової плати, об'єднуються на одній мікросхемі розміром із сірникову коробку. І межі цьому немає.

Дворівнева архітектура інформаційного сховища (Two-tier architecture of informative depository) забезпечує ретроспективні запити (запити даних за минулі роки), аналіз тенденцій, підтримку ухвалення стратегічних рішень. Вони орієнтовані на оперативні бази організації і зовнішні джерела, доступні по інтернету.

Діагностика технічна (technical diagnostics) зглядає будь-який об'єкт як потенційне джерело несправностей (відмов), які повинні бути виявлені і локалізовані.

Засіб групового планування (Group Shedules) забезпечує планування зустрічей, зборів, подій для користувачів, груп і ресурсів. Дозволяє змінити розклад персональних календарів інших співробітників. Керівник може проглянути на екрані календарі декількох співробітників, що обслуговуються різними поштовими відділеннями, із збереженням конфіденційності і внести до них зміни.

Запити інтелектуальні (Intellectual queries) - запити, які здійснюють пошук за умовою або алгоритмом обчислення відповіді.

Інтелектуальні ділові технології (Business Intelligence Services (BIS)) перетворюють інформацію з внутрішніх і зовнішніх баз в інтелектуальний капітал (аналітичні дані). Головними завданнями систем інтелектуального

вибору даних є пошук функціональних і логічних закономірностей в накопичених даних для підказки обґрунтованих управлінських рішень. Вони ґрунтуються на використанні технологій інформаційного сховища і алгоритмів автоматизації ділових процесів.

Інтерфейси програм (Program interfaces) або клієнтські інтерфейси дозволяють виконувати різні програми, що знаходяться на сервері.

Інформація (Information) - цілеспрямоване повідомлення про зміну будь-якого фізичного параметра.

Програми технічного обслуговування (Programs of technical service) надають сервіс для експлуатації комп'ютера, виявлення помилок при збоях, відновлення зіпсованих програм і даних.

Програмне забезпечення спеціалізованого обладнання (Specialized equipment software) - програмне забезпечення сканерів, мотор-тестерів, ПЗ для роботи з газоаналізаторами і димомірами, ПЗ для чіп-тюнінгу, ПЗ для вимірювальних систем кузовного ремонту і т.д.

Система технічного обслуговування і ремонту (System of technical service and repair) - сукупність взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту, а також виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості виробів, що входять в цю систему. Метою даної системи технічного обслуговування є забезпечення відповідності стану автотранспортних засобів населення встановленим вимогам і підвищення ефективності їх використання власниками.

За результатами теоретичних досліджень інформаційних технологій, застосовуваних під час сервісного обслуговування легкових автомобілів, встановлено наступне.

Система управління базами даних – Access реалізовує технології структуризації інформації за допомогою гіпертекстової технології. Вона працює з таблицями так, як і Excel, але при цьому дані можуть бути пов'язані між собою перехресними гіпер-текстовими посиланнями, що дозволяє виконувати різні запити.

Система електронного документообігу (Electronic document system) забезпечує управління документами і діловими операціями. Тим самим реалізовується розділення робіт між співробітниками, виконавська система на рівні кожного співробітника.

Розробка веб додатка для сервісного центру обслуговування автомобілів може бути важливим кроком для поліпшення якості обслуговування, так як з кожним роком конкуренція в цій галузі стає все більш жорсткою і важливо мати оперативні та ефективні інструменти для забезпечення якісного обслуговування клієнтів.

Література

1. Kolisnik V. Progressive research in the modern world. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2022, pp. 538–542.

2. Things to Look for When Choosing a Car Service Garage. URL:

<https://www.dowleys.co.uk/blog/5-things-to-look-for-when-choosing-a-car-servicegarage/>.

3. Distributorships Dealerships. URL: <https://www.inc.com/encyclopedia/distributorships-and-dealerships.html>.

4. Pappas, S. Live Science. How Big Is the Internet, Really? URL: <http://www.livescience.com/54094-how-big-is-the-internet.html>

5. Li, S.; Dragicevic, S.; Castro, F. A. Geospatial big data handling theory and methods: A review and research challenges. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2016, pp. 119–133.

6. Things to Look for When Choosing a Car Service Garage. URL: <https://www.dowleys.co.uk/blog/5-things-to-look-for-when-choosing-a-car-servicegarage/>

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Світличний Ростислав, ст. гр. А-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, vp.khadi@gmail.com

ВПЛИВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ СТО НА ЯКІСТЬ ТА ШВИДКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ

Цифрова трансформація сучасного суспільства охоплює всі сфери економіки, включаючи автомобільну галузь, де станції технічного обслуговування поступово переходять до використання новітніх інформаційних технологій. Цифровізація СТО передбачає впровадження різноманітних програмних та технічних рішень, таких як CRM- та ERP-системи, автоматизовані діагностичні комплекси, електронні журнали обліку робіт, онлайн-сервіси для запису клієнтів та аналітичні платформи. Застосування таких технологій сприяє підвищенню ефективності роботи підприємств і мінімізації впливу людського фактору, що в кінцевому результаті позитивно впливає на якість обслуговування клієнтів [1].

Одним із ключових напрямків впливу цифровізації є підвищення точності діагностики транспортних засобів. Сучасні цифрові системи дозволяють швидко отримувати інформацію з електронних блоків керування автомобіля, аналізувати параметри роботи систем у реальному часі та виявляти несправності на ранніх етапах. Це значно знижує ймовірність помилок під час ремонту, оскільки рішення приймаються на основі об'єктивних даних, а не лише на досвіді майстра [2]. Внаслідок цього підвищується якість виконаних робіт і зменшується кількість повторних звернень клієнтів.

Важливим аспектом цифровізації є також підвищення прозорості обслуговування. Завдяки сучасним цифровим сервісам клієнти отримують можливість у режимі реального часу відстежувати статус виконання робіт, отримувати детальну інформацію про перелік послуг і їх вартість, а також

контролювати процес ремонту. Це сприяє підвищенню рівня довіри до СТО та зменшенню кількості конфліктних ситуацій між клієнтами і персоналом.

Крім того, цифрові технології дозволяють реалізувати персоналізований підхід до обслуговування. CRM-системи накопичують інформацію про клієнтів, їх автомобілі та історію технічного обслуговування, що дає змогу формувати індивідуальні пропозиції, нагадувати про необхідність проходження планового ТО та забезпечувати більш якісний сервіс. Такий підхід підвищує лояльність клієнтів і сприяє довгостроковій співпраці [3].

Цифровізація суттєво впливає і на швидкість обслуговування клієнтів. Онлайн-запис дозволяє оптимізувати процес прийому автомобілів, зменшити черги та ефективно розподіляти навантаження між працівниками. Автоматизовані системи планування допомагають раціонально використовувати ресурси СТО, що дозволяє скоротити час простою та підвищити продуктивність праці. Крім того, автоматизація внутрішніх процесів, таких як управління запасами запчастин і координація роботи персоналу, сприяє значному скороченню часу виконання ремонтних робіт.

Швидкість обслуговування також підвищується завдяки використанню сучасних діагностичних інструментів, які дозволяють оперативно визначати несправності без необхідності тривалого ручного огляду. Це особливо важливо в умовах зростання складності сучасних автомобілів, оснащених великою кількістю електронних систем. У результаті загальний час перебування автомобіля на СТО скорочується, що є важливим фактором задоволеності клієнтів [2].

Впровадження цифрових технологій змінює організацію роботи станцій технічного обслуговування. Зростає роль інформаційних систем і програмного забезпечення, підвищуються вимоги до кваліфікації персоналу, з'являються нові професії, пов'язані з аналізом даних та цифровою діагностикою. Одночасно зменшується залежність від людського фактору, що дозволяє підвищити стабільність і якість виконання робіт. СТО стають більш клієнтоорієнтованими, що є важливим чинником конкурентоспроможності на сучасному ринку.

Разом із перевагами цифровізація має і певні виклики. До них належать значні витрати на впровадження сучасних технологій, необхідність навчання персоналу, а також ризики, пов'язані з кібербезпекою та залежністю від програмного забезпечення. Крім того, не всі клієнти готові активно користуватися цифровими сервісами, що може ускладнювати процес взаємодії.

Незважаючи на це, перспективи розвитку цифровізації СТО є надзвичайно широкими. У майбутньому очікується активне впровадження штучного інтелекту для автоматичної діагностики, інтеграція автомобілів із сервісними центрами через інтернет речей, розвиток мобільних додатків для клієнтів та автоматичне планування технічного обслуговування. Це дозволить ще більше підвищити якість і швидкість обслуговування.

Таким чином, цифровізація станцій технічного обслуговування є важливим фактором підвищення ефективності їх роботи. Вона сприяє покращенню якості обслуговування, скороченню часу виконання робіт,

підвищенню прозорості процесів і формуванню довгострокових відносин із клієнтами. Незважаючи на певні труднощі, впровадження цифрових технологій є необхідною умовою розвитку сучасних СТО та їх адаптації до вимог ринку.

Література

1. Porter M.E., Heppelmann J.E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review. 2014. Vol. 92(11). P. 64–88.
2. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Wiley, 2018. 1230 p.
3. Chaffey D. Digital Business and E-Commerce Management. Pearson, 2019. 620 p.

Науковий консультант: Павленко В'ячеслав Миколайович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Симивол Михайло, ст. гр. А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Chirkov@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ VOLKSWAGEN В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Слід чітко розуміти, що у процесі експлуатації автомобіль є частиною системи «автомобіль – водій – дорога – середовище» та її властивості виявляються у взаємодії з елементами цієї системи [1]. Тому важливість певного експлуатаційного якості залежить від умов, у яких цю властивість проявляється, тобто умовами експлуатації.

Загалом умови експлуатації визначаються дорожніми, транспортними та природно-кліматичними умовами [2].

Найбільше на експлуатаційні властивості легкових автомобілів впливають дорожні умови [2], до яких відносять: елементи профілю та плану доріг, рельєф місцевості, вид та рівність покриття, інтенсивність та режим руху по дорозі.

Чинні нормативи та стандарти визначають основні норми, параметри доріг та можуть бути використані для характеристики граничних умов руху легкового автомобіля, відповідно до яких діляться на п'ять категорій.

Основні критерії: розрахункова інтенсивність та швидкість руху, кількість смуг, їх ширина, найбільші поздовжні ухили тощо. На дорогах використовуються покриття чотирьох типів.

За режимом руху всі дороги поділяються на: магістральні, міські та гірські. Основний критерій – різні середні швидкості руху.

Природно-кліматичні умови визначаються особливостями зон помірного, холодного, спекотного та високогірного клімату.

Так як умови експлуатації легкових автомобілів істотно впливають на їх гальмівні властивості, це необхідно враховувати з метою забезпечення

необхідної ефективності гальмування і функціональної стабільності гальмівних систем в конкретних умовах експлуатації [1-5].

У цьому використовується відповідна класифікація умов експлуатації [5].

Взаємодія колеса з опорною поверхнею відбувається за плямою контакту. Ця взаємодія залежить від типу та стану опорної поверхні, від конструкції та стану шини (тиск повітря, малюнок протектора), навантаження на колесо і швидкості руху автомобіля, величини гальмівного моменту, що прикладається, та інших факторів [2-5].

При коченні колеса по поверхні, що не деформується в зоні контакту, при передачі гальмівного моменту відбувається прослизання елементів протектора по опорній поверхні. Чим більша величина гальмівного моменту, тим більше кількість елементів шини бере участь у ковзанні. У граничному випадку вся пляма контакту ковзає по опорній поверхні [2-5].

Коефіцієнт зчеплення шини з мокрою дорогою зменшується порівняно зі зчепленням із сухою дорогою на величину, пропорційну параметру, який характеризує форму та розміри елемента у плані [5].

Тип та стан дорожнього покриття змінюють коефіцієнт зчеплення шин з дорогою до відомих значень, що застосовуються на практиці [2-5].

Коефіцієнт зчеплення шин з покриттям, що знаходяться в різних станах (при експлуатації, головним чином сухому і мокрому), визначається при русі автомобіля з різними швидкостями руху і вертикальними навантаженнями, що змінюються [2-5].

При збільшенні швидкості руху автомобіля коефіцієнт зчеплення знижується більшою мірою на мокрій дорозі, ніж на сухій [3].

При збільшенні вертикального навантаження збільшується тиск у плямі контакту шини з опорною поверхнею та коефіцієнт зчеплення знижується [3].

При збільшенні товщини водяної плівки у плямі контакту коефіцієнт зчеплення також зменшується [3].

Коефіцієнт зчеплення суттєво, але не однозначно на різних дорожніх поверхнях залежить від величини та характеру розподілу нормальних тисків у контакті.

Питома сила тертя у контакті елементів шини з дорогою і двох складових, одна з яких пропорційна нормальному тиску, іншу залежить від величини тиску. Тому коефіцієнт тертя ковзання залишається постійним при зміні величини тиску в контакті шини з дорогою.

Відповідно коефіцієнт зчеплення збільшується при зниженні тиску в шині і навпаки. Цьому сприяє насиченість рисунка протектора шини [5].

Однак на мокрих дорогах ця залежність може бути протилежною.

При зменшенні тиску у плямі контакту погіршується видавлювання води з-під протекторів, що призводить до зниження коефіцієнта зчеплення.

Особливо це важливо при гальмуванні, коли є повне ковзання колеса (при блокуванні). При цьому не тільки знижується гальмівна сила на колесі, а й колесо виявляється не в змозі протистояти невеликій величині бічної сили, що проводить до занесення [2-5].

Найбільш повною характеристикою еластичного колеса з реалізації тангенціальної сили в контактi є залежність коефіцієнта зчеплення від коефіцієнта відносного прослизання [3].

Розглянута схема утворення елементарних тангенціальних сил у контактi колеса з дорогою пояснюють характер залежності $\varphi(s)$, показану на рис. 1, та дозволяє аналізувати вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на цю залежність [2-5].

При гальмуванні легкового автомобіля на горизонтальній ділянці шляху кочення коліс обох осей відбувається з 15% ковзанням, при якому коефіцієнт зчеплення має максимальне значення, тобто перетворюється на коефіцієнт тертя ковзання (див. рис. 1).

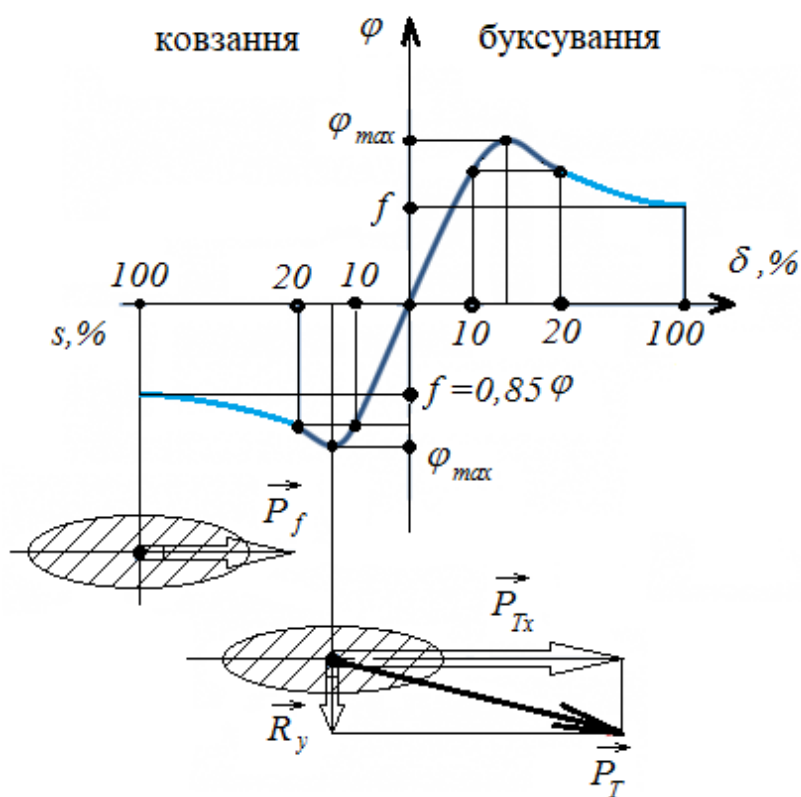


Рисунок 1 - Модель зміни коефіцієнта зчеплення

Таким чином, вплив конструктивних факторів на реалізацію коефіцієнта зчеплення у плямі контакту шини з опорною поверхнею можна характеризувати у загальному випадку наступними показниками [5].

Рисунок протектора. На твердих і сухих покриттях коефіцієнт зчеплення збільшується зі збільшенням коефіцієнта насиченості контакту.

На мокрих дорогах із твердим покриттям коефіцієнт зчеплення збільшується при поліпшенні виходу води та бруду з поверхні контакту.

На деформованих дорогах коефіцієнт зчеплення збільшується зі збільшенням площі зрізу елементів ґрунту та очищення малюнка протектора [2-5].

Динамічний діаметр колеса. Збільшення динамічного діаметра [1] колеса призводить до збільшення коефіцієнта зчеплення незначно на дорогах з твердим покриттям і істотно на дорогах, що деформуються, що пояснюється збільшенням кута нахилу реакції площини дороги, в результаті чого зменшується негативна складова подовжньої реакції [1].

Вплив експлуатаційних факторів на реалізацію коефіцієнта зчеплення у плямі контакту шини з опорною поверхнею можна характеризувати у загальному випадку такими показниками.

Тип та стан покриття. Зчеплення шини з дорогою визначає величину гальмівної сили на всіх колесах і впливає на подовжню та бічну стійкість автомобіля [1].

Шорсткість покриття. Оптимальний розмір мікронерівності 2-3 мм, кути при вершині нерівностей - 70-1200 [1]. При зношуванні дороги коефіцієнт зчеплення знижується, тому необхідна спеціальна обробка покриттів для відновлення зчіпних властивостей.

Швидкість руху. Зі збільшенням швидкості коефіцієнт зчеплення знижується, причому переважно на мокрій і брудній дорозі (плівка води, гідродинамічний тиск, аквапланування).

Рекомендується [2-5] як розрахунковий приймати значення коефіцієнта зчеплення, що відповідає початковій швидкості гальмування.

Зношування протектора. При зносі протектора коефіцієнт зчеплення зменшується, причому інтенсивніше при зносах, що перевищують 50%.

При повних зносах і недостатній шорсткості покриття знижується до 0,2-0,25. Вимогами стандарту [5] встановлено граничну глибину малюнка протектора для легкових автомобілів – до 1,6 мм.

Тиск повітря у шині. На сухих чистих і твердих покриттях збільшення тиску призводить до зменшення коефіцієнта зчеплення [5].

На дорогах, що деформуються, зменшення тиску призводить до зростання коефіцієнта зчеплення.

Нормальне навантаження. На дорогах, що деформуються, при збільшенні навантаження збільшується негативна складова подовжньої сили, що є проекцією реакції на площину дороги [2-5].

На дорогах із твердим покриттям збільшення навантаження призводить до збільшення коефіцієнта зчеплення [5].

Література

1. Alexander Nazarov. Improvement of functional stability of brake systems of cars equipped ABS: materials of the 25th international scientific and technical conference "EKO VARNA" (Bulgaria, Varna, June 14-16, 2019)/ [Vladimir Volkov, Alexander Nazarov, Ivan Nazarov, Yevgeny Shpinda]. с.102-107.

2. Alexander Nazarov Relative increase of the resource of disc brakes of motor vehicles: based on the materials of the 26th International Scientific and Technical Conference "EKO VARNA" (Bulgaria, Varna, October 8-10, 2020) / [Alexander Nazarov, Yevgeny Shpinda, Nicolay Sergienko, Igor Pogorilyi]. Т.27. Ч.1. с. 91-99.

3. Optimization of control strategy for regenerative braking of an electrified bus equipped with an anti-lock braking system / Zhang J., Kong D., Chen L., Chen X. Journal of Automobile Engineering. 2012. vol. 226, № 4, pp. 494–506.

4. Герман, С., Валерій, В., Віктор, М., & Богдан, Т. (2025). Методи розрахунку реалізованого зчеплення між шиною автомобільного колеса та поверхнею дорожнього покриття. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (28), 25-36.

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Скиба Олександр ст. гр. А-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Skiba@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ПАЛИВІ

Паливна економічність і екологічні показники автомобілів у період підготовки і здійснення пуску залежать від умов протікання робочого процесу, який безпосередньо пов'язаний з типом системи живлення, наявністю засобів теплової підготовки та умов експлуатації [1].

Одним із дієвих способів наближення паливної економічності і екологічних показників автомобілів до рівня сучасних вимог в умовах експлуатації є забезпечення теплового стану двигуна у відповідних межах у період пуску і прийняття навантаження. Перспективи поліпшення паливної економічності, енергетичних та екологічних показників автомобілів в умовах експлуатації, у разі встановлення на них екологічно чистих систем теплової підготовки, роблять цей шлях привабливим для власників, а зменшення шкідливого впливу на оточуюче середовище є необхідним для всього суспільства, що є актуальним на сьогодні.

Фактори, які визначають вплив конструктивних особливостей автомобілів, системи живлення (рідким та газовим паливом), виду палива, двигуна як джерела енергії, споживача різних видів палив та шкідливих викидів з відпрацьованими газами [2]: модель, тип автомобіля; загальна маса, вантажопідйомність і пасажиромісткість; тип двигуна і системи живлення; стан та тип трансмісії, передаточні числа коробки передач та механічний ККД; стан системи живлення двигуна автомобіля; стан і характеристики ходової частини; вид і якість палива; характеристики та особливості будови системи живлення газовим і рідким паливом (бензин); температури системи охолодження двигуна і аеродинамічний опір кузова автомобіля.

Автори робіт [1-3], що розглядають експлуатацію автомобілів з бензиновим двигуном та додатково встановленою системою живлення зрідженим газовим паливом, стверджують, що основні несправності виникають

у системах живлення та запалювання, а також в елементах газорозподільного механізму.

Підвищення ефективності теплової підготовки за допомогою сучасних способів і засобів залежить від способу зберігання автомобіля та здійснюється за двома самостійними напрямками: передпускова і післяпускова тепла підготовка.

Було також виявлено, що в цих роботах мало приділено уваги можливості застосування різних способів та засобів теплової підготовки та їх вплив на економічні і екологічні показники в процесах прогріву в умовах експлуатації.

Під час виконання теоретичного дослідження системи теплової підготовки двигуна автомобіля необхідне удосконалення наявного методу розрахунку робочих процесів і вихідних показників двигуна автомобіля, що працює на газовому паливі під час здійснення його передпускового та післяпускового прогріву за допомогою ТАФП відповідно до прийнятих конструктивних рішень та температур оточуючого середовища.

Для розрахунку робочого процесу можна застосовувати математичні моделі програмного комплексу DIESEL-RK [1], які базуються на розрахунковому методі. У ньому використовується різноманітний набір розрахункових методів для моделювання фізичних процесів у двигуні автомобіля.

Під час визначення температур застосовується зонна модель, а коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки циліндрів розраховується з використанням залежності в [1].

Суть методу (ХНАДУ) для прогнозування показників і характеристик двигунів автомобілів з різними варіантами систем живлення в тому, що під час розрахунку процесів утворення шкідливих речовин у відпрацьованих газах, під час протікання робочого циклу у циліндрі двигуна моделюється робочий цикл за багатозонною моделлю.

Розглядається замкнутий цикл з робочим тілом, який протягом усього циклу модулювання зберігає сталу масу, але має змінний склад.

Для вирішення поставленого завдання було виділені основні функціональні елементи з їх складовими: автомобіль, переобладнаний для роботи на газовому паливі в умовах експлуатації, і система теплової підготовки автомобіля, переобладнаного для роботи на альтернативному паливі (газовому паливі) [1, 2].

Основні характеристики (морфологічні ознаки) СТП автомобіля на етапах здійснення теплової підготовки розміщені у вигляді морфологічної матриці [1, 4, 5]. Схема СТП у складі ТАФП для автомобіля із двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі в базовому варіанті складається з таких сполучених визначених ознак

$$\overline{[(x_{1.1} + x_{1.2}; x_{2.1}; x_{3.1}; x_{4.1}; x_{5.3}) + (x_{6.1}; x_{7.1}; x_{8.1}; x_{9.1})]}. \quad (1)$$

Тобто це механічний автомобіль ($x_{1.1}$), який оснащено транспортним двигуном за призначенням ($x_{1.2}$) та працює на рідкому паливі ($x_{2.1}$), обладнаний

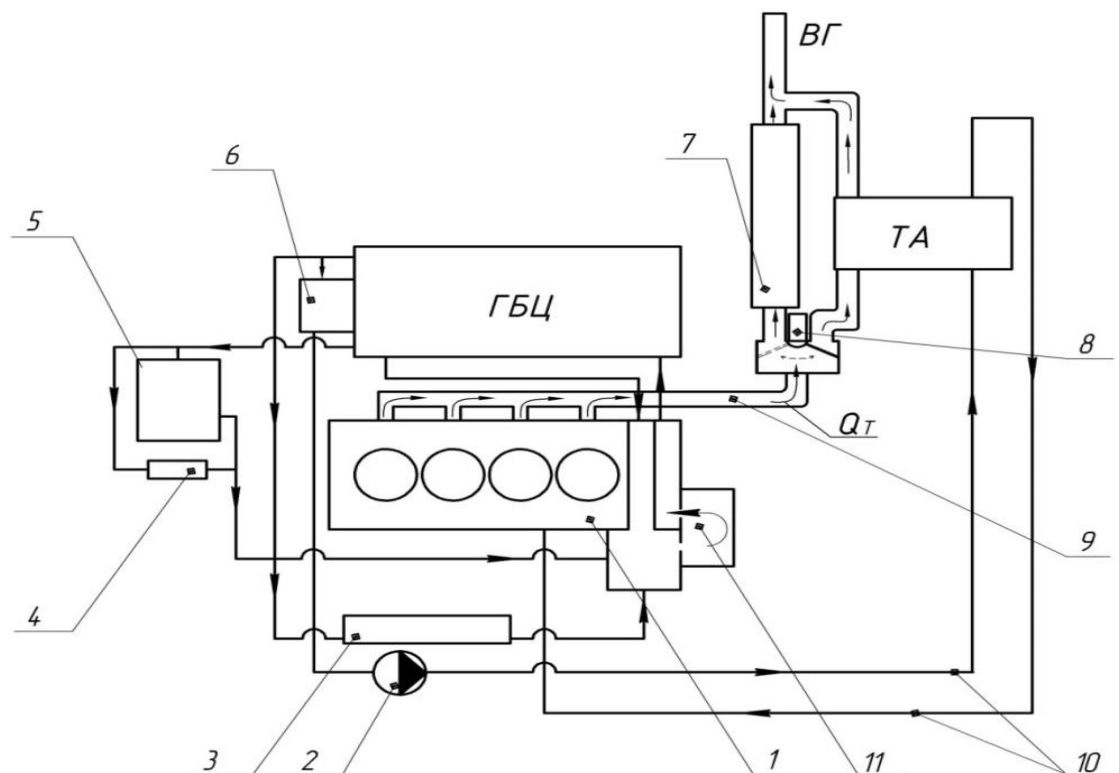
звичайним газовим редуктором-випарником ($x_{3.1}$), редуктор під'єднано послідовно дросельній заслінці ($x_{4.1}$), СТП виконано у складі теплового акумулятора ($x_{5.3}$ і $x_{6.1}$), від якого виконується прогрів системи охолодження двигуна автомобіля (охолоджувальної рідини) ($x_{7.1}$), у період передпускової теплової підготовки до 50°C ($x_{8.2}$), у режимі теплової підготовки нерухомого автомобіля в режимі холостого ходу ($x_{9.1}$).

З огляду на поставлені задачі дослідження, в роботі запропоновано варіанти схеми СТП двигунів автомобілів з різним компонуванням, залежності яких мають вигляд, що варіювався в дослідженні.

Для виконання завдань була прийнята принципова схема СТП (рис. 1) на основі ТАФП для автомобіля з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі, яка конструктивно входить до систем охолодження і випуску відпрацьованих газів двигуна автомобіля і виконує частину властивих їй функцій [1, 2].

Це відбувається під час прогріву охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна автомобіля і забезпечує переключення двигуна автомобіля з живлення від рідкого на газове паливо.

Система теплової підготовки двигуна автомобіля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів та передачею теплової енергії до ТАФП складається з ТАФП, під'єданого до системи охолодження, який має можливість заряджатися від теплової енергії (температури) відпрацьованих газів [3].



1 – транспортний двигун; 2 – додатковий електричний рідинний насос; 3 – радіатор двигуна; 4 – газовий редуктор; 5 – теплообмінник салону; 6 – дросель; 7 – глушник; 8 – розподільна коробка з регулювальною заслінкою; 9 – випускний колектор; 10 – патрубки системи охолодження; 11 – термостат; ВГ –

відпрацьовані гази; ТА – тепловий акумулятор (ТАФП); ГБЦ – головка блока циліндрів; Q_t – потік теплової енергії

Рисунок 1 - Схема системи теплової підготовки двигуна автомобіля

За об'єкти експериментального дослідження на першому етапі було обрано автомобілі сегменту С (автомобіль С1 і автомобіль С2, рис. 2) з двигунами G4GC, що були обладнані ГБО 4-го покоління, з температурою запуску газової апаратури 40° (за налаштуванням системи за температурою охолоджувальної рідини).



а)



б)

Рисунок 2 – Дослідні автомобілі С1 (а) і С2 (б)

На рис. 3 показаний фрагмент звіту результатів дистанційного моніторингу основних технічних параметрів автомобіля в умовах експлуатації для режиму теплової підготовки під час руху.

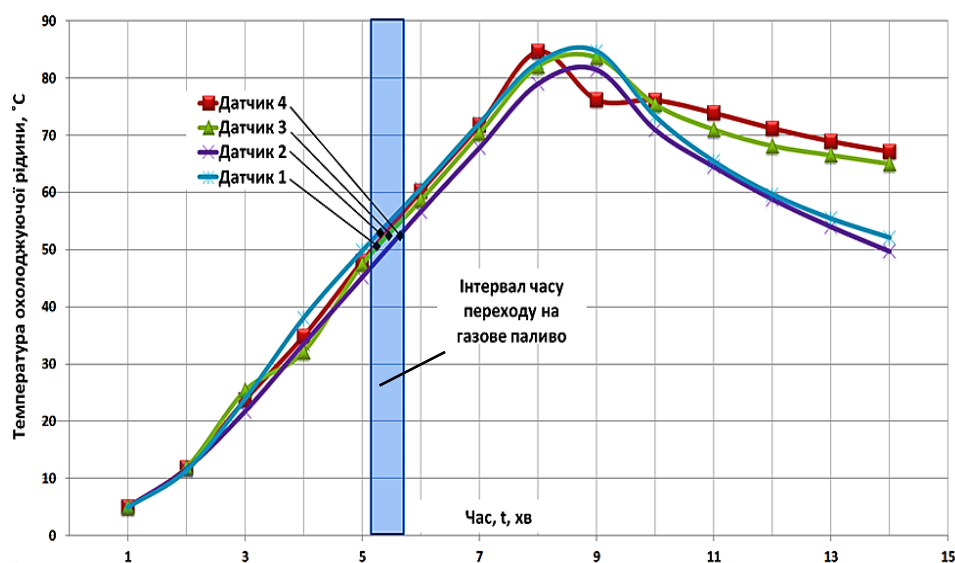


Рисунок 3 – Результати вимірювання температур у контурах системи охолодження двигуна автомобіля

Як видно із рис. 4, в початковий період руху автомобіля до початку зростання ефективності нейтралізації оксидів азоту, викиди оксидів азоту до і після каталітичного нейтралізатора однакові.

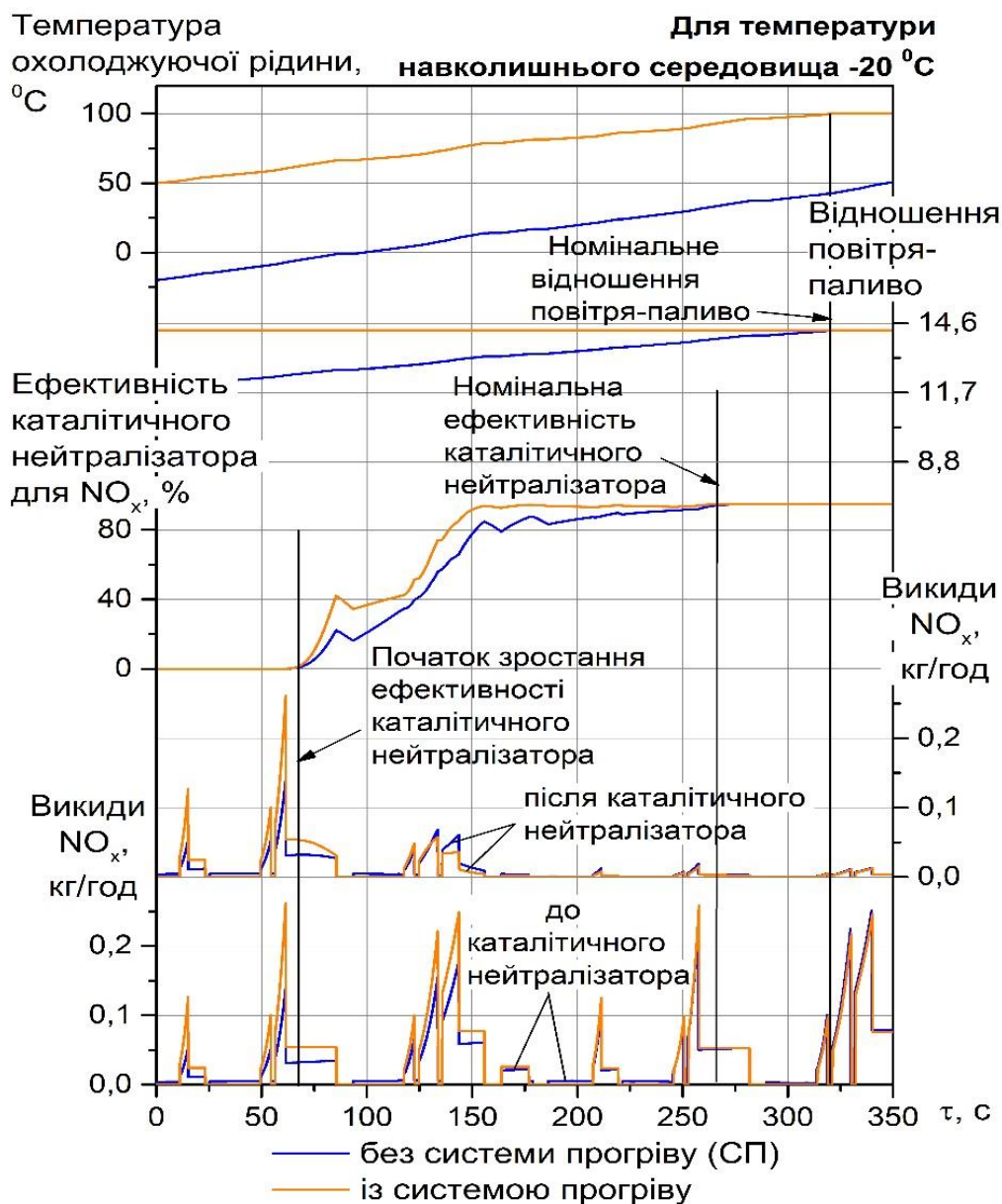


Рисунок 4 - Залежності викидів оксидів азоту у початковому періоді прогріву двигуна при русі автомобіля в їздовому циклі

Література

1. Забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів / І.В. Грицук, В.П. Волков, О.М. Вольська, Т.В. і ін. Одеса: Олді., 2024. – 368 с.
2. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів / В. П. Матейчик // Вісник НТУ“ХПІ” №7(т.2). – Харків, НТУ“ХПІ”. –2002. – С.162-167.

3. Mateichyk, V.; Kostian, N.; Smieszek, M.; Gritsuk, I.; Verbovskyi, V. Review of Methods for Evaluating the Energy Efficiency of Vehicles with Conventional and Alternative Power Plants. *Energies* 2023, 16(17).

4. Korohodskyi, V., Leontiev, D., Rogovyi, A., Kryshtopa, S., Gritsuk, I., Voronkov, O., & Prokopiuk, D. (2022, August). Research of spark ignition engine and internal mixture formation using single-zone, two-zone and three-zone calculation model of it working process. In *SAE Powertrains, Fuels & Lubricants Conference & Exhibition*. SAE Technical Paper.

5. Leontiev, D., Voronkov, O., Nikitchenko, I., Korohodskyi, V., et al., "Feasibility of Heating the Air in a Hybrid Pneumatic Engine for a Compact Vehicle," SAE Powertrains, Fuels & Lubricants Digital Summit, Live Online, Pennsylvania, United States, September 28, 2021, <https://doi.org/10.4271/2021-01-1246>

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Спорнік Денис, ст. гр. А-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, vp.khadi@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНІ СТАНДАРТИ ЄВРО-6 ТА ЇХ ВПЛИВ НА СИСТЕМУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Сучасний розвиток автомобільної галузі нерозривно пов'язаний із посиленням екологічних вимог. Одним із ключових регуляторних механізмів у Європі стали стандарти Євро, які визначають допустимі рівні викидів шкідливих речовин транспортними засобами. Найбільш жорстким на сьогодні є стандарт Євро-6, який набув чинності у 2014 році та суттєво вплинув як на конструкцію автомобілів, так і на систему їх технічного обслуговування (ТО).

Метою цієї роботи є аналіз стандарту Євро-6 та визначення його впливу на процеси діагностики, ремонту і обслуговування транспортних засобів.

Євро-6 – це екологічний стандарт, що встановлює гранично допустимі норми викидів таких шкідливих речовин, як оксиди азоту (NO_x), чадний газ (CO), вуглеводні (HC) та тверді частинки (PM). Основна мета – зменшення негативного впливу транспорту на довкілля та здоров'я людини.

Зокрема, стандарт суттєво знизив допустимі викиди NO_x для дизельних двигунів і встановив жорсткі обмеження на кількість та масу твердих частинок [1]. У порівнянні з попередніми нормами, вимоги стали значно суворішими, що змусило виробників впроваджувати нові технології очищення вихлопних газів.

Крім того, Євро-6 є частиною загальної системи екологічних стандартів Європейського Союзу, які поступово посилюються з метою зменшення забруднення повітря.

Для досягнення нормативів Євро-6 автовиробники змушені використовувати складні системи очищення вихлопу. До основних технологій належать:

- DPF (Diesel Particulate Filter) – фільтр твердих частинок;
- SCR (Selective Catalytic Reduction) – система селективного каталітичного відновлення;
- EGR (Exhaust Gas Recirculation) – рециркуляція відпрацьованих газів;
- DOC (Diesel Oxidation Catalyst) – окислювальний каталізатор.

Ці системи працюють у комплексі, забезпечуючи ефективне зниження шкідливих викидів [2]. Наприклад, система SCR використовує реагент (AdBlue) для перетворення оксидів азоту в безпечні азот і воду.

Фільтри твердих частинок (DPF) здатні затримувати до 85–100% сажі, що утворюється під час роботи дизельного двигуна. Таким чином, Євро-6 фактично змусив інтегрувати складні багаторівневі системи очищення вихлопу в автомобілі.

Впровадження нових технологій суттєво змінило підходи до технічного обслуговування автомобілів. Якщо раніше основна увага приділялася двигуну та механічним вузлам, то тепер значна частина ТО пов'язана з екологічними системами.

Сучасні автомобілі оснащені великою кількістю датчиків, які контролюють роботу систем очищення вихлопу. Несправність навіть одного елемента (наприклад, датчика NO_x або тиску в DPF) може призвести до порушення екологічних норм.

Це означає, що діагностика потребує використання спеціалізованого програмного забезпечення та обладнання, а також високої кваліфікації персоналу.

При неправильній експлуатації (наприклад, часті короткі поїздки) фільтр може засмічуватися, що призводить до зниження потужності двигуна та збільшення витрати палива [3]. У деяких випадках потрібна повна заміна фільтра, що є дорогим процесом.

Система SCR вимагає постійного контролю рівня реагенту AdBlue. Низький рівень або несправність датчиків може призвести до обмеження роботи двигуна або навіть блокування запуску автомобіля.

Регулярна перевірка цієї системи є обов'язковою умовою технічного обслуговування сучасних дизельних авто.

Використання складних систем очищення вихлопу призвело до:

- збільшення вартості обслуговування;
- необхідності використання спеціальних витратних матеріалів;
- підвищення вимог до кваліфікації персоналу.

Таким чином, стандарт Євро-6 прямо вплинув на економіку експлуатації транспортних засобів.

Незважаючи на ускладнення технічного обслуговування, впровадження Євро-6 має значний позитивний ефект для довкілля.

Екологічний стандарт Євро-6 суттєво змінив автомобільну галузь,

змусивши виробників впроваджувати складні системи очищення вихлопних газів.

Разом із тим, Євро-6 ускладнив систему технічного обслуговування автомобілів, зробивши її більш залежною від електроніки та спеціалізованого обладнання. Зросли вимоги до кваліфікації персоналу та витрати на обслуговування. Отже, вплив стандарту Євро-6 є комплексним, він одночасно покращує екологічну ситуацію та ускладнює експлуатацію транспортних засобів.

Література

1. European Commission. European emission standards (Euro 6) for passenger cars and light commercial vehicles. Brussels: European Union, 2014. 45 p.
2. Mock P. Overview of the Euro 6/VI emission standards and their impact on vehicle technologies. International Council on Clean Transportation (ICCT). Berlin, 2016. 25p.
3. DieselNet. Emission standards: Europe – Euro 6. DieselNet Technology Guide. 2020. Режим доступу: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

Науковий консультант: Павленко В'ячеслав Миколайович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Стогній Дмитро, ст. гр. А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Stogniy@gmail.com

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ЧИСТИХ ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

Система охолодження двигуна і її відповідність вимогам, що пред'являються, значною мірою зумовлюють працездатність, надійність і довговічність автомобільних двигунів, що працюють при змінних навантаженнях і в різко різних метеорологічних і кліматичних умовах.

У автомобілебудуванні на виробництво радіаторів, що входять в систему охолодження двигуна, витрачається найбільша кількість дорогих і дефектних кольорових металів (міді, олова, свинцю). З урахуванням річного випуску вітчизняних автомобільних радіаторів щорічна потреба в кольорових металах для їх виготовлення складає величезну величину. Надалі у зв'язку з наміченим значним збільшенням випуску автомобілів вона ще більше зростає.

Застосування поширених в останнє десятиліття V-подібних автомобільних двигунів, наприклад, двигуни вантажних автомобілів з безперервно зростаючою потужністю при ширині підкапотного простору, що мало змінилася, і пониженій висоті капота, також погіршило умови виходу повітря, що охолоджувало.

Підвищені абсолютна і літрові потужності сучасних двигунів і наявності додаткових агрегатів набагато збільшили абсолютну кількість тепла, яке

повинне відводитися системою охолодження, навіть при покращеному робочому процесі і підвищеній економічності сучасних двигунів.

Цим пояснюється значення робіт, що проводяться по удосконаленню вузлів системи охолодження, а також по економії кольорових металів. До них відносяться: широке впровадження радіаторів з трубчатострічковою, застосування малоолов'янистих припоїв при паянні радіаторів і стоншення стрічки для повітряних пластин трубчатострічкових радіаторів, вивчення можливості застосування миш'яковистої латуні для трубок радіаторів, створення досвідчених алюмінієвих радіаторів, дослідження замкнутої системи охолодження з підвищеним температурним режимом [1-4].

Охолоджувальна рідина є однією з головних функціональних рідин автомобіля, разом з моторною оливою, гальмівною рідиною, паливом.

Проте у нас історично склалося недбале відношення до охолоджувальної рідини викликане недооцінкою або нерозумінням її значення.

Згубні наслідки від застосування неякісної охолоджувальної рідини як правило, виявляються не відразу, а через рік-два після початку її використання. Та й не всякий фахівець зможе зрозуміти, що причиною проблеми, що виникла в автомобілі, є охолоджувальна рідина.

8. Для проведення дослідження якості чистих охолоджуючих рідин були обрані антифризи класу G11, що представлені на ринку експлуатаційних матеріалів і доступні для придбання пересічному автовласнику.

Антифриз Аляска G11 – це охолоджувальна рідина зеленого кольору, що призначена для універсального застосування в легкових і комерційних транспортних засобах, а також автобусах, мотоциклах, стаціонарних моторах і спеціальному обладнанні, де передбачено використання антифризів класу G11.

Рідина відрізняється дуже низькою температурою кристалізації, що дорівнює -30°C , завдяки чому відмінно працює навіть в регіонах з дуже холодними зимами. За рахунок значень високої теплоємності і теплопровідності антифриз забезпечує ефективне охолодження двигуна, запобігає його перегріву в умовах високих навантажень. Зберігає свої властивості дуже тривалий час, дозволяє економити кошти на обслуговування. Заявлені переваги:

- Захищає систему від замерзання при температурі до -30°C .
- Запобігає перегріву двигуна навіть при екстремальних навантаженнях.
- Сумісний з усіма матеріалами ущільнювальних прокладок, шлангів, патрубків і деталей з чорних і кольорових металів.
- Не вимагає розведення водою перед заливкою.
- Великий термін експлуатації.
- Універсально підходить для двигунів вітчизняних та імпортованих автомобілів.

Антифриз VAMP G11 – охолоджувальна рідина зеленого кольору , розроблена на основі етиленгліколю з додаванням особливого пакета активних присадок, що підвищують експлуатаційні якості рідини. Висока якість інгредієнтів забезпечує тривалий термін служби рідини до 2 років. Є універсальним продуктом, може використовуватися в вітчизняних та зарубіжних авто після 1996р. випуску обладнаних силовим агрегатом і системою охолодження, як з класичних матеріалів – залізо і чавун, так і з сучасних – алюміній, мідь і сплави.

Особливістю рідини є флуоресцентний ефект, який дозволяє легко визначити протікання в системі за допомогою ультрафіолетової лампи. Під час роботи даний антифриз утворює захисну плівку на поверхнях деталей системи. Ця плівка захищає металеві елементи від утворення іржі (а також консервує вже уражені ділянки, нейтралізуючи вплив), гумові від зсихання і розтріскування, істотно продовжуючи їх безвідмовний термін служби. Має велику теплоємність, стабільно відводить зайве тепло від працюючих вузлів і агрегатів забезпечуючи стабільно-оптимальну температуру для ефективної роботи двигуна і запобігає виходу помпи з ладу. Заявлені переваги:

- Є універсальним продуктом.
- Має флуоресцентний ефект.
- Утворює захисну плівку на поверхнях деталей системи охолодження.
- Має велику теплоємність, стабільно відводить зайве тепло забезпечуючи стабільно-оптимальну температуру для ефективної роботи двигуна.

Антифриз PRISTA G11 – це високоякісний готовий до застосування антифриз, розроблений для надійного захисту всіх типів двигунів внутрішнього згоряння, включаючи автомобілі, автобуси, позашляхову техніку, стаціонарні двигуни та інші механізми.

Виготовляється на основі етиленгліколю з додаванням органічних (моно- і дикарбонових) кислот, що не містять силікатів. Така формула забезпечує тривалий та ефективний захист від перегріву, корозії та замерзання. Продукт підходить для цілорічного використання, пропонуючи оптимальні експлуатаційні характеристики в будь-яких погодних умовах. Його температура замерзання становить -40°C , що робить його ідеальним вибором для суворих зимових умов. Заявлені переваги:

- Відповідає стандартам: ASTM D3306, ASTM D4985, BS 6580:2010, AFNOR NF R15-601, SAE J1034.
- Пропонує довготривалий захист і сумісність із різними типами двигунів.
- Забезпечує ефективну роботу системи охолодження, запобігаючи утворенню накипу і відкладень.

- Покращує теплопередачу і сприяє оптимізації роботи двигуна.
- Чудові антикорозійні властивості захищають металеві компоненти від іржі та окислення.
- Відповідає вимогам: MAN 324 type NF, MB 325.0, VW/TL 774-C.

9. Результати досліджень основних показників якості антифризів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результат аналізу основних показників якості чистих антифризів

№ з/п	Найменування показника	Норма за ДСТУ 28084	Антифриз Аляска G11	Антифриз VAMP G11	Антифриз PRISTA G11
1	Зовнішній вигляд	Однорідна, прозора	Однорідна, прозора	Однорідна, прозора	Однорідна, прозора
2	Густина, при 20 °С, г/см ³	1,065 - 1,085	1,068	1,072	1,080
3	Водневий показник, рН	7,5 - 11,0	7,6	8,5	9,1
4	Лужність, см ³ , не менше	10,0	9,0	10,0	13,7
5	Корозійний вплив на метали, г/м ² ·доб:				
	Мідь	≤ 0,1	0,072	0,043	0,038
	Припій	≤ 0,2	0,048	0,049	0,041
	Латунь	≤ 0,1	0,061	0,048	0,047
	Сталь	≤ 0,1	0,050	0,051	0,049
	Чавун	≤ 0,1	0,071	0,066	0,043
	Алюміній	≤ 0,1	0,073	0,071	0,061

Із результатів дослідження видно, що зовнішній вигляд всіх зразків ідентичний. Це прозорі однорідні рідини зеленого кольору без механічних домішок. Значення густини відповідає вимогам Держстандарту.

Водневий показник у всіх зразків приблизно однаковий і знаходиться в межах вимог нормативної документації. За корозійним впливом на мідь, припій, латунь, сталь, чавун та алюміній усі досліджені рідини продемонстрували низьку корозійну активність. Вимоги ДСТУ виконуються із запасом.

Експериментальні дослідження обраних чистих антифризів класу G11 показали, що всі вони відповідають вимогам якості, які до них пред'являються діючим Держстандартом.

Але величини показників якості дуже сильно різняться. Це говорить про те, що в процесі експлуатації в системі охолодження автомобіля антифризи теж будуть вести себе по-різному, а тому для їх своєчасної заміни слід робити періодичні контрольні перевірки стану і якості антифризу. Для спрощення цього трудомісткого процесу краще використовувати якийсь експрес-показник, або метод.

Література

1. Кригер А.М., Діскін М.Є., Новенніков А.Л., Пікус В.І. Рідинне охолодження автомобільних двигунів/ Машинобудування. 1985. 176 с.
2. Бондаренко Л.І. Автоексплуатаційні матеріали: Навч. посіб. для вищ. навч. закл. К.: Педагогічна преса. 2004.
3. Державний стандарт ГОСТ 28084-89 Рідини охолоджуючі низькозамерзаючі. Загальні технічні умови. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79744 (дата звернення: 05.03.2026).
4. Автомагазин AutoBaza – зручний шопінг для автомобіліста. URL: <https://avtozvuk.ua/ua/antifrizy/c314/1368=74696;5367=75836> (дата звернення: 07.03.2026).

Науковий консультант: Наглюк Михайло Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Стрілець Ярослав Дмитрович, ст. гр. А-43-22, Зінченко Дмитро Віталійович, А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ЩО МІСТІТЬСЯ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ АВТОМОБІЛІВ НА ЛЮДИНУ

Вступ. Автомобільний транспорт є одним із найпотужніших чинників антропогенного впливу на довкілля, особливо у великих містах, де на нього припадає до 80-90 % усіх викидів забруднюючих речовин в атмосферу [1]. З 1 січня 2025 року в Україні планувалося введення стандарту Євро-6 для першої реєстрації авто, проте Верховна Рада перенесла впровадження цих норм на 1 січня 2027 року [2]. Це рішення зумовлене викликами воєнного часу та необхідністю підтримувати мобільність населення

Відпрацьовані гази двигунів містять понад 200–280 шкідливих сполук, включаючи оксиди вуглецю, азоту, сірки, важкі метали та канцерогенні вуглеводні (наприклад, бензопірен). Відпрацьовані гази авто містять цілий «коктейль» токсичних сполук. Ось основні з них:

- Оксид вуглецю (СО) - чадний газ. Не має запаху та кольору. Блокує доставку кисню до органів, що може призвести до задухи. Тривалий вплив підвищує імовірність інфарктів, інсультів та розвитку ішемічної хвороби серця.

- Оксиди азоту (NO_x). Подразнюють легені, викликають бронхіти та є головною причиною утворення смогу й кислотних дощів. Вони є головним тригером розвитку астми у дітей та розвитку раку у дорослих.

- Вуглеводні (CH). Незгоріле паливо. Під впливом сонця вони перетворюються на озон (приземний смог), який шкодить диханню.

- Сажа та тверді часточки (PM₁₀, PM_{2.5}). Особливо характерні для дизелів. Осідають глибоко в легенях і можуть потрапляти в кров, викликаючи хронічні запалення.

- Бенз(а)пірен. Сильний канцероген, який накопичується в організмі. Ці речовини мають здатність змінювати структуру ДНК, що суттєво підвищує ризик виникнення онкологічних захворювань

Ступінь впливу шкідливих речовин на організм людини можна оцінити за гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК - це оцінка рівня забруднення довкілля шляхом порівняння фактичного вмісту шкідливих речовин із встановленими державними санітарними нормами. ГДК визначає максимальну кількість речовини, яка при постійному впливі не шкодить здоров'ю людини.

Залежно від середовища та тривалості впливу розрізняють:

- Максимально разова (ГДК_{мр}): для запобігання рефлекторним реакціям при дії до 20–30 хвилин.

- Середньодобова (ГДК_{сд}): для попередження загальнотоксичного впливу при тривалому вдиханні.

При аналізі речовини поділяють на чотири класи за рівнем токсичності:

- Надзвичайно небезпечні: ГДК < 0,1 мг/м³ (наприклад, ртуть, свинець).

- Високонебезпечні: ГДК 0,1 – 1,0 мг/м³ (хлор, сірчана кислота).

- Помірно небезпечні: ГДК 1,1 – 10,0 мг/м³ (метиловий спирт).

- Малонебезпечні: ГДК > 10,0 мг/м³ (аміак, бензин).

В табл. 1 наведено аналіз ГДК для компонентів, які містяться у відпрацьованих газах автомобілів.

Таблиця 1 – Оцінки якості повітря згідно з наказами МОЗ України [3]

Речовина	ГДК _{мр} (мг/м ³)	ГДК _{сд} (мг/м ³)	Клас небезпеки
Оксид вуглецю (CO)	5,0	3,0	4 (малонебезпечна)
Діоксид азоту (NO ₂)	0,2	0,04	3 (помірно небезпечна)
Оксид азоту (NO)	0,4	0,06	3 (помірно небезпечна)
Діоксид сірки (SO ₂)	0,5	0,05	3 (помірно небезпечна)
Пил (зважені речовини)	0,5	0,15	3 (помірно небезпечна)

Впровадження норм Євро-6 [4] посилює норми викидів оксидів азоту (NO_x): для дизельних двигунів - до 80 мг/км, а бензинових двигунів – на рівні 60 мг/км. Євро-6 обмежує загальну масу сажі та кількість часток (PN). На відміну від попередніх стандартів, Євро-6 передбачає тестування авто не лише в лабораторії, а й у реальних дорожніх умовах. Це виключає можливість маніпуляцій з показниками під час стендових перевірок.

Висновок. Щоб зменшити негативний вплив відпрацьованих газів на людину, на транспорті посилюючи норми викидів шкідливих компонентів,

змушуючи виробників автомобіля встановлювати системи очищення та нейтралізації продуктів горіння, такі як сажові фільтри (DPF), фільтри твердих часток (GPF), SCR (Selective Catalytic Reduction), EGR (Exhaust Gas Recirculation та інші засоби.

Література

1. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. – К.: Основа, 2002. – 312 с.
2. Проект Закону України "Про деякі питання ввезення на митну територію України та проведення першої державної реєстрації транспортних засобів" щодо вимог відповідності екологічним нормам. – URL: <https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/45329>
3. Наказ Міністерство охорони здоров'я України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» за № 156/34439 від 10 лютого 2020 р. - URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20>.
4. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 715/2007 від 20 червня 2007 року «Про затвердження типу моторних транспортних засобів щодо викидів від легкових пасажирських і комерційних транспортних засобів (Євро-5 та Євро-6) та про доступ до інформації про ремонт та технічне обслуговування транспортного засобу» - URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_914.

Науковий консультант: Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Туркін Ігор, ст. гр. А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Turkin@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ «FORD FOCUS»

Сучасні автотранспортні засоби є досить енергоємними. Перевезення вантажів і пасажирів зв'язані зі значним споживанням паливно-мастильних матеріалів, витрата яких на автомобільному транспорті складають більш половини споживаних продуктів іншими видами транспорту. Робота автомобілів у різних умовах, а також вплив експлуатаційних і технологічних факторів на термін служби моторної оливи обумовлюють ресурс агрегату і неоднакову періодичність зміни оливи [1-5].

Сьогодні до нової техніки пред'являються тверді і всі зростаючі вимоги економічності, надійності й екологічності. Термін роботи моторних олив в силових агрегатах істотно збільшився. Регламентовані терміни служби моторної оливи не завжди обґрунтовані через застосування двигунів різних моделей і модифікації, що працюють у неоднакових умовах експлуатації.

Високі темпи автомобілебудування передбачають інтенсивний розвиток автомобільної техніки в напрямку руху випуску автомобілів, підвищення їхньої якості, надійності і довговічності. Особливе місце в цьому питанні займають моторні оливи, якість яких багато в чому визначає надійність і довговічність двигунів внутрішнього згоряння, економічність їхньої експлуатації.

Необхідність використання моторних олив з високими експлуатаційними властивостями особливо гостро відчувається для сучасних і перспективних двигунів, ступінь форсування яких впливає на підвищення їх теплової і механічної напруженості. При цьому спостерігається значне збільшення температур і навантажень, що впливають на масляну плівку в парах тертя, що помітно посилює умови функціонування оливи в двигунах внутрішнього згоряння. Цьому сприяє специфіка експлуатації сучасних автомобілів і двигунів, а також ряд змін їхньої конструкції.

Природно, двигуни різного ступеня форсування, конструкторського виконання й експлуатуються в різних умовах неоднаково вимогливі до якості оливи. Тому доцільніше для кожної конкретної групи двигунів використовувати оливи з оптимальним рівнем моторних властивостей. У цьому випадку їх більш надійна і довговічна робота може бути забезпечена при помітно менших експлуатаційних витратах.

Однак для рішення цього питання необхідно мати чітке представлення про рівень експлуатаційних властивостей моторної оливи. Таким чином, моторна олива є одним з основних функціональних елементів двигуна та багато в чому визначає його надійність і ефективність роботи.

У роботах з експлуатації транспортних машин зазначені терміни служби оливи до заміни в кілометрах пробігу (автомобільні, тепловозні й інші двигуни транспортних машин), або в машино-годинах, мото-годинах (двигуни тракторів, будівельних, дорожніх машин).

В інструкціях для експлуатації транспортних машин наведені дані по періодичності заміни оливи справедливі при нормальних умовах експлуатації й при справному технічному стані машини.

При легких умовах експлуатації двигунів, що працюють на якісному мало сірковому паливі, швидкість старіння моторних оливи зменшується, і терміни служби їх можуть бути продовжені.

При тяжких умовах експлуатації й використанні високо сіркових палив процес старіння інтенсифікується, що різко знижує терміни служби оливи до заміни. Використовувані в цей час в експлуатуючих організаціях більшість машин досить зношені, що також негативно відбивається на процесах старіння оливи і приводить до необхідності їхньої заміни в строки, що не укладаються в нормативні.

У цей час ще немає, на жаль, стандартизованих значень показників граничного стану оливи, що працювали, по яких можна визначити необхідність своєчасної заміни оливи. Існують лише деякі усереднені показники граничного стану оливи різного призначення, які можна використовувати в експлуатації, як орієнтовні, тому що ці показники якоюсь мірою узагальнюють досвід

застосування оливи у різних умовах.

Однак рішення цього завдання пов'язане з вибором критичних параметрів стану оливи, налагодженням своєчасного відбору проб і інструментального контролю їхнього стану.

Термін роботи оливи визначається не тільки напрацюванням(пробігом), а й умовами її експлуатації. Тому при встановленні термінів роботи оливи у двигунах користуються бракувальними показниками, які досягли гранично можливих значень, що зумовлює необхідність заміни оливи. Такими показниками, як правило, є: зміна в'язкості, температури спалаху, лужності, вмісту забруднювальних домішок, води та палива.

В'язкість оливи найчастіше визначають і нормують в одиницях кінематичної в'язкості. У нафтових оливах, як і в дизельному паливі, є найбільша кількість високо плавких твердих вуглеводнів-парафіну та церезину, які при мінусових температурах починають виділятися у вигляді кристалів, що мають вигляд голок або пластин. Кристали переплітаються між собою й утворюють своєрідний каркас, заповнений рідкою оливою. При цьому її в'язкість різко зростає, олива втрачає рухливість і застигає.

Тому, коли підбирають оливу для двигуна або механізму, перш за все звертають увагу на її в'язкість, від якої залежать:

- витрата потужності на тертя;
- інтенсивність зношування тертьових деталей;
- витрати палива й оливи;
- ущільнення поршневих кілець у циліндрах і, як наслідок, легкість пуску двигуна при низьких температурах та його потужність.

Із підвищенням в'язкості оливи рідинне мащення стає більш стійким, але водночас зростає опір переміщенню деталей, що труться. Чим більша в'язкість оливи, тим більший цей опір.

В'язкість оливи впливає також на:

- її прокачування по трубопроводах і каналах системи мащення (чим нижча в'язкість, тим краще прокачування);
- охолодження тертьових деталей (чим нижча в'язкість, тим кращі циркуляція оливи і відведення теплоти);
- очищення оливи у фільтрах (малов'язка олива легше фільтрується);
- вилучення забруднюючих продуктів з деталей, що змазуються (чим нижча в'язкість, тим краще вилучаються продукти забруднення);
- ущільнення робочих зазорів (олива підвищеної в'язкості краще ущільнює зазори);
- втрати оливи через ущільнення системи мащення (чим вища в'язкість, тим менші втрати).

При нормальній роботі двигуна і використанні загальних (не загущених) олив у зв'язку з накопиченням продуктів окиснення та полімеризації оливи і потраплянням у неї продуктів зношування деталей двигуна в'язкість оливи збільшується. При цьому подача оливи до тертьових пар і працездатність системи фільтрації оливи знижуються, а пускові властивості дизеля погіршуються. З іншого боку, через неповне згоряння або внаслідок витікання із системи живлення в оливу працюючого двигуна може потрапляти паливо. Це зменшує її в'язкість, погіршує мащення тертьових з'єднань. Про ступінь розрідження олив паливом і наявність в оливі більш легких паливних фракцій можна судити за температурою спалаху оливи. Зменшення температури спалаху взятої проби оливи (нижче 150⁰С) вказує на присутність у ній палива.

Зношення циліндро-поршневої групи більшою мірою залежить від умісту сірчаних сполук в оливі, ніж у паливі. Через це підвищене зношення спостерігається в нижній та середній зонах циліндра, що пояснюється випаровуванням води під час переміщення оливи у верхню зону.

Для сповільнення процесу виникнення пероксиду та кислот до оливи додають проти окисні й антикорозійні присадки. Останні мають лужні властивості, які забезпечують нейтралізацію кислот продуктів, що утворюються в оливі. Стійкі властивості олив характеризуються лужним числом.

Лужне число характеризує вміст в оливі речовин, які мають лужні властивості. Воно виражається в міліграмах КОН на 1 г оливи та є показником її нейтралізувальної властивості. Оливу, що має лужні властивості, застосовують переважно як мастильний матеріал для дизелів, які працюють на сірчаних паливах, з метою зменшення ерозійного зношення деталей.

Лужних властивостей оливам надають протиіржавні присадки, вплив яких різний. Одні з них утворюють на тертьових поверхнях дуже міцну захисну плівку, що охороняє поверхність контакту від кислих продуктів подібно до того, як плівка фарби охороняє поверхність металу від контакту з киснем повітря; інші-уповільнюють окиснення оливи і тим самим зменшують накопичення в ній кислих продуктів, що також знижує ерозійне зношення тертьових поверхонь. Крім того, є присадки, які мають лужні властивості. Їхня дія зводиться до того, що вони вступають в реакцію з кислими продуктами і нейтралізують їх. При цьому зношення деталей зменшується.

Результати досліджень зміни фізико-хімічних показників якості моторної оливи Motorcraft SAE 5W-30, API SM/CF, ACEA A5, B5 під час її експлуатації у двигуні автомобіля Ford Focus наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати аналізу фізико-хімічних показників якості моторної оливи SAE 5W-30, API SM/CF, ACEA A5, B5

Найменування показників	Чиста олива	Автомобіль Ford Focus		
1. Робота оливи, км	0	3000	5250	7565

2. Густина при 20 °С, г/см ³	0,850	0,856	0,852	0,857
3. В'язкість кінематична при 100 °С, мм ² /с	9,9	10,21	10,83	10,86
4. Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	207	203	210	202

В результаті дослідження було встановлено що температура спалаху у відкритому тиглі на момент аналізу моторної оливи при пробігу 7565 км зменшилась на 5 °С (допускається 20 °С), кінематична в'язкість збільшилась на 0,96 мм²/с (допускається 3 мм²/с), густина збільшилась на 0,007 г/см³.

За перевіреними показникам олива Motorcraft SAE 5W-30, API SM/CF придатна до подальшого використання.

Література

1. Полянский С.К., Коваленко В.М. Експлуатаційні матеріали. Підручник. К.: Либідь, 2003. 448с.
2. Венцель Е.С., Жалкин С.Г., Данько Н.П. Поліпшення якості й підвищення термінів служби нафтових олив. Харків: Укргажт, 2003. 168с.
3. Антипенко А.М., Войтов В.А., Климов П.М., Окача А.І., Романченко В.М., Ярошно С.Ю. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: Навчальний посібник для дистанційного навчання. Харків: Вировець А.П. «Апостроф», 2011. 234с.
4. Слобода Е.Н. Своєчасний аналіз якісного стану моторної оливи-застава надійної експлуатації двигуна. Світ нафтопродуктів. 2002. №3. С. 40-42.
5. Наглюк І.С. Концепція оцінки властивостей моторної та трансмісійної оливи транспортних машин за енергетичними параметрами: дис. д-ра техн.. наук: 05.22.20 / Харк. нац.. автом.-дорож. ун-т. Харків, 2013. 308с.
6. Construction and layout of automobiles and internal-combustion engines : study guide / V. I. Klymenko, O. I. Voronkov, D. M. Leontiev, M. H. Mykhalievych, O. O. Yaryta, S. V. Ponikarovska, O. P. Borzenko, A. Ye. Fandiev ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. – 248 p.

Науковий консультант: Наглюк Михайло Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Філяєв Дмитро ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ, ЩО ПРАЦЮЄ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ПАЛИВІ

На світових автосалонах 2014 р. показали свої розробки томобілів, що працюють на стислому повітрі, такі компанії як Сітроен, Дженерал Моторс, Тойота, Хонда, Вольво.

Щоправда, поки що були показані не комерційні вироби, а лише експериментальні і із засекречуванням їх технічних характеристик.

Разом з тим виставки дозволили встановити щось дуже важливе: жодна компанія не пішла найпростішим і найкоротшим шляхом – конвертації в пневмомобіль існуючої серійної моделі, а представили абсолютно нові оригінальні розробки, оригінального дизайну та оригінальні конструкції з коробчато-трубчастих елементів і, що дуже важливо, з нових спеціально створених легких волокон.

Таким чином продемонстровано ґрунтовний та далекоглядний початок – всі почали зі створення матеріалів з потрібними властивостями і спеціальних конструкцій, здатних служити і міцним каркасом, і ємностями для зберігання стисненого повітря.

Протягом останніх десятиліть увага автомобілебудівників до вирішення проблем використання стисненого повітря для руху автомобілів помітно зростає, і, мабуть, зростатиме й надалі в міру погіршення у світі екологічної обстановки та збільшення вартості нафтового палива та природного газу.

На рис. 1 представлена індикаторна діаграма пневмодвигуна при двох різних за величиною обсягах шкідливого простору та однакових ступеня наповнення та тисках на впуску.

Повітряна система пневмодвигуна використовується у складі гібридної силової установки автомобіля.

Передбачається, що пневмодвигун на автомобілі може використовуватися і як самостійний силовий агрегат.

Діаграма для меншого шкідливого обсягу виконана суцільними лініями, а діаграма з більшим V_0 – пунктиром.

У порівнюваних процесах показники політропи однакові, які перебіг істотно відрізняється, оскільки розширюються і стискаються різні обсяги газу.

При більшому початковому обсязі інтенсивно змінюється тиск газу залежно від його об'єму.

Досвід показує, що за будь-якого збільшення шкідливого простору V_0 збільшення позитивної площі індикаторної діаграми в процесі розширення завжди значно більше збільшення негативної площі в процесі стиснення. Тому збільшення шкідливого простору завжди тягне за собою зростання корисної площі індикаторної діаграми, тобто корисної індикаторної роботи, а отже і зростання індикаторної діаграми. N_i і ефективної N_e потужності пневмодвигуна.

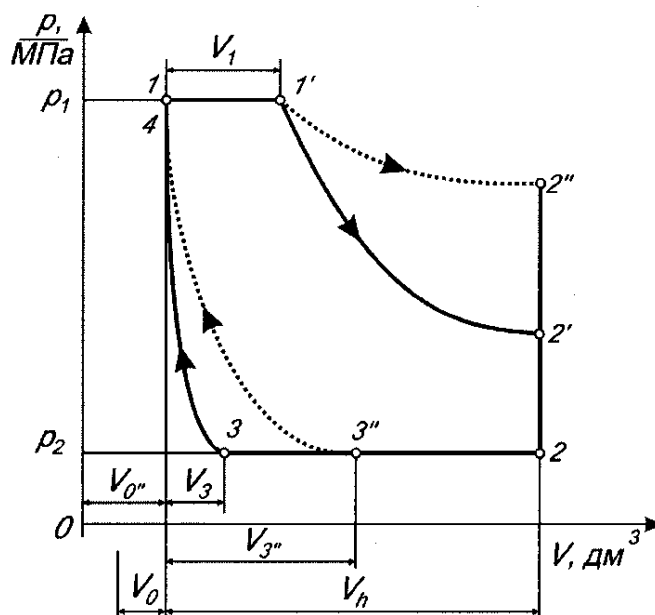


Рисунок 1- Теоретична індикаторна діаграма пневмодвигуна

Авторами робіт [1-3] проводилися дорожні та лабораторні дослідження гібридної силової установки схеми «ДВЗ – пневмодвигун» на автомобілі ЗАЗ-1102 (рис. 2 – рис. 4).

Лабораторними випробуваннями автомобіля на бігових барабанах з приводом від пневмодвигуна було встановлено, що останній на частотах обертання 600-800 хв⁻¹ і при робочому тиску стисненого повітря на вході $p_{вх} = 0,5-0,9$ МПа розвиває крутний момент, близький до розрахункового.

Наприклад, на швидкості руху автомобіля 38 км/г при $p_{вх} = 0,9$ МПа і $n = 700$ хв⁻¹ крутний момент на валу пневмодвигуна склав 58 Н·м при потужності $N_e = 4,1$ кВт.

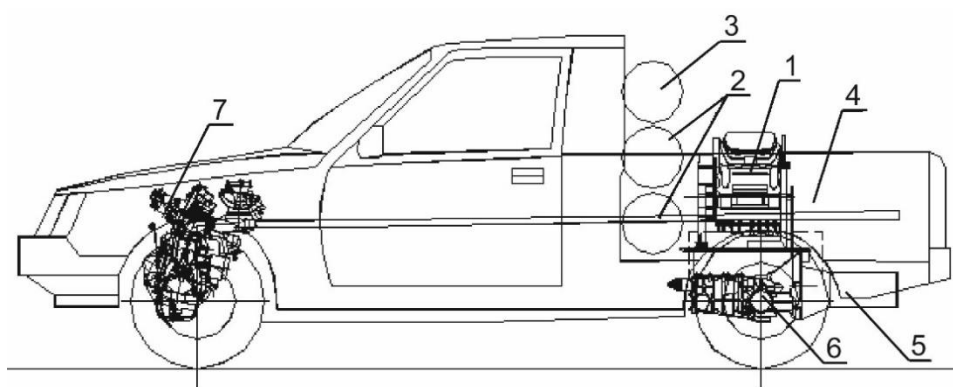


Рисунок 2 - Компонувальна схема автомобіля із гібридною силовою установкою



Рисунок 3 - Поршневий пневмодвигун, встановлений на гібридній силовій установці автомобіля, для проведення дорожніх випробувань



Рисунок 4 – Автомобіль, обладнаний гібридною силовою установкою схеми «ДВЗ – пневмодвигун»

Запропоновано підхід для визначення необхідної потужності пневматичного двигуна для досягнення максимальної швидкості руху та прискорення автомобіля з урахуванням конкретних маршрутів.

Література

1. Робочий процес автомобільного пневмодвигуна: монографія / О.І. Воронков, І.М. Никитченко. Х.: ХНАДУ, 2015. 200 с. 2. Теорія двигунів внутрішнього згорання / В.Г. Дьяченко. Х.: ХНАДУ, 2009. 500 с. 3. Транспортний засіб з пневматичною силовою установкою на базі автомобіля ЗАЗ / О.І. Воронков, І.М. Никитченко, О.В. Подоляка і ін. // Автомобільний транспорт: зб. наук. пр. 2011. вип 28. С. 75–80.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ АКТИВНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛЯ ТА ЇЇ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Оцінними показниками ефективності робочої і запасної гальмівних систем є стале уповільнення $j_{ст}$, що відповідає руху автомобіля при постійному зусиллі натискання на гальмівну педаль в умовах, обговорених стандартом, і мінімальний гальмівний шлях S_r (відстань, що проходить автомобіль від попенку натискання на педаль до його повної зупинки) [1-5].

Нормативні вимоги до оцінних показників автомобілів встановлюють з урахуванням їх призначення і повної маси (табл. 1).

Таблиця 1 – Категорії автомобілів

Категорія	Найменування автомобілів	Повна маса, т
M_1	Автобуси, пасажирські автомобілі і їхні модифікації, а також пасажирські автопоїзди з числом місць для сидіння не більше 8	Відповідає повній масі базової моделі
M_2	Ті ж, що мають більше 8 місць для сидіння	До 5
M_3	Ті ж самі	Більше 5
N_1	Вантажні автомобілі, автомобілі-тягачі і вантажні автопоїзди	До 3,5
N_2	Ті ж самі	Більше 3,5 до 12
N_3	Ті ж самі	Більше 12
O_1	Причепи і напівпричепи	До 0,75
O_2	Ті ж самі	До 3,5
O_3	Ті ж самі	До 10
O_4	Ті ж самі	Більше 10

Нормативне значення S_r на дорозі з високим коефіцієнтом зчеплення з різною початковою швидкістю V_n при дії робочої гальмівної системи визначають за формулою [2]

$$S_r = A \cdot V_n + \frac{V_n^2}{26j_{ст}}, \quad (1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від категорії ТЗ.

Розрахуємо такі основні параметри гальмування як гальмівний шлях та стале уповільнення на прикладі сучасного автомобіля С-сегменту.

Для нових автомобілів нормативні значення $j_{ст}$ та S_r наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Нормативні значення $j_{ст}$ та $S_{г}$

Категорія ТЗ	M_1	M_2	M_3	N_1	N_2	N_3
$j_{ст}$, м/с ² , не менше:						
робочої гальмівної системи	7	6	6	5,5	5,5	5,5
запасної гальмівної системи	2,9	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2
$S_{г}$, м:						
при включеній робочій гальмівній системі	43,2	32,1	32,1	46,9	26,5	18,4
при включеній запасній гальмівній системі	92,9	64,4	64,4	98,3	52,7	35,2

Гальмівний шлях для прийнятого автомобіля сегменту С складатиме

$$S_{г.е.} = \frac{1,2 \cdot v_{п}^2 \cdot \delta}{254 \cdot \varphi_{х\max}} = \frac{1,2 \cdot 80^2 \cdot 1,036}{254 \cdot 0,8} = 39,16 \text{ м.} \quad (2)$$

За чинним законодавством, гальмівний шлях справного легкового автомобіля при випробуваннях на сухому асфальті не повинен перевищувати 43,2 м [3].

Отже, гальмівна система автомобіля С - сегменту задовольняє чинним вимогам.

Стале уповільнення при службовому гальмуванні з урахуванням всіх сил розраховується за формулою [3]

$$j_{ст} = \frac{(P_r + P_f + P_a + P_w)}{G \cdot \delta} \cdot g. \quad (3)$$

Експлуатаційні фактори, що здійснюють вплив на гальмівні властивості автомобіля, умовно можна розділити на технічні (пов'язані з технічними несправностями гальмівної системи) та дорожні [4].

Робота гальмівних механізмів супроводжується зношенням поверхонь фрикційних накладок і гальмівних барабанів (дисків), що призводить до утворення збільшеного проміжку.

За даними [5] збільшення середнього проміжку в усіх гальмівних механізмах на 0,5 мм (автомобіль повною масою 12 т із повітряним приводом гальм) збільшує довжину гальмівного шляху приблизно на 15-20%.

Аналіз статистичних даних показує, що із загального числа здійснених за технічними причинами ДТП близько 20% відбувається через несправність гальмівної системи.

Можливість реалізувати гальмівні сили, що розвиваються гальмівними механізмами автомобіля, залежить від стану дорожнього покриття та протектора шин.

Мінімальна висота протектора шин автомобілів регламентована правилами дорожнього руху і складає: 2 мм – для мотоциклів; 1,6 мм – для вантажних автомобілів; 1 мм – для легкових автомобілів; 0,8 мм – для автобусів [5].

Нове дорожнє покриття має шорсткувату поверхню, мікроскопічні виступи якої, вдавлюючись у шину, збільшують її зчеплення з дорогою. При зношенні покриття мікронерівності згладжуються, поверхня покриття стає гладкою і коефіцієнт зчеплення зменшується.

Для збільшення ϕ_x застосовують поверхневу обробку покриття, що полягає в розливі на дорозі в'язкого матеріалу (наприклад, рідкого бітуму), розсипанні по ньому дрібного щебеню і наступному його укоченню котками.

Покриття з такою обробкою в сухому стані практично відповідає асфальтобетонному, а в мокрому стані воно навіть безпечніше, тому що величина ϕ_x у нього знижується менше, ніж на гладких покриттях без обробки.

Типові операції з технічного обслуговування та ремонту гальмівної системи на прикладі легкового автомобіля С- сегменту.

Мінімально допустима товщина фрикційних накладок гальмівних колодок складає 1,5 мм [5].

Колодка підлягає заміні в наступних випадках:

- товщина фрикційної накладки менше допустимого значення;
- поверхня накладки замаслена;
- фрикційна накладка неміцно з'єднана з основою;
- накладка має глибокі борозни та сколки.

Основними показниками ефективності роботи гальмівної системи слугують гальмівний шлях і стале уповільнення, що визначаються в залежності від типу автомобіля. Визначено, що процес гальмування не є лінійним та не може бути описаний простими математичними моделями. Основними операціями з ТО та ремонту гальмівної системи сучасного легкового автомобіля С-сегменту є заміна гальмівних колодок, регулювання приводу стоянкового гальма та прокачування гальмівного приводу гальмівної системи.

Література

1. Єдинообразні приписи, що торкаються офіційного затвердження транспортних засобів в відношенні гальмування. Правила ЄЕК ООН №13: Вид-во ООН, 1973. 441 с. 2. забезпечення стабільності гальмових властивостей автотранспортних засобів / В.П. Волков. Харків: Вид-во ХНАДУ, 2003. 306 с. 3. Волков В.П. Ретроспективний аналіз вимог, подань до ефективності гальмування // Автошляховик України. (К.: - 2002. №2 (168)). 4. Гальмові приводи легкових автомобілів / В.П. Волков, В.М Скларов, С.М. Шуклінов і ін. Харків: Вд-во ХНАДУ. 2008. 540 с. 5. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навч. посібник / В.П. Волков. Харків: ХНАДУ, 2003. 292 с.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛЯ

Ефективність експлуатації гібридної силової установки автомобіля в значній мірі залежить від можливості отримання достовірної та оперативної інформації про її технічний стан та залишковий ресурс.

Найбільш важливими і підтвердженими зносу агрегати гібридної силової установки є двигун внутрішнього згоряння та комірки тягової акумуляторної батареї [1].

При визначенні ресурсу гібридної силової установки виникає потреба в аналітичному вираженні швидкості зношування пар залежно від вантажно-швидкісного режиму, зовнішніх умов та інших факторів [1-6].

Ресурс гібридної силової установки до моменту відправки в ремонт можна визначити за рівнянням

$$L_{\text{гсу}} = F_{\text{дон}} V_a / 60I + \epsilon_{\text{акб}} n_{\text{зар}} / K_e H_{\text{л}}, \text{ км}, \quad (1)$$

де $F_{\text{дон}}$ – сумарний допустимий знос пар двигуна внутрішнього згоряння;

V_a – середня швидкість руху автомобіля за період експлуатації, км/год;

I – швидкість зношування пар, г/хв;

$\epsilon_{\text{акб}}$ – ємність тягової акумуляторної батареї, кВт/год;

$n_{\text{зар}}$ – кількість циклів заряду тягової акумуляторної батареї за весь період експлуатації;

$H_{\text{л}}$ – середня витрата палива за період експлуатації батареї, л/100 км;

K_e – коефіцієнт співвідношення енергоефективності палива (бензину, дизельного палива) до електроенергії (1 літр палива = 11 кВт-год електроенергії).

Сумарний допустимий знос пар тертя двигуна внутрішнього згоряння можна визначити розрахунковим шляхом

$$F_{\text{дон}} = 0,63 S_n D_{\text{ц}} X_{\text{ц}} \cdot \delta_{\text{max}}, \quad (2)$$

де S_n – щільність металу, г/мм³;

$D_{\text{ц}}$ – діаметр циліндра, мм;

S_n – хід поршня, мм;

$X_{\text{ц}}$ – кількість циліндрів;

δ_{max} – допустиме зношування циліндрів двигуна внутрішнього згоряння, мм.

Швидкість зношування пар двигуна внутрішнього згоряння можна визначити по накопиченню продуктів зносу в маслі між його заміни при технічному обслуговуванні. Періодичність заміни олії у двигуні внутрішнього згоряння призначається за наявності граничної концентрації продуктів зносу, яка становить $K_m = 30-50$ г на 1000 л.

Отже, швидкість зношування пар двигуна внутрішнього згоряння складе

$$I = (V_{onm} \cdot Q_m \cdot K_m / 6 L_{mo}) 10^{-4} \text{ г/хв}, \quad (3)$$

де V_{onm} – швидкість автомобіля, при якій отримано найбільшу періодичність технічного обслуговування або заміни масла в двигуні, км/год;

Q_m – об'єм масла в картері двигуна внутрішнього згоряння, л;

L_{mo} – періодичність заміни олії у двигуні, км.

Швидкість автомобіля, при якій спостерігається найменше зношування гібридної силової установки складе

$$V_{onm} = 0,1 K_e g_{min} N_{max} \gamma / H_{лmin}, \text{ км/год}, \quad (4)$$

де N_{max} – максимальна потужність двигуна внутрішнього згоряння, квт;

γ – питома вага палива, г/г;

$H_{лmin}$ – мінімальна витрата палива, л/100км;

g_{min} – мінімальна питома витрата палива, г/квт год;

K_e – коефіцієнт використання потужності двигуна внутрішнього згоряння в гібридній силовій установці (становить у межах $K_e = 0,20-0,25$).

Між ресурсом двигуна внутрішнього згоряння та витратою палива існує прямий зв'язок.

Це теоретично та експериментально доведено у роботі [2].

Такий взаємозв'язок дає підставу висловити таке. При експлуатації гібридного автомобіля ресурс силової установки можна оцінювати за сумарною витратою палива.

Отже, добуток пробігу автомобіля, при якому гібридна силова установка вимагатиме ремонт, на витрату палива в л/100км пробігу є сумарна витрата палива.

Ця величина для конкретної гібридної силової установки буде постійною.

При експлуатації автомобіля ресурс гібридної силової установки зменшується на стільки, скільки збільшується витрата палива.

Ця закономірність кладеться в основу оцінки ресурсу гібридної силової установки автомобіля за сумарною витратою палива.

Витрата палива та швидкість руху є енергетичними показниками використання гібридних автомобілів у конкретних умовах експлуатації.

З наведених вище рівнянь випливає, що зі зменшенням витрати палива та підвищенням швидкості руху автомобіля спостерігається збільшення ресурсу гібридної силової установки.

Заходи спрямовані на зниження витрати палива та підвищення середніх швидкостей руху є одночасно дієвими та на підвищення ресурсу гібридної силової установки автомобілів.

Ефективність витрати ресурсу гібридної силової установки автомобіля можна оцінити критерієм показника ресурсу таким чином:

$$Kp = H_{лmin} V_a / H_{ф} V_{onm}, \quad (5)$$

де H_f – фактична витрата палива, л/100км пробігу.

З рівняння (5) випливає, що управління витратою ресурсу гібридної силової установки можливе за рахунок зміни середньої швидкості руху автомобіля та фактичною витратою палива.

На фактичну витрату палива істотно впливають майстерність водія водіння автомобіля, а також зовнішні умови експлуатації (температура повітря, вологість, дорожні умови тощо).

Література

1. Gröschel M., Roth-Dietrich G., Neundorf C. C. Anwendungspotenziale der Künstlichen Intelligenz im Autohandel // Künstliche Intelligenz in der Anwendung. – Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021. – С. 51-73.

2. Webber, Thomas. *Methods for the Improvement of Power Resource Prediction and Residual Range Estimation for Offroad Unmanned Ground Vehicles*. Diss. University of Brighton, 2017. 249 p.

3. Бажинов О.В. Метод визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля» / Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. // Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». 2021 №21 С. 180-187

4. Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. Інформаційна комплексна система діагностики гібридних і електромобілів //Науковий журнал «Інженерія природокористування». 2020. №. 2 (16). С. 12-18.

5. ISO 12405-4:2018. Electrically propelled road vehicles — Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems. Part 4: Performance testing. Geneva: ISO, 2018.

6. State of Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Based on an Improved Extended Kalman Filter / Y. Xing, W. He, M. Pecht // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2022. Vol. 71, Issue 2. P. 1205–1216.

Науковий консультант: Бажинов Олексій Васильович, д.т.н., проф. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Чирков Дмитро, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Chirkov@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ VOLKSWAGEN В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Гальмівні властивості – це одні з експлуатаційних властивостей легкових автомобілів, які в тій чи іншій мірі, пов'язані, як з конструктивно-ваговими параметрами автомобіля, його гальмівної системи, типом і конструкцією застосовуваних гальмівних механізмів, гальмівного привода, так і характером

взаємодії коліс з опорною поверхнею в певних експлуатаційних умовах.

Гальма барабанного типу функціонально не стабільні, так як при терті колодок по ротору утворюється тепло, якого достатньо, щоб знизити ефективність гальмування, за рахунок зменшення коефіцієнта тертя ковзання між фрикційними парами, особливо, якщо мають місце циклічні гальмування.

Отже, зниження ефективності гальмування настає вже у початковий момент гальмування, коли має місце перевищення певної величини енергонавантаження гальм, яка і підтримує температуру нагріву тіл тертя.

Істотне поліпшення відбувається при використанні дискових гальм. В даний час вони повсюдно використовуються на передніх колесах майже у всіх автомобілів. Дискова гальмівна система забезпечена чавунним або сталевим диском або ж виготовленим з неметалічного матеріалу (карбону).

Цей ефект досягається зміною темпу зростання максимального значення гальмівної сили на передніх або задніх колесах. Причому у всіх випадках регулювання повинна бути забезпечена стійкість автомобіля. У зв'язку з цим у реальних гальмівних системах легкових автомобілів коефіцієнт розподілу гальмівних сил вибирається в межах 0,6-0,75 [2].

Існуючі способи і закони регулювання гальмівних сил між осями легкових автомобілів припускають його зміну у відповідності до динамічного перерозподілу нормального навантаження між осями автомобіля.

Крім того, зношення спражених поверхонь тертя гальмівних механізмів та їх перегрівання в процесі експлуатації призводить до зниження не тільки ефективності, але і безпеки використання [2].

Виходячи з вище викладеного, слід коефіцієнт розподілу гальмових сил вибирати так, щоб крім вирішення питань ефективності та стійкості в процесі гальмування, забезпечувалося таке енергонавантаження передніх і задніх гальмівних механізмів, яке б не перевищувало їх енергоємності.

На цей же факт звертається увага в роботі [3], в якій при розгляді впливу експлуатаційних факторів на гальмівну динаміку автомобіля, обладнаного регулятором гальмівних сил, вказується, що раціональність вибору коефіцієнта розподілу гальмівних сил слід оцінювати не тільки по ефективності при гальмуванні, але й по збереженню керованості автомобіля за рахунок раціонального енергонавантаження гальмівних механізмів.

Кінетична енергія, що поглинається гальмами легкового автомобіля впродовж одного гальмування попереднього етапу випробувань тип 1 (за ДСТУ 3649: 2010), становить, кДж,

$$W_{T1} = 1,27 \cdot 10^{-5} \cdot g_a^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^2 T_i}{j}, \quad (1)$$

де $g_a = 31,5 \text{ м/с}$ – початкова швидкість гальмування легкового автомобіля при випробуваннях.

Робота тертя, яка здійснюється гальмами при послідовних гальмуваннях попереднього етапу випробувань тип 1, визначається

$$A_{TP} = W_{T1} \cdot n, \quad (2)$$

де n – число виконуваних послідовних гальмувань.

Середня потужність тертя в гальмівних механізмах при послідовних гальмуваннях попереднього етапу випробувань тип 1, кВт, становить

$$\bar{N}_{TP} = \frac{A_{TP}}{1000\tau}, \quad (3)$$

де τ – час одного циклу гальмувань.

Робота тертя, що здійснюються гальмами автомобіля на попередньому етапі випробувань Тип 2, визначається в кДж,

$$A_{TP} = \frac{G \cdot S \cdot \sin \alpha}{1000}, \quad (4)$$

де S – довжина спуску, м;

α – кут подовжнього нахилу дороги, град.

Середня потужність тертя в гальмівних механізмах при цьому

$$\bar{N}_{TP} = \frac{A_{TP} \cdot \vartheta}{S}, \quad (5)$$

де ϑ – швидкість автомобіля на спуску [1].

Робота і середня потужність тертя, що розвивається передніми дисковими гальмами, визначається

$$A_{T1} = \beta \cdot A_{TP}, \quad (6)$$

$$\bar{N}_{T1} = \beta \cdot \bar{N}_{TP}, \quad (7)$$

де $\beta=0,76$ – коефіцієнт розподілу гальмівних сил між осями.

Попередній етап випробувань тип 1 і тип 2 легкових автомобілів проводять методом послідовних гальмувань, режим яких задано у табл. 1.

Таблиця 1 - Режими випробувань тип 1 і тип 2

Початкова швидкість гальмування ϑ_0 , м/с	Кінцева швидкість гальмування, м/с	Тривалість одного циклу, τ , с	Число гальмувань, n	Довжина спуску S , м	Кут спуску, град	Швидкість на спуску, ϑ , м/с
31,5 м/с	0,5 ϑ_0	45	15	—	—	—
	0	—	30	6000	4	8,3

Результати розрахунків параметрів для автомобіля Volkswagen наведено в табл. 2 для різних значень коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями.

Таблиця 2 - Оцінка енергонавантаження гальм передньої осі автомобіля

Параметр		Випробування	
		тип 1	тип 2
W_{T1} , кДж		380	—
A_{TP} , кДж		5705	4010
$\bar{N}_{TP}$, кВт		126	5,548
$\beta=0,76$	A_{TP1} , кДж	4450	3128
	$\bar{N}_{TP1}$, кВт	98	4,3

Література

1. Alexander Nazarov. Improvement of functional stability of brake systems of cars equipped ABS: матеріали 25-ої міжнарод. науково-техн. конф. «ЕКО VARNA» (Болгарія, Варна, 14-16 червня 2019) / [Vladimir Volkov, Alexander Nazarov, Ivan Nazarov, Yevgeny Shpinda]. с.102-107.

2. Alexander Nazarov Relative increase of the resource of disc brakes of motor vehicles: за матеріалами 26-ої міжнародної науково-технічної конференції «ЕКО VARNA» (Болгарія, Варна, 8-10 жовтня 2020 р.) / [Alexander Nazarov, Yevgeny Shpinda, Nicolay Sergienko, Igor Pogorilyi]. Т.27. Ч.1. с. 91-99.

3. Optimization of control strategy for regenerative braking of an electrified bus equipped with an anti-lock braking system / Zhang J., Kong D., Chen L., Chen X. Journal of Automobile Engineering. 2012. vol. 226, № 4, pp. 494–506.

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Чурілов Віталій, ст. гр А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Evitalij.churilov@gmail.com

АНАЛІЗ ПІДСИЛЮВАЧІВ РУЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ

Рульові підсилювачі встановлюють на легкових автомобілях високого класу, вантажних автомобілях середньої та великої вантажопідйомності, а також на автобусах, при цьому полегшується керування автомобілем, підвищується його маневреність, збільшується безпека при розриві шини.

Підсилювач, включений в рульове управління, має наступні обов'язкові елементи [1, 2]: джерело живлення (у пневмопідсилювачі - компресор, в гідро підсилювачі - гідронасос, в електропідсилювачі - генератор (акумуляторна батарея)); розподільний пристрій; виконавчий пристрій - пневмо-, гідроциліндр електродвигун, що створює необхідне зусилля. До кермових підсилювачів пред'являють наступні вимоги:

- забезпечення кінематичної та силової слідкуючої дії (кінематична стежить дія - пропорційність між кутовим переміщенням рульового колеса і кутом повороту керованих коліс;

- силова стежить дія - пропорційність між силою, прикладеною до рульового колеса, і силою опору повороту керованих коліс);

- мінімального часу спрацьовування підсилювача;

- мінімальний вплив на стабілізацію керованих коліс;

Гідравлічні кермові підсилювачі класифікуються за такими ознаками:

- на вигляд приводу насоса (від двигуна автомобіля, від електродвигуна);

- з компонування елементів розподільника, гідроциліндра, кермового механізму;

- за конструкцією розподільника золотникові (осьові, роторні), клапанні;

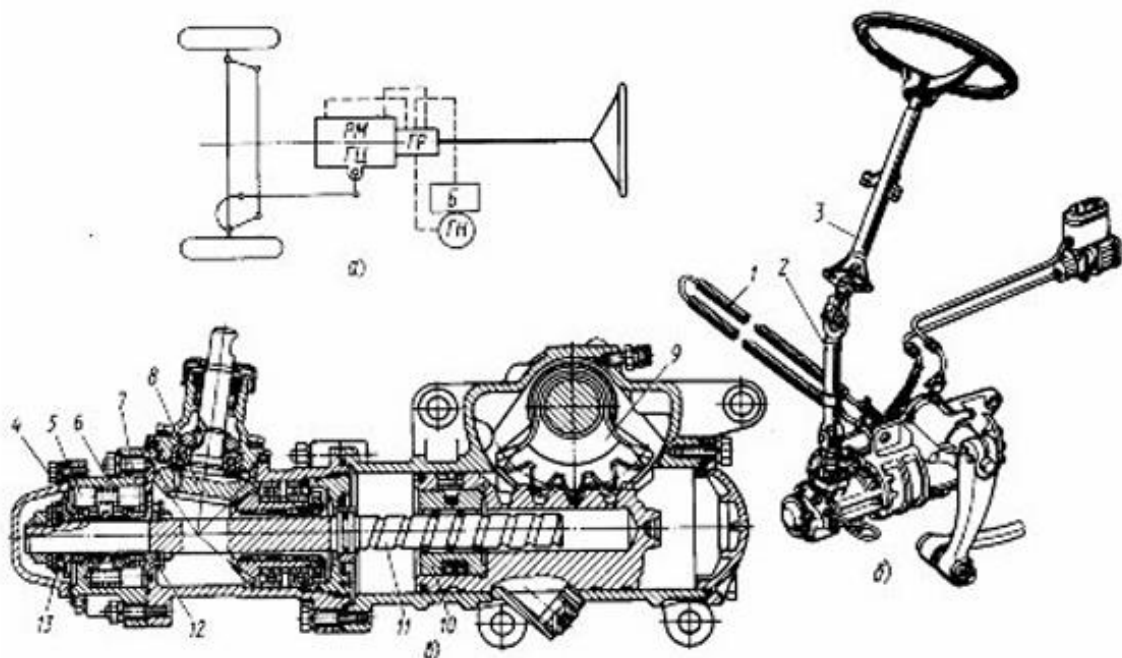
- пристроям визначальних їх функціональні характеристики.

До переваг гідропідсилювачів слід віднести невеликі розміри завдяки високому робочому тиску (6-10 МПа); мінімальний час спрацьовування (0,2...2,4 с); поглинання ударів і поштовхів, що сприймаються керованими колесами з боку дороги та передаються на рульове колесо.

Разом з тим при застосуванні гідропідсилювача дещо знижується стабілізація керованих коліс, тому що стабілізуючий момент на колесах повинен долати опір рідини в гідропідсилювачі.

Гідропідсилювачі повинні мати надійні ущільнення, тому що текти рідини призводить до виходу гідропідсилювача з ладу.

Поширена схема гідропідсилювача представлена на рис. 1.



а – схема; б - компонування на автомобілі; в - конструкція; РМ - рульовий механізм, ГР - гідророзподільник; ГЦ – гідроциліндр; ГН – гідронасос;

Б - бачок із робочою рідиною

Рисунок 1. - Гідропідсилювач традиційного типу

Для електрогідравлічного підсилювача керма необхідний тиск для роботи робочої рідини створюється гідронасосом.

Для підсилювачів традиційної конструкції привод цього насоса здійснюється безпосередньо від двигуна автомобіля.

У порівнянні з традиційним підсилювачем керма електрогідравлічний підсилювач має ряд переваг: зниження енергетичних витрат до 85%, менший вплив на середовище проживання в результаті знижених енергетичних витрат і меншої кількості робочої рідини в гідравлічній системі, зниження витрати палива в реальних їздових циклах приблизно на 5%, зниження зусиль на рульовому колесі при маневруванні та забезпечення безпосереднього керування під час руху з підвищеними швидкостями.

Література

1. Мусанов М.А. Рульове керування: методичні вказівки до лабораторної роботи. ЧГАУ 2005. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/2983912/> Назва з екрану.

2. Selbststudienprogramm 399. Die elektro-mechanische Lenkung mit Achs-Parallelem Antrieb (APA) Konstruktion und Funktion. Volkswagen AG, Вольфсбург.

Науковий консультант: Дитятьєв Олександр Васильович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Шаруда Герман, ст. гр. А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Sharuda@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕННЯ НА ЗНОС ГАЛЬМ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ VOLKSWAGEN В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У роботах [1-3] вказується, що при випробуваннях легкового автомобіля, де використовується змішана гальмівна система, відбувається значне запізнювання спрацьовування привода задніх гальм в порівнянні з приводом передніх. Це призводить до того, що циклічні гальмування здійснюються в основному передніми гальмами, що істотно перевищує їх енергонавантаження та погіршує тепловий режим роботи фрикційних деталей.

Отже:

– при перевищенні енергонавантаження гальм їх динамічні характеристики погіршуються, що у результаті призводить до зниження гальмівних властивостей автомобілів;

– більш висока ефективність гальмування призводить до перевищення енергонавантаження гальм, від якої в більшості випадків залежить стабільність гальмівних моментів, створюваних гальмівними механізмами, та, як наслідок, веде до зниження безпеки використання;

– перевищення енергонавантаження гальм викликає температурні деформації спряжених деталей, що різко впливає на фактичну площу прилягання фрикційних поверхонь спряжених деталей та призводить до зниження гальмівних властивостей.

Метою дослідження є забезпечення такого енергонавантаження гальм легкових автомобілів, яке б не перевищувало зносостійкості їх фрикційних пар, під час виконання гальмувань у процесі експлуатації.

Співвідношення енергоємностей передніх і задніх гальм, а отже, стабільність їх характеристик, а так само, безпека використання легкових автомобілів, визначається коефіцієнтом розподілу гальмівних сил [2]

$$\beta = \frac{T_1}{T_1 + T_2}, \quad (1)$$

де T_1 і T_2 – гальмівні сили на передній та задній осях.

Здійсимо оцінку енергонавантаження та зносу гальмівних механізмів на прикладі дискових гальм легкового автомобіля Volkswagen.

Оцінку будемо проводити при режимах попереднього нагріву гальм, які відповідають випробуванням тип 1 і тип 2.

Навантажувальні умови гальмівних механізмів визначаються станом завантаження автомобіля, умовами гальмування та положенням центру мас (рис. 1).

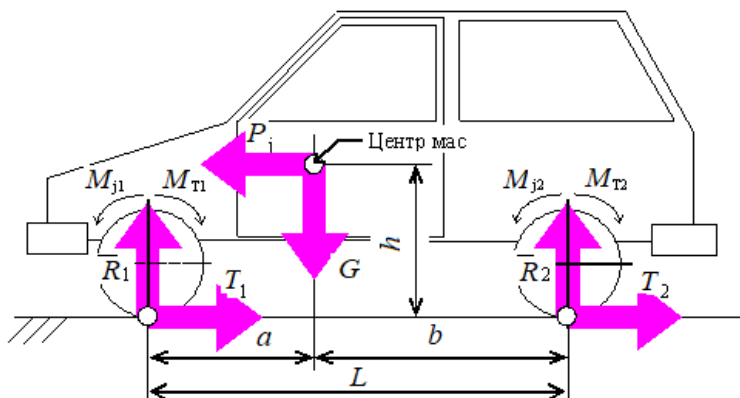


Рисунок 1 - Схема сил і моментів, які діють на автомобіль при гальмуванні

Для створення умов одночасного найбільшого нагріву спряжених поверхонь тертя гальм передньої та задньої осей слід унеможливити блокування коліс до повної зупинки автомобіля. Це можливо при відповідному максимальному коефіцієнті питомих гальмівних сил автомобіля, який залежить від коефіцієнта постійного розподілу гальмівних сил між осями, закладеним Гредескулом А.Б. [3]

$$\beta_o = \frac{b + \varphi_o \cdot h}{L}, \quad (2)$$

де b - відстань від задньої осі до проекції центра мас на опорну поверхню;

h - висота центра мас;

L - подовжня колісна база автомобіля;

φ_0 - оптимальний коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою.

Для найбільш ефективного гальмування автомобіля необхідно створювати на колесах гальмівні сили рівні граничним силам зчеплення, а тип і конструктивні параметри гальмівних механізмів слід підбирати так, щоб енергонавантаження не призводило до надмірного зносу фрикційних пар. Ці гальмівні сили на передніх і задніх осях визначаються за формулами [1]

$$T_1 = G \cdot \varphi \cdot \beta_0 = G \cdot \varphi \cdot \frac{b + \varphi_0 \cdot h}{L}, \quad (3)$$

$$T_2 = G \cdot \varphi \cdot (1 - \beta_0) = G \cdot \varphi \cdot \frac{a - \varphi_0 \cdot h}{L}, \quad (4)$$

де G – ваговий стан автомобіля.

Теоретично можливі вповільнення легкового автомобіля визначаються

$$j = \frac{\sum_{i=1}^2 T_i}{G}. \quad (5)$$

Розрахункові значення параметрів, вихідні вагові та компоновальні дані автомобіля Volkswagen з частковим і повним завантаженням наведено у табл.1.

Таблиця 1 - Розрахункові параметри автомобіля Volkswagen Golf та його гальмівної системи

Загрузка автомобіля	Параметри	Коефіцієнт зчеплення φ						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Споряджена маса 1096 кг	a , м	0,959						
	b , м	1,561						
	h , м	0,561						
	L , м	2,520						
	G , Н	10960						
	β_0	0,669	0,693	0,717	0,742	0,766	0,790	0,815
	T_1 , Н	1169	1817	2507	3241	4017	4835	5690
	T_2 , Н	579	805	989	1129	1227	1283	1296
	T_{Σ} , Н	1748	2622	3496	4370	5244	6118	6992
	j , м/с ²	1,8	2,5	3,9	5,1	5,8	6,4	7,2
Повна маса 1595 кг	a , м	1,185						
	b , м	1,335						
	h , м	0,471						
	L , м	2,540						
	G , Н	15950						
	β_0	0,582	0,607	0,631	0,656	0,681	0,705	0,730
	T_1 , Н	1313	2052	2847	3697	4602	5563	6579
	T_2 , Н	941	1329	1661	1938	2160	2326	2437
	T_{Σ} , Н	2254	3381	4508	5635	6762	7889	9016
	j , м/с ²	1,5	2,2	3,4	4,8	5,0	6,1	6,4

Література

1. Ярещенко Н.В. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах [Текст]: дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / Н.В. Ярещенко. Харків, 1999.
2. Alexander Nazarov. Improvement of functional stability of brake systems of cars equipped ABS: матеріали 25-ої міжнарод. науково-техн. конф. «ЕКО VARNA» (Болгарія, Варна, 14-16 червня 2019) / [Vladimir Volkov, Alexander Nazarov, Ivan Nazarov, Yevgeny Shpinda]. с.102-107.
3. Alexander Nazarov Relative increase of the resource of disc brakes of motor vehicles: за матеріалами 26-ої міжнародної науково-технічної конференції «ЕКО VARNA» (Болгарія, Варна, 8-10 жовтня 2020 р.) / [Alexander Nazarov, Yevgeny Shpinda, Nicolay Sergienko, Igor Pogorilyi]. Т.27. Ч.1. с. 91-99.
4. Bogomolov, V. A., Klimenko, V. I., Leontiev, D. N., Ponikarovska, S. V., Kashkanov, A. A., & Kucheruk, V. Y. (2021). Plotting the adhesion utilization curves for multi-axle vehicles. Bulletin of the Karaganda University "Physics Series", 101(1), 35-45.
5. Махлай, С. М., & Леонтьев, Д. М. (2018). Визначення зупинного шляху автомобіля, що обладнаний антиблокувальною системою. Вісник ОНДІСЕ, (4), 44-50.
6. Leontiev, D., Klimenko, V., Mykhalevych, M., Don, Y., & Frolov, A. (2019). Simulation of working process of the electronic brake system of the heavy vehicle. In International scientific-practical conference. Cham: Springer International Publishing. 1019, 50-61. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25741-5_6
7. Клименко, В. І., Ломака, С. Й., Рижих, Л. О., & Туренко, А. М. (2006). Аналіз алгоритмів регулювання гальмівних сил регулятором з електронним керуванням. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки", 4 (39), 26-35.

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Шевченко Денис, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Shevchenko@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ПРОЦЕС ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ КЛАСУ С

Гальмівні властивості автомобілів є важливим фактором, що забезпечує безпеку дорожнього руху. Досвід експлуатації показує, що при проектуванні необхідно не тільки забезпечити відповідність показників ефективності гальмування та курсової стійкості автомобілів у момент виходу з конвеєра заводу, але й створити умови для збереження цих показників протягом усього періоду експлуатації.

Стабільність гальмівних властивостей протягом усього періоду експлуатації забезпечує необхідний технічний рівень конкурентоспроможності автомобілів. Відповідність цих властивостей вимогам, що висуваються, можна

забезпечити при прогнозуванні на стадії проектування розвитку вимог до гальмівних властивостей як нових автомобілів, так і автомобілів, що знаходяться в експлуатації.

Зовнішні сили, які діють на автомобіль, показані рис.1.

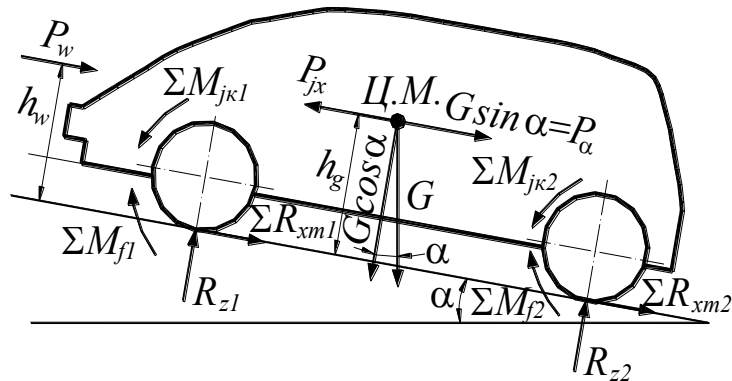


Рисунок 1 - Схема сил і моментів, що діють на автомобіль при гальмуванні на ухилі

Основними силами, що забезпечують гальмування автомобіля, є сумарні дотичні реакції ΣR_{xm1} та ΣR_{xm2} діють в площині контакту коліс з опорною поверхнею і спрямовані проти руху автомобіля [2-4].

Їх величина може бути різною в різних випадках гальмування $\Sigma R_{xm1} = \Sigma R_{z1} \cdot \varphi_{x1}$ і $\Sigma R_{xm2} = \Sigma R_{z2} \cdot \varphi_{x2}$.

При екстремальному гальмуванні вони можуть досягати максимальних значень $\Sigma R_{xm1 \max} = \Sigma R_{z1} \cdot \varphi_{x \max 1}$ і $\Sigma R_{xm2 \max} = \Sigma R_{z2} \cdot \varphi_{x \max 2}$, а при одночасному досягненні ними своїх максимальних значень на всіх колесах і $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_{\max}$ їх можна представити як

$$\begin{aligned} \Sigma R_{xm1 \max} + \Sigma R_{xm2 \max} &= \varphi_{x \max} \cdot (\Sigma R_{z1} + \Sigma R_{z2}) = \\ &= G \cdot \cos \alpha \cdot \varphi_{x \max} = \Sigma R_{xm \max} \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Sigma R_{xm \max}$ – максимальне значення сумарної дотичної реакції (гальмівної сили), що діє на всі колеса автомобіля при гальмуванні з використанням сил зчеплення.

Маючи на увазі перетворення в [1] отримаємо рівняння руху автомобіля при гальмуванні

$$\frac{M_m}{r_o} + P_f + P_w + P_\alpha = P_j \quad (2)$$

або

$$P_m + P_f + P_w + P_\alpha = P_j \quad (3)$$

Процес гальмування може бути представлений не тільки рівнянням (2) або (3), а і графіком процесу гальмування, що є залежністю $j=f(t)$ (рис. 2).

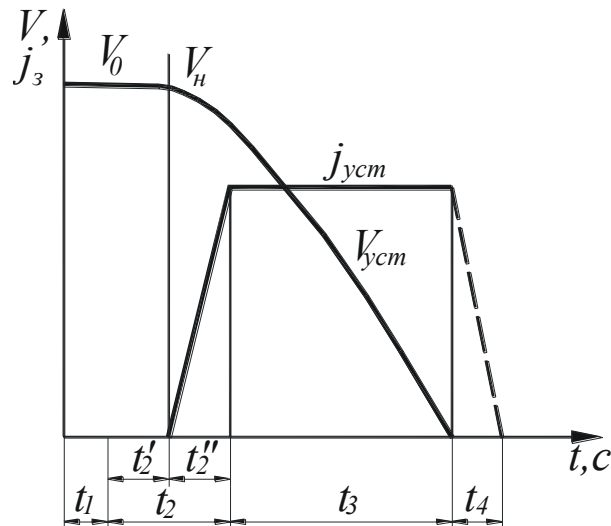


Рисунок 2 – Графік процесу гальмування автомобіля

Нехай у момент часу відповідний початку координат по дорозі руху автомобіля виникла перешкода. Час t_1 від моменту появи перешкоди до моменту впливу ноги водія на гальмо педаль називають часом реакції водія.

Час t_1 залежить від індивідуальних якостей, кваліфікації водія, ступеня його втоми, дорожньої обстановки та змінюється в межах 0,2 – 1,5 с.

При розрахунках набувають середнього значення $t_1=0,8$ с.

Час t'_2 з моменту впливу ноги водія на педаль гальма до початку дії гальм, тобто до появи уповільнення автомобіля, називають часом запізнення спрацювання гальмівної системи.

На його величину впливає тип гальмівного приводу та гальмівних механізмів, а також технічний стан гальмівної системи.

Для гальмівної системи з гідравлічним приводом та дисковими гальмівними механізмами $t'_2=0,05 - 0,07$ с; з барабанними гальмівними механізмами $t'_2=0,15 - 0,20$ с; у системи з пневмоприводом $t'_2=0,2 - 0,4$ с.

Час t''_2 , від появи уповільнення до максимального значення, залежить переважно від величини зазору між гальмівними колодками і диском (барабаном), і навіть від стиску застосовуваного робочого тіла.

У розрахунках приймають такі значення: $t''_2=0,05 - 0,2$ с – для легкових автомобілів; 0,05 - 0,4 с - для вантажних автомобілів з гідроприводом; 0,15 - 1,5 с - для вантажних автомобілів з пневмоприводом; 0,2 – 1,3 – для автобусів.

Подальше поліпшення гальмівних властивостей здійснюється антиблокувальною системою (АБС), що призначена для забезпечення ефективного гальмування автомобіля в різних умовах при збереженні стійкості. Принципова схема АБС (рис. 3, [2]) включає датчик динамічного стану колеса 1, електронний блок управління (ЕБУ) 2, регулятор тиску (РТ) 3 та акумулятор робочого тіла 4, вбудовані в гальмівну систему автомобіля.

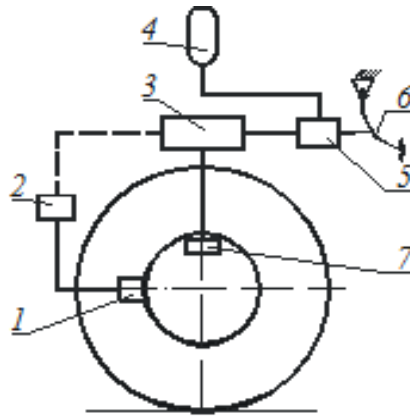


Рисунок 3 – Принципова схема АБС

АБС може працювати за різними алгоритмами. У основі лежить принцип релейного автоматичного управління гальмуванням із зворотним зв'язком по динамічному стану колеса, оцінюваного за величиною чи характеру зміни кінематичного параметра, що характеризує процес гальмування. Для з'ясування принципу роботи АБС розглянемо процес гальмування колеса. З цією метою з рівняння рівноваги колеса, що гальмує, при $M_f \approx 0$ отримаємо

$$\frac{d\omega_k}{dt} = \frac{R_{xm} - M_m}{J_k} \quad (4)$$

Відносна зміна загальної гальмівної сили, обумовлена зміною гальмівних сил на осях (приймаємо, то гальмівні сили на лівому та правому колесах однієї осі рівні між собою)

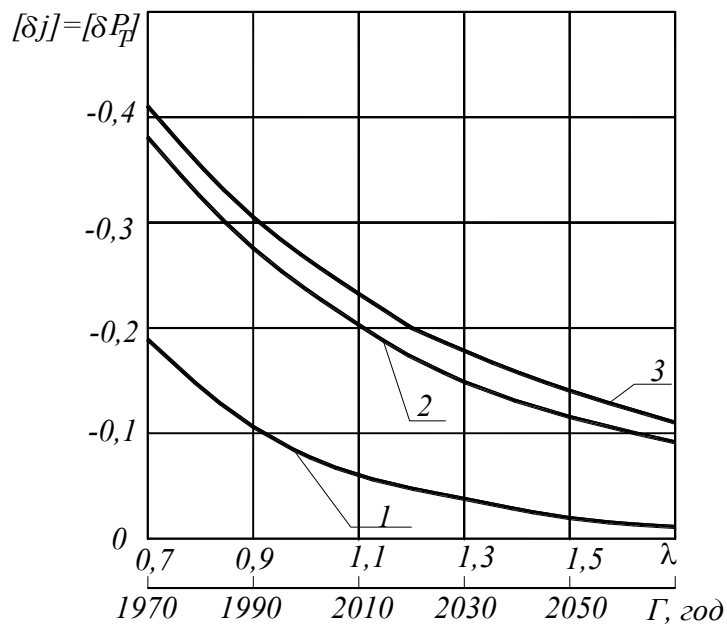
$$\begin{aligned} \delta P_T = \delta j &= \frac{\Delta P_T}{P_T} = \frac{\Delta P_{T1}}{P_T} + \frac{\Delta P_{T2}}{P_T} = \frac{\Delta P_{T1} P_{T1}}{P_{T1} P_T} + \frac{\Delta P_{T2} P_{T2}}{P_{T2} P_T} = \\ &= \beta_{\partial 0} \cdot \delta P_{T1} + (1 - \beta_{\partial 0}) \cdot \delta P_{T2} = \beta_{\partial 0} \cdot (\delta P_{T1} - \delta P_{T2}) + \delta P_{T2} \end{aligned} \quad (5)$$

На рисунку 4 наведені криві (5) для автомобілів категорії M_1 при випробуваннях 0, I, II та під час перевірки гальмівних властивостей легкових автомобілів, що знаходяться в експлуатації.

При розгляді, як приклад дискових і барабанних гальмівних механізмів, визначено, що коефіцієнт нерівномірності гальмівних моментів на одній осі становить від - 0,173 до - 0,285 (дискові) і від - 0,239 до - 0,339 (барабанні).

Література

1. Единообразні приписи, що торкаються офіційного затвердження транспортних засобів в відношенні гальмування. Правила ЄЕК ООН №13: Вид-во ООН, 1973. 41с.
2. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навч. посібник. Харків: ХНАДУ, 2003. 292 с.



: 1 – при випробуваннях 0 («холодні» гальма); 2 – при випробуваннях I та в експлуатації; 3 – при випробуваннях II

Рисунок 4 - Залежність допустимого зменшення загальної гальмівної сили (уповільнення, що встановилося) автомобілів категорії M_1 від часу

3. ДСТУ 3649–97. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методики контролю. Введ. 1999. К.: Видавництво стандартів, 1999. 19 с.

4. Волков В.П. Забезпечення стабільності гальмових властивостей автотransпортних засобів. Харків: Вид-во ХНАДУ, 2003. 306 с.

5. Леонтьев, Д. М., Михалевич, М. Г., & Фролов, А. А. (2018). Вплив вертикального навантаження на гальмівну силу та коефіцієнт зчеплення шини автомобільного колеса. Теорія та практика судової експертизи і криміналістики, (18), 383-392.

6. Leontiev, D., & Don, E. (2016). Specifics of automobile dual wheels interaction with the supporting surface. Automobile transport, (39), 74-79.

7. Леонтьев, Д. М., Тімонін, В. О., Савчук, А. Д., Губарьков, С. С., Леонтьев, Д. Н., & Тимонин, В. А. (2019). Оцінка ефективності гальмування чотиривісного транспортного засобу в разі виходу з ладу одного з контурів його робочої гальмової системи. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (16), 26-34.

8. Леонтьев Д.М., Рижих Л.О., Бикадоров О.В. та інші. (2010). Методи розрахунку коефіцієнту зчеплення, що реалізується при коченні колеса в гальмівному режимі. Автомобільний транспорт, (27), 7-12.

9. Leontiev D., Klymenko V., Aloksa M., Sylchenko M. (2022) Regarding the issue of determining the deceleration of a two-axle vehicle with a damaged brake system. Automobile transport, (50), 21-28.

10. Клименко В.І., Капский Д.В., Леонтьев Д. М., Куріпка О. В., Фролов А.А. (2021). Визначення тангенціальних властивостей одинарної пневматичної

шини у режимі гальмування транспортного засобу. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (19), 28-34.

11. Frolov A., Leontiev D. (2022). Determination of the average torsional stiffness of tires of a double vehicle wheel during its interaction with the road surface. Automobile transport, (51), 14-25.

12. Шуклінов С. М., Леонтьев Д. М., Ужва А. В., Ткачов О. Ю. (2023). Визначення радіусу кочення колеса при моделюванні динаміки драгстера. Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців : наук. пр. IV Міжнар. наук.-практ. конф. до Дня автомобіліста та дорожника, 23–25 жовт. 2023 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 32–37.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Шевченко Денис, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Shevchenko@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ VOLKSWAGEN

Система упорскування "K-Jetronic" фірми BOSCH є механічною системою постійного впорскування палива.

Паливо під тиском надходить до форсунок, встановлених перед впускними клапанами у впускному колекторі.

Форсунка безперервно розпорошує паливо, що надходить під тиском. Тиск палива (витрата) залежить від навантаження двигуна (від розрідження у впускному колекторі) і від температури рідини, що охолоджує.

Кількість повітря, що підводиться постійно вимірюється витратоміром, а кількість палива, що впорскується, суворо пропорційно (1:14,7) кількості повітря, що надходить (за винятком ряду режимів роботи двигуна, таких як пуск холодного двигуна, робота під повним навантаженням і т.д.) і регулюється дозатором-розподільником палива [1, 2].

Дозатор-розподільник або регулятор складу та кількості робочої суміші складається з регулятора кількості палива та витратоміра повітря.

Регулювання кількості палива забезпечується розподільником, керованим витратоміром повітря та регулятором керуючого тиску.

У свою чергу вплив регулятора керуючого тиску визначається величиною розрідження, що підводиться до нього, у впускному трубопроводі і температурою рідини системи охолодження двигуна.

Принцип дії. Паливний насос 2 (рис. 1), забирає паливо з бака 1 і подає його під тиском близько 0,5 МПа через накопичувач 3 і фільтр 4 до каналу "А" дозатора-розподільника 6.

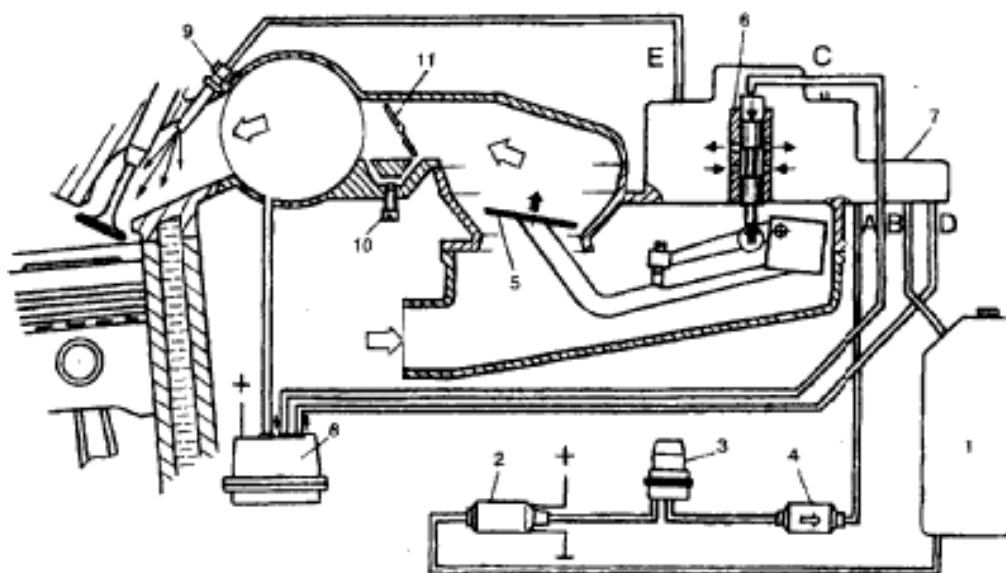
Для того, щоб встановити необхідне співвідношення між кількістю повітря, що надходить, і кількістю впорскуваного бензину використовується

витратомір повітря з так званим напірним диском 5 і дозатор-розподільник палива 6.

Насправді витратомір не заміряє, в буквальному значенні слова, витрату повітря, просто його напірний диск переміщається "пропорційно" до витрати повітря. А сама назва "витратомір" пояснюється тим, що в цьому пристрої використано принцип дії фізичного приладу, що називається трубкою Вентурі і застосовується для вимірювання витрати газів.

Витратомір повітря системи упорскування палива є прецизійним механізмом. Напірний диск дуже легкий (товщина приблизно 1 мм, діаметр — 100 мм) кріпиться до важеля, з іншого боку важеля (див. рис. 1) встановлений балансир, що врівноважує всю систему. З урахуванням того, що вісь обертання важеля лежить в опорах з мінімальним тертям (підшипники кочення), диск дуже "чуйно" реагує на зміну витрати повітря.

На осі обертання важеля напірного диска закріплений 5 другий важіль з роликом. Ролик упирається безпосередньо у нижній кінець плунжера дозатора-розподільника.



A - підведення палива до дозатора-розподільника, B - злив палива в бак,
C - канал керуючого тиску, D - канал поштовхового клапана,
E - підведення палива до форсунок

Рисунок 1 – Схема головної дозуючої системи та системи холостого ходу системи упорскування "K-Jetronic"

Наявність другого важеля з регулювальним гвинтом дозволяє змінювати відносне положення важелів, а значить напірного диска та ролика (плунжера розподільника) і цим самим змінювати склад робочої суміші.

Механічна система: витратомір повітря — дозатор-розподільник забезпечує лише відповідність переміщень напірного диска та плунжера розподільника. Але, якщо трубка Вентурі забезпечує лінійну залежність переміщення напірного диска від витрати повітря, то найпростіший за формою

розподільник плунжера, лінійної залежності між переміщенням плунжера і витратою бензину вже не дає.

Для отримання лінійної залежності застосована система диференціальних клапанів.

У цьому випадку незалежним змінним (аргументом) буде переміщення плунжера, а функцією — витрата бензину.

З дозатора-розподільника паливо каналами "Е" надходить до форсунок упорскування 9 (див. рис. 2).

Отже, переміщення напорного диска викликає переміщення розподільника плунжера (рис. 2).

Взаємозв'язок переміщень та згадані вище диференціальні клапани забезпечують стехометричне співвідношення повітря та бензину у робочій суміші.

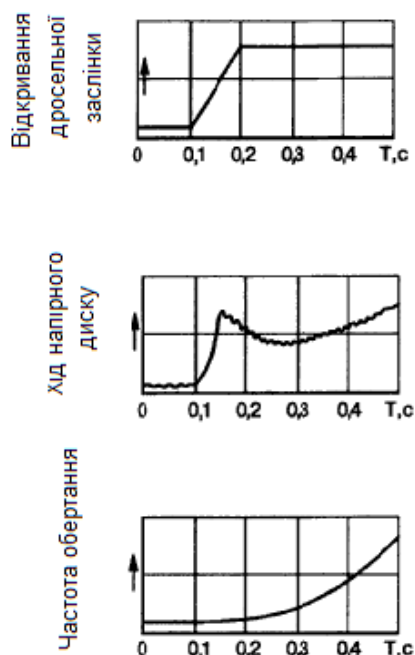


Рисунок 2 - Взаємозв'язок відкриття дросельної заслінки, переміщення напорного диска та частоти обертання колінчастого валу

Але, характерною особливістю автомобільного двигуна є те, що він має бути пристосований до різних режимів: холодний пуск, холостий хід, часткові навантаження, повне навантаження.

Суміш доводиться за відповідних режимів або збагачувати або збідняти.

Для отримання відповідності складу робочої суміші режиму роботи двигуна в системі упорскування з боку верхньої частини плунжера (див. рис. 2) у розподільник підходить по каналу "С" керуючий тиск.

Величина останнього визначається регулятором тиску керуючого 8. Цей тиск в залежності від режиму роботи двигуна має більшу або меншу величину.

У першому випадку опір переміщенню плунжера збільшується - суміш збіднюється. У другому випадку, навпаки, опір переміщенню плунжера зменшується - суміш стає багатшою.

Література

1. Сергій Онищенко Інформаційні машини та кібернетичні системи: [навчальний посібник] / Сергій Онищенко. Бердянськ, БДПУ, 2015. 191с.
2. Діагностування електрообладнання транспортних засобів / С.М. Єсаулов, О.Ф. Бабічева; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 101 с.

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Шемерт Едуард ст. гр. А-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ І НАПРЯМОК ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛІВ

Автомобілі створюють одну з найважливіших екологічних проблем, яка характеризується значним негативним впливом на екосистеми та здоров'я населення через забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин, надмірним споживанням видобувних невідновлюваних палив і, відповідно, вибір того чи іншого способу підвищення екологічної безпеки автомобілів як на стадії проектування, так і в умовах експлуатації повинен здійснюватись на основі всебічної, комплексної оцінки ефективності паливовикористання та забруднюючих викидів автомобілів з врахуванням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів [1].

На рис. 1 і в табл. 1 показано як у 2015 році відбувався розподіл споживання бензину, дизельного палива та газових палив автомобілями різних типів [2].

Легкові автомобілі індивідуальних власників споживають найбільшу частку бензину - 52,31%, вантажні автомобілі - 24,79%, автобуси, легкові державної власності і спеціальні автомобілі відповідно - 8,94, 6,67 та 7,30%

Основними споживачами дизельного палива є вантажні автомобілі - 78,22%, автобуси споживають 12,16%, легкові автомобілі державної власності - 0,41%, легкові автомобілі індивідуальних власників - 2,61% та спеціальні - 6,59%.

Споживання зрідженого нафтового газу майже порівну розподіляється між вантажними автомобілями (29,04%), легковими автомобілями індивідуальних власників (29,42%) і спеціальними автомобілями (33,33%), а решта припадає на пасажирські автобуси (5,09%) та легкові автомобілі державної і колективної власності (3,12%).

Системний аналіз - це сукупність специфічних методів і засобів, які використовуються для підготовки і обґрунтування рішень до складних проблем, що виникають в практичній і теоретичній діяльності [3]. Входом

системи загалом і процесу рівня А служать паливо m_n (зв'язана хімічна енергія) і повітря $m_{нов}$, які поступають в робочий процес ДВЗ.

Таблиця 1 - Споживання палив автомобілями різних типів

Тип автомобіля	Витрата палива, %			
	Бензин	Дизельне	ЗНГ	СПГ
Вантажні	24,79	78,22	29,04	56,30
Автобуси	8,94	12,16	5,09	33,17
Легкові	6,67	0,41	3,12	0,19
Легкові інд	52,31	2,61	29,42	2,40
Спеціальні	7,30	6,59	33,33	7,94
Разом	100,00	100,00	100,00	100,00

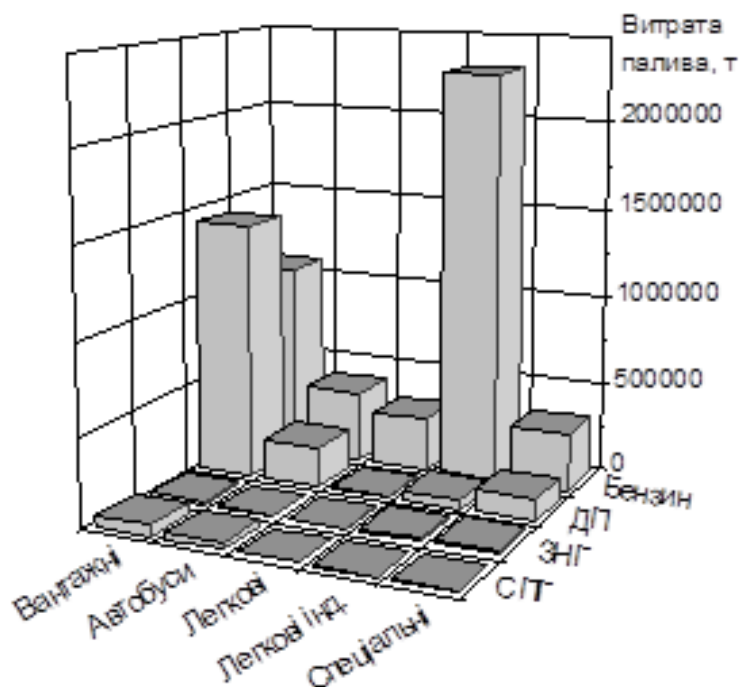


Рисунок 1 - Розподіл споживання різних видів палива

Система «транспортний засіб, автомобіль» функціонує в зовнішньому середовищі, є відкритою, так як обмінюється з середовищем речовиною, енергією, інформацією.

Основні взаємозв'язки з середовищем, які враховуються при дослідженні системи [4]:

Env_1 - із середовища, яке характеризується тиском P_0 , температурою T_0 і відотною вологою φ_0 поступає паливо і повітря в процес рівня А;

Env 2 - середовищу віддається частина теплової енергії, отриманої в процесі ривня ;

Env 3 - в середовище поступає супутній вихід процесу ривня А (продукти згоряння $M_{пз}$, частина теплової енергії E_T , шумове забруднення W);

Env 4 - середовищу віддається частина теплової енергії, яка утворюється в процесі ривня С (враховується К.К.Д. трансмісії η_{mp});

Env 5 відображає взаємодію автомобіля з повітрям, яка враховується силою опору повітря P_W ;

Env 6 відображає взаємодію автомобіля з дорогою, яка враховується силою опору кочення P_f і силою опору підйому P_i ;

Env 7 враховує інформацію, що характеризує транспортні, атмосферні та інші умови, характерні для реального маршруту.

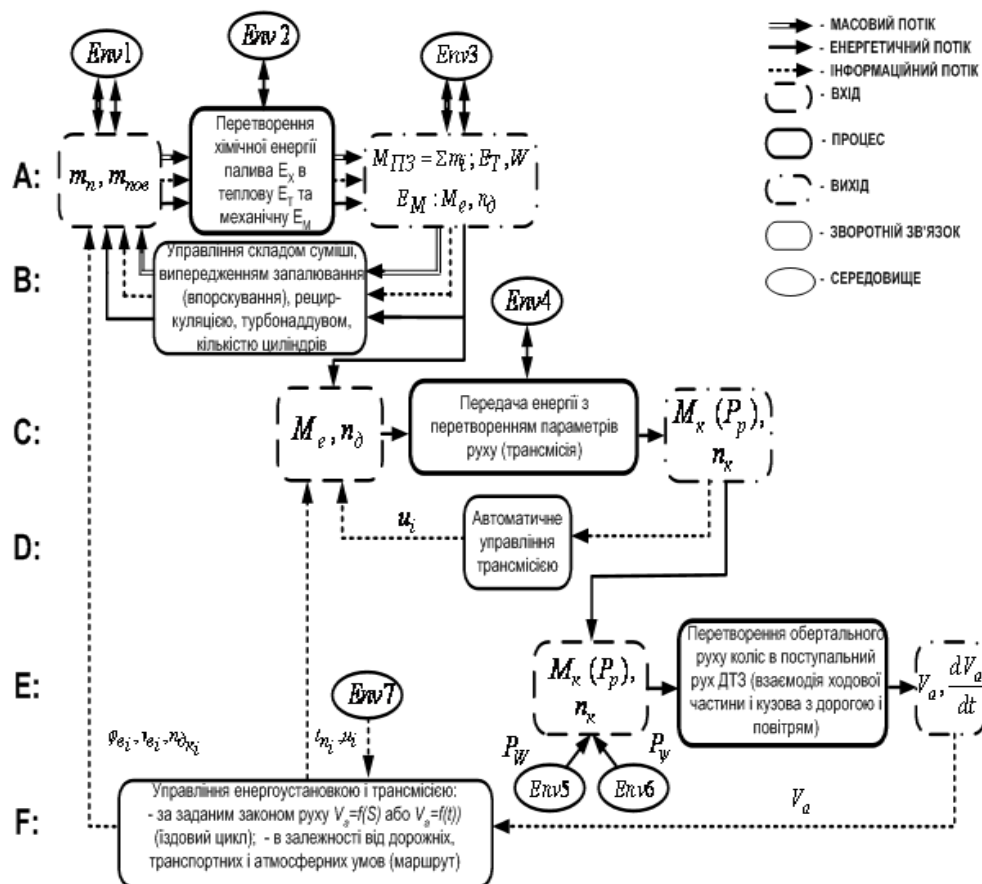


Рисунок 2 - Система «транспортний засіб, автомобіль»

Як обмеження для ЕУ як підсистеми автомобіля розглядаються визначені величини питомих витрати палива та викидів забруднюючих речовин, $г/(кВт\cdot год)$, для системи загалом - значення максимальної швидкості автомобіля V_{amax} , а також питомі витрати палива та викиди ($мДж/(т\cdot км)$, $г/(т\cdot км/год)$), тобто цілі функціонування системи, які визначають рівень її екологічної безпеки.

Таким чином, запропонована система сформована у відповідності до системних принципів:

- визначено цілі функціонування автомобіля як системи;
- виділено основні процеси системи, які забезпечують досягнення цих цілей;
- виділено основні функціональні елементи та відношення між ними через оцінку їх участі в процесах системи;
- для всіх процесів визначено параметри управління (зворотні зв'язки) з метою зближення показників виходу із заданими показниками;
- відображені найсуттєвіші взаємозв'язки із середовищем.

В системі підсистемою, яка визначає рівень екологічної безпеки автомобіля за критеріями ефективності паливовикористання та забруднення середовища, є ЕУ, а запропонований підхід дозволяє систематизувати можливі схеми ЕУ та досліджувати вплив різних ЕУ на екологічну безпеку автомобіля в розробленій моделі функціонування системи.

В роботі запропоновано групові критерії ефективності паливовикористання, що об'єднують показники ефективності паливовикористання в j -х умовах:

- для двигуна :

$$K_{FD} = \frac{g_{FDB}}{g_{FD}}; \quad (1)$$

- для ЕУ :

$$K_{EEU} = \sum_{j=1}^m \gamma_j \frac{g_{FEUBj}}{g_{FEUj}}; \quad (2)$$

- для ДТЗ:

$$K_{FTZ} = \sum_{j=1}^m \gamma_j \frac{q_{FTZBj}}{q_{FTZj}}, \quad (3)$$

де g_{FDB} , g_{FEUBj} , q_{FTZBj} - базові питомі витрати палива в j -х умовах, МДж/(кВт год), МДж/(т км) або МДж/(т км/год);

g_{FD} , g_{FEUj} , q_{FTZj} - питомі витрати палива в j -х умовах, МДж/(кВт год), МДж/(т км) або МДж/(т км/год);

γ_j - коефіцієнти вагомості показників ефективності паливовикористання відповідно в міському і магістральному циклах, на міському і заміському маршрутах ($\sum \gamma_j = 1$).

Література

1. Екобезпека та ресурсозбереження при утилізації автомобілів: підручник / Н.В. Внукова, В.П. Волков, І.В. Грицук і ін. Херсон: Вид-цтво ОЛДІ-ПЛЮС,

2021. 229 с. 2. Mischke A. E. Entwicklungstendenzen fur eine gesteigerte Wirtschaftlichkeit deinnutzfahrzeugen insbesondere bei Lastkraftwagen // XXI FISITA Congreß. Belgrad. 1986. v. 4. S. 25-39. 3. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів / В. П. Матейчик // Вісник НТУ“ХПІ” №7(т.2). Харків, НТУ“ХПІ”. 2002. С.162-167. 4. Матейчик В.П. Методи оцінки показників енергоустановок на різних етапах їх вибору для ДТЗ / В.П. Матейчик // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів: зб. Наук. Пр., вип. 14. Київ: НТУ, ТАУ. - 2002. С. 73-76.

Науковий консультант: Волков Володимир Петрович, д.т.н, проф. каф. ІСАТ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Яровий Олександр, ст. гр. А-52-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Yarovy@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА ГІБРИДНИХ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

Найбільш поширеною технологією є поєднання ДВЗ з однією або кількома електричними двигунами завдяки легкому доступу до електрики через систему електромереж.

Існує кілька рівнів гібридизації, які дозволяють класифікувати транспортні засоби:

- мікрогібрид (Micro-hybrid);
- помірний гібрид (Mild-Hybrid);
- повний гібрид (FHEV);
- гібрид, з можливістю підзарядки від електромережі (Plug-inHybrid);
- електричний автомобіль розширеного діапазону (EREV).

Мікрогібрид (Micro-hybrid): це стосується звичайних автомобілів із технологією «Start & Stop». Це дозволяє двигуну переставати працювати при невеликих зупинках (зупинка при виїзді з другорядної дороги або зупинка на світлофорі) і починати працювати знову досить швидко, щоб користувач цього не відчував.

Ця технологія базується на стартергенераторі, який допомагає двигуну при перезапуску. Іноді ця система забезпечує регенерацію енергії під час фаз гальмування.

Помірний гібрид (Mild-Hybrid): для автомобіля доступна електрична допомога. Це може допомогти ДВЗ з режимом надуву, доданим до системи «Start & Stop» та рекуперативного гальмування.

Honda Insight та Civic, а також Mercedes S400 є прикладами таких гібридних транспортних засобів.

Повний гібрид (FHEV) може працювати лише на двигуні внутрішнього згоряння (наприклад, дизель/бензин), електричному двигуні (тобто живленні від акумуляторів) або на комбінації.

Повний гібрид не підключається до підзарядки; акумулятор заряджається при запуску двигуна внутрішнього згорання.

Toyota Prius - найпоширеніший приклад цього гібриду а останнім часом і Peugeot 3008 Hybrid, Audi Q5 та BMW ActiveHybrid 5.

Plug-in-Hybrid (PHEV): повністю гібридний автомобіль, який можна заряджати від зовнішнього джерела електричної енергії.

Таким чином, вдосконалюється електричний діапазон, і це накладає різні стратегії для використання батареї.

Перший режим, коли батарея використовується якомога більше - режим вичерпання заряду або другий, коли батарея зберігається і стан заряду зберігається майже постійним - режим підтримання заряду.

Як впливає з назви, гібридний модуль (PHEV) вимагає підключення до електромережі, щоб повністю зарядити акумулятор. PHEV можна запускати і в електричному режимі без втручання ДВЗ та і в режимі звичайного авто при розрядженій батареї.

Електричний автомобіль розширеного діапазону (EREV): останній рівень перед повним електричним транспортним засобом, EREV використовує двигун внутрішнього згорання як джерело енергії, іншими словами, для зарядки акумулятора, але не бере безпосередньої участі в тязі транспортного засобу.

Призначення цих транспортних засобів полягає у використанні малого двигуна внутрішнього згорання у найкращій робочій точці, щоб забезпечити найкращу ефективність двигуна.

Від Mild-Hybrid до EREV, стратегія управління електричною частиною дуже важлива для того, щоб зменшити споживання палива та покращити глобальну ефективність автомобіля.

Можна вибрати кілька режимів роботи щодо ситуації водіння, наприклад, з повними фазами електричного водіння.

На рівень гібридизації автомобіля також впливає спосіб складання різних компонентів. Дійсно, зв'язок між двома енергетичними системами може бути здійснений різними способами.

Рішення зв'язку, пов'язане з конкретним просторовим розташуванням компонентів, визначає архітектуру.

Послідовна архітектура. У цьому типі архітектури механічний зв'язок з колесами повністю виконаний з електричним двигуном (ЕД).

Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) пов'язаний з другим електричним двигуном, який працює як генератор і перетворює механічну енергію в електричну енергію.

Ця енергія або надходить до першої електричного двигуна, що рухає транспортний засіб, або допомагає заряджати акумулятор.

Однією з переваг послідовної архітектури є те, що вона дає можливість контролювати режим роботи двигуна внутрішнього згорання, щоб він міг працювати в області оптимальної ефективності.

Однак два електричні двигуни збільшують ціну та вагу цієї архітектури, а також зайнятий обсяг.

Крім того, глобальна ефективність архітектури знижується через багато перетворень енергії між двигуном внутрішнього згоряння та колесами.

Дійсно, перетворення енергії від механічної до електричної, а потім назад до механічної зменшує ефективність загальної системи, а отже, і інтерес цієї архітектури.

Архітектура цікава під час роботи в містах, завдяки можливостям електричної системи працювати на невисоких швидкостях та частими зупинками, максимально використати потенціал гібридного авто, але не дуже підходить для використання на шосе з високими вимогами до потужності.

Chevrolet Volt та Opel Ampera - приклади транспортних засобів з гібридною послідовною архітектурою.

Послідовна архітектура. У цьому типі архітектури механічний зв'язок з колесами повністю виконаний з електричним двигуном (ЕД).

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) пов'язаний з другим електричним двигуном, який працює як генератор і перетворює механічну енергію в електричну енергію. Ця енергія або надходить до першої електричного двигуна, що рухає транспортний засіб, або допомагає заряджати акумулятор.

Однією з переваг цієї архітектури є те, що вона дає можливість визначати і контролювати режим роботи двигуна внутрішнього згоряння, щоб він міг працювати в області оптимальної ефективності.

Однак два електричні двигуни збільшують ціну та вагу цієї архітектури а також зайнятий обсяг. Крім того, глобальна ефективність архітектури знижується через багато перетворень енергії між двигуном внутрішнього згоряння та колесами.

У паралельній архітектурі дві системи механічно з'єднані з колесами і обидві можуть рухати транспортний засіб або разом, або окремо.

Як видно, потрібен лише один електричний двигун, що представляє перевагу щодо обсягу, ваги та ціни.

Існує два типи механічних систем зчеплення: швидкісні та муфтові з крутним моментом: - швидкісне зчеплення може бути можливим завдяки планетарному набору передач; - муфта крутного моменту є найпоширенішою системою зчеплення, яка використовується в цій архітектурі (Honda Insight, Peugeot 3008 Hybrid, Porsche Panamera S-E Hybrid).

Муфта перед передачею полягає у використанні тягового електричного двигуна перед системою передач (шестерня коробки передач, наприклад, варіатор), або ремінним шківом, або наприклад, зірочки.

Постмуфта можлива завдяки інтеграції електричного двигуна після передач.

Нарешті, зчеплення через дорогу полягає в з'єднанні двох енергетичних систем на різних осях коліс, наприклад, використовуваних Peugeot 3008.

Переваги паралельної архітектури випливають з того, що ця архітектура дуже близька до звичайного транспортного засобу. Приріст в обсязі, вазі та ціні значний.

Однак двигун внутрішнього згоряння безпосередньо пов'язаний з колесами, що робить його більше звичним для управління з метою орієнтації на

його оптимальну робочу область. Цей тип архітектури в основному використовується в малогібридизованих транспортних засобах (мікро- або м'якогібридних) як електричний прискорювач для допомоги двигуну внутрішнього згоряння.

Послідовно-паралельна архітектура - це складна архітектура, що поєднує паралельну та послідовну. Дійсно, використовуються дві системи силових муфт. Цей метод дає доступ до кращого контролю над двигуном та акумулятором, поєднуючи переваги кожної архітектури.

Незважаючи на те, що дві архітектури використовують усі переваги, деякі недоліки залишаються. Ця система з двома електричними двигунами та двома муфтами є великою за обсягом і важкою. Це також складніше для управління, ніж попередні архітектури, але дає кращий контроль роботи двигуна. Перше покоління Toyota Prius використовує цю архітектуру з гібридною системою Toyota (THS) нещодавно замінено Гібридним приводом синергії (HSD).

Існує кілька типів електричних двигунів, які можна виділити за типом аліментації та їх швидкісні характеристики обертання:

- двигуни постійного струму;
- двигуни змінного струму: синхронні машини альтернативного струму;
- індукційні двигуни: асинхронні машини альтернативного струму.

Існують два режими роботи електричного двигуна:

- при постійному крутному моменті: протирушійна сила збільшується лінійно з швидкістю обертання, поки вона не досягне певної межі, така ж поведінка спостерігається і для максимальної потужності також і зазвичай ця межа встановлюється електронною системою постачання і його максимальною напругою;

- при постійній потужності протирушійне зусилля підтримується до максимального значення на зменшення магнітного поля збудження в машині, такий процес називається послабленням поля.

Література

1. Diagram Ragona [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/figure/Ragone-plot-for-electrochemicalenergy-storagedevices-and-traditional_fig1_331616812

2. В.П. Кужель, В.В. Ісюк, Ю.П. Гончарук, Р.М. Дмитренко Особливості експлуатації автомобілів з ГСУ на території України. Вінницький національний технічний університет, 2017р.

3. Гібридні автомобілі: монографія / О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков, А. В. Гнатов, А. В. Колесніков; Харків: Крок, 2008.

4. В.І. Кубіч ГІБРИДНІ СИЛОВІ УСТАНОВКИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ: Навчальний посібник. Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя 2019р.

5. Workshop Manual MMC 2020[Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: http://mmcmmanuals.ru/manuals/outlander_phev/online/Service_Manual_2020/M1/index/index.html

6. Гібридні автомобілі серії Plug-in. Бензиново-електричний Hybrid Synergy Drive. ПОСІБНИК ІЗ РОЗБИРАННЯ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ.

7. Обслуговування гібридних автомобілів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.delphiautoparts.com/rus/ru/toolbox/obsluzivanie-gibridnyhavtomobilei-rekomendacii-po-tehnike-bezopasnosti

Науковий консультант: Назаров Олександр Іванович, к.т.н., доц. каф. ICAT, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Ярцев Даніїл, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Yartsev@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПРОДУКТІВ ЗНОСУ В МОТОРНІЙ ОЛИВІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОБУСА VAN HOOL

Регламентовані терміни зміни олив не завжди обґрунтовані через застосування двигунів різних моделей і модифікацій, що працюють у неоднакових умовах експлуатації. Оливи, як правило, до терміну заміни не вичерпують запасу своїх експлуатаційних властивостей і можуть працювати довше без зниження надійності роботи агрегатів. Важливо вчасно визначити термін зміни оливи, роблячи його заміну на підставі бракувальних показників, тобто таких показників, при досягненні яких олива вважається непридатною для подальшого застосування в двигуні і підлягає заміні. При досягненні одним або декількома показниками якості оливи граничних значень відбувається збільшення швидкості зношування деталей, що в результаті знижує надійність і економічність автомобілів та автобусів [1, 2].

У фахівців з олив існує думка, що 50% зносу двигуна доводиться на останні 20% терміну служби оливи. Таким чином, вважається, що основним завданням збереження працездатності деталей та агрегатів двигуна, являється визначення моменту, коли олива відпрацювала 80% свого ресурсу, своєчасний його злив і заміна з одночасною заміною масляного фільтру.

Моторні оливи при роботі автомобілів та автобусів в різних умовах експлуатації піддаються комплексній дії високої температури, знакозмінного навантаження, кисню та запиленості повітря, продуктів згоряння палива і зношування деталей основних спряжень деталей та вмісту сторонніх домішок, частинок зносу. При цьому погіршується якість олив, змінюється фізико-хімічні характеристики та властивості, зменшується термін їх експлуатації.

Основна функція, яку виконують моторні оливи – це зниження тертя і зносу спряжень деталей силових агрегатів за рахунок створення на їх поверхні оливної плівки. Одночасно з цим оливи силових агрегатів автомобілів повинні забезпечувати у спряженнях деталей. Виконання зазначених функцій оливами можливо тільки у випадку, якщо їх експлуатаційні властивості і показники будуть задовольняти ряду експлуатаційних вимог [3, 4].

Моторні оливи мають набір фізико-хімічних властивостей, які характеризують їх експлуатаційне призначення. Наприклад, в'язкісно-температурні властивості мають в експлуатації багатостороннє значення.

В'язкість олив значною мірою визначають режими змащення, відведення тепла від робочих поверхонь і ущільнення зазорів, енергетичних втрат в двигуні і трансмісії, їх експлуатаційні якості, швидкість запуску двигуна, прокачування оливи в системі змащення, охолодження деталей.

Мийно-диспергуючі властивості оливи визначають її здатність забезпечувати необхідну якість деталей силових агрегатів, утримувати продукти окислення і забруднення у зваженому стані, щоб вони не відкладались на робочих поверхнях. Чим вище ці властивості, тим більше нерозчинних речовин (продуктів старіння) може утримуватися в робочій моторній оливі без випадання в осад.

Відомо [5], що антиокислювальні властивості олив в значній мірі визначають їх стійкість до старіння. Запобігти процесу окислення моторних олив через жорсткі умови повністю не представляється можливим. Відповідно є необхідність очищення олив від небажаних з'єднань, при використанні синтетичних базових компонентів, а також при введенні антиокислювальних присадок, щоб можливо загальмувати процеси окиснення. Зазначимо, що при наявності процесів окиснення олив зростає їх в'язкість та корозійна здатність, до утворення відкладень, забруднення фільтрів.

Протизносні властивості моторної оливи сприяють перешкоджанню зносу спряжень деталей, утворення на робочих поверхнях антифрикційної плівки, яка виключає фактичний контакт деталей. Протизносні властивості олив залежать від їх в'язкості і в'язкісно-температурної характеристики, здатності змащення, чистоти оливи.

Антикорозійні властивості олив силових агрегатів автомобілів залежать від складу компонентів, концентрації антикорозійних, анти окисних присадок, а також металів де активаторів. Визначено, що у процесі старіння корозійність олив зростає. Оливи з мало сірчистої нафти та високим вмістом парафінових вуглеводнів більш схильні до збільшення корозійності. При цьому утворюються агресивні органічні кислоти, спостерігається взаємодія з кольоровими металами і їх сплавами.

Виходячи із зазначеного моторні і трансмісійні оливи повинні виготовлятися відповідно до вимог діючих стандартів за технологічним регламентом, затвердженим у встановленому порядку, а за фізико-хімічними показниками відповідати вимогам і нормам. Для встановлення обґрунтованих термінів служби олив необхідно також мати відомості про характер їх забруднень в процесі експлуатації.

В картері працюючого силового агрегату спостерігається суміш вихідної оливи з різними продуктами старіння. Показано, що від них повністю очистити оливу не вдається і кількість вуглецевих частинок в оливі підвищується. Експлуатаційна динаміка властивостей моторних олив залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є:

- вихідні властивості оливи;

- конструктивні особливості силового агрегату автомобіля, його технічний стан і режим роботи;
- властивостей оливи, використовуваної для доливання, технологія технічного обслуговування і умови роботи автомобіля.

При функціонуванні силових агрегатів автомобіля та автобуса неодмінно відбувається зміна показників якості моторної оливи, причому завжди в гіршу сторону. Працездатність оливи зазвичай оцінюють по одному або декількох показниках граничного стану, при досягненні яких відбувається помітне збільшення швидкості зношування, утворення осадів, зниження надійності. Якість моторних олив впливає на ефективність роботи систем зниження токсичності, загальний ресурс деталей і силового агрегату в цілому, витрати палива і оливи.

Експериментальні дослідження проводились у дослідно-аналітичній лабораторії по дослідженню палив і експлуатаційних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Для визначення зміни густини, в'язкості та концентрації заліза в моторній оливі при експлуатації, були відібрані проби олив з різним напрацюванням з двигуна автобуса, що працює на міжміському маршруті. Результати випробування на МФС-7 моторної оливи взятої з двигуна автобуса в залежності від напрацювання представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати аналізу концентрації заліза, в'язкості та густини моторної оливи Shell Rimula TX SAE 15W-40 API CF-4/SG

Найменування показників	Чиста олива	Автобус Van Hool		
1. Робота оливи, км	0	30 200	35 100	39 000
2. В'язкість кінематична при 100°C, мм ² /с	14,4	13,1	12,6	12,3
3. Густина при 20 °C, г/см ³	0,8881	0,8874	0,8868	0,8864
4. Концентрація Fe, г/т	-	112	115	120

В результаті дослідження було встановлено що густина на момент зміни зменшилась на 0,0017 г/см³ (0,19%) від значення не працюючий оливи. В'язкість кінематична зменшилась на 2,1 мм²/с (14,6%). Концентрація заліза склала 120 г/т, що не перевищує бракувальне значення 150 г/т. По показникам, що аналізувались, моторну оливу можна використовувати подальшому в експлуатації.

Література

1. Антипенко А.М., Войтов В.А., Климов П.М., Окача А.І., Романченко В.М., Ярошно С.Ю. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: Навчальний посібник для дистанційного навчання. Харків: Вировець А.П. «Апостроф», 2011. 234с.
2. Singh, Y. Tribological behavior as lubricant additive and physiochemical characterization of Jatropha oil blends. Friction, 2015. Vol 3(4). P. 320-332.

3. Ahmadi H., Mollazade K. An oil condition monitoring technique to determine the optimal oil type and maintenance schedule. *Structural Health Monitoring*. 2009. Вип. 8 (4). С. 331-339.

4. Наглюк І.С. Коли замінювати оливу у двигунах автомобілів сімейності КамАЗ. *Автошляховик України*. 1996. №2. С.9-10.

5. Наглюк І.С. Концепція оцінки властивостей моторної та трансмісійної оливи транспортних машин за енергетичними параметрами: дис. д-ра техн. наук: 05.22.20 / Харк. нац.. автом.-дорож. ун-т. Харків, 2013. 308 с.

Науковий консультант: Наглюк Михайло Іванович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Жуйборода Кирило Сергійович, бакалавр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: kirilzhyboroda@gmail.com,

ЗАСТОСУВАННЯ НА ДВИГУНІ VOLKSWAGEN GOLF 3 БЕЗПОСЕРЕДНІМ ВПОРСКУВАННЯМ БЕНЗИНУ РІЗНИХ СПОСОБІВ СУМІШОУТВОРЕННЯ

В даній роботі приведені перспективні розробки компанії Volkswagen, котрі торкаються двигунів автомобілів Volkswagen Lupo PSI та Golf PSI.

Першорядною метою розробки нових двигунів є зниження витрати палива та зменшення викиду шкідливих речовин.

При цьому отримані наступні результати: зниження завдяки економії палива витрат на експлуатацію автомобіля та отримання заохочувальних податкових пільг для автомобілів з низькими викидами шкідливих речовин, зниження забруднення довкілля шкідливими речовинами, економія сировинних ресурсів.

Системи з безпосереднім впорскуванням бензину дозволяють забезпечити:

- електронне регулювання системи охолодження, регульовані фази газорозподілу та рециркуляція відпрацьованих газів вже знайшли застосування на багатьох двигунах;

- збереження достатньої рівномірності обертання колінчастого валу, відключення циліндрів має сенс застосовувати тільки на багатоциліндрових двигунах. Для зниження вібрацій чотирициліндрових двигунів застосовують врівноважуючі вали;

- зміну ступеню стиснення і фази газорозподілу, що змінюються, реалізуються тільки за допомогою досить потужних механічних приводів;

- подальшу розробку і вдосконалення різних способів спалювання бідних сумішей припинена на користь створення двигунів із безпосереднім впорскуванням;

- безпосереднє уприскування бензину прийняте концерном Volkswagen, як найефективніший засіб економії палива, що забезпечує його зниження до 20%.

Основні технічні проблеми, що вирішені фахівцями Volkswagen:

1. Вирішена проблема очищення відпрацьованих газів.

Оксиди азоту, що утворюються при згорянні бідних пошарової і гомогенної сумішей, не можуть бути повністю відновлені до азоту в традиційному трикомпонентному нейтралізаторі.

Тільки завдяки новоствореному нейтралізатору, здатному акумулювати оксиди азоту, вдалося виконати норми Євро IV при спалюванні бідних сумішей. Цей нейтралізатор накопичує оксиди азоту, які потім переводяться в азот застосуванням низки цілеспрямованих заходів (рис. 1).

2. Іншою причиною затримки впровадження безпосереднього впорскування бензину була проблема нейтралізації сірки в паливі.

Внаслідок хімічної подібності з оксидами азоту сірка також може вловлюватися накопичувальним нейтралізатор, займаючи місце цих оксидів. Чим більше сірки містить паливо, тим частіше необхідно проводити регенерацію нейтралізатора, на яку припадає витратити паливо.

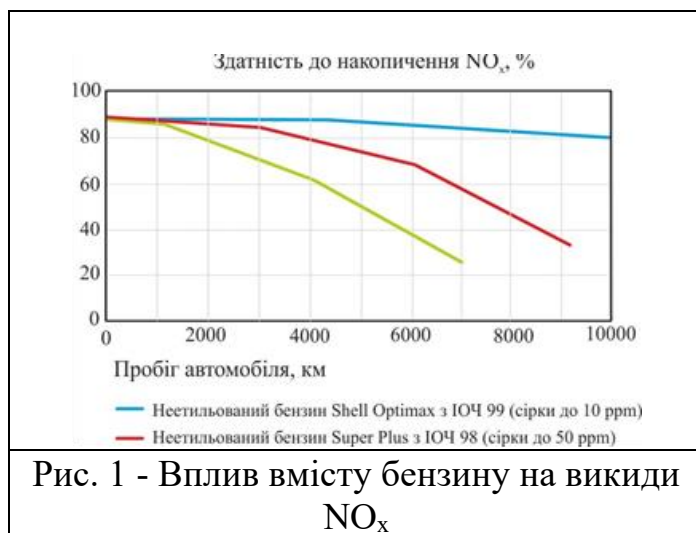


Рис. 1 - Вплив вмісту бензину на викиди NO_x

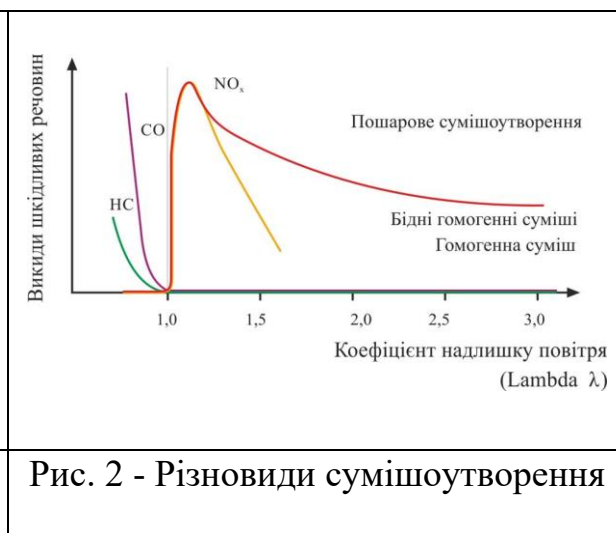


Рис. 2 - Різновиди сумішоутворення

3. Застосування організації різних способів сумішоутворення на бензинових ДВЗ (рис. 2).

Крім бідної пошарової та стехіометричної гомогенної сумішей у даному двигуні використовується суміш третього виду, а саме, гомогенна суміш стехіометричного складу.

Вибір того чи іншого способу сумішоутворення проводиться блоком управління двигуном залежності від крутного моменту та потужності двигуна з урахуванням вимог до викиду шкідливих речовин та вимог безпеки.

Робота двигуна при пошаровому сумішоутворенні. Пошарове сумішоутворення використовується при роботі двигуна при малих та середніх навантаженнях та частотах обертання (див. рис. 3).

Завдяки пошаровому розподілу палива в камері згоряння двигун працює з загальним коефіцієнтом надлишку повітря в діапазоні від 1,6 до 3.

Це досягається за рахунок того, що у впускному тракті головки циліндрів двигуна встановлена не одна а дві заслінки: дросельна та впускна.

Причому коли ДВЗ працює по шаровому сумішоутворенні впускна заслінка закрыта, а дросельна відкрита не повністю на 80%.

У середній частині камери згоряння поблизу свічки запалювання, знаходиться легкозаймиста робоча суміш.

Робота двигуна на бідній гомогенній суміші. На проміжних режимах, розташованих між режимами роботи двигуна на пошаровій суміші і гомогенній стехіометричній суміші, використовуються бідна гомогенна суміш, дивись рис. 4.

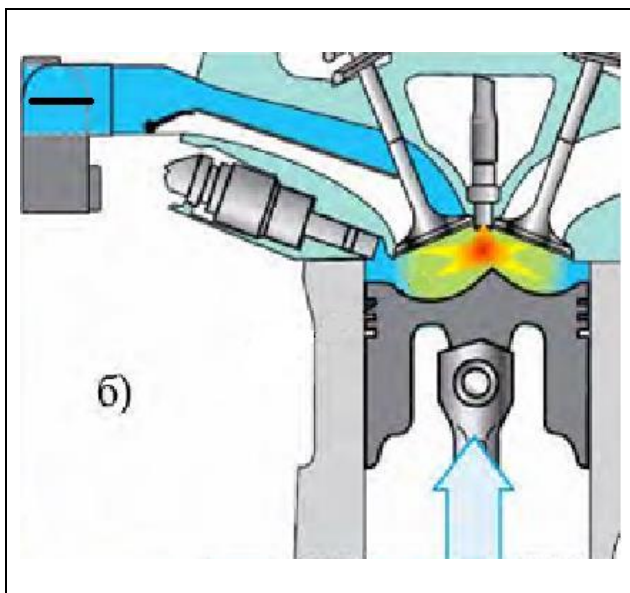


Рис. 4 – Згоряння бідної гомогенної суміші в циліндрі двигуна (дросельна заслінка повністю відкрита, а впускна повністю прикрита)

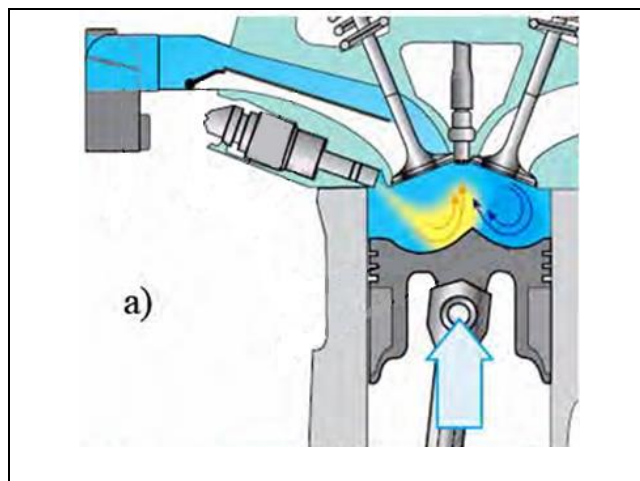


Рис. 3 - Схема руху потоку повітря при пошаровому сумішоутворенні в впускному тракті двигуна дросельна заслінка не повністю відкрита на 80%, а впускна повністю прикрита

Це відбувається за рахунок того що дросельна заслінка повністю відкрита на 100%, а впускна повністю прикрита

Коефіцієнт надлишку повітря бідної однорідної гомогенної суміші, у всьому обсязі камери згоряння, приблизно дорівнює 1,55.

Робота двигуна на гомогенній суміші стехіометричного складу наведена на рис. 5.

Двигун працює на гомогенній суміші стехіометричного складу при виході на режими великих навантажень та високих частот обертання. Коефіцієнт надлишку повітря дорівнює 1.

Принцип дії приводу дросельної заслінки. Установлюване водієм

положення педалі акселератора реєструється за допомогою датчиків G79 та G185, сигнали яких передаються на вхід блоку управління двигуном.

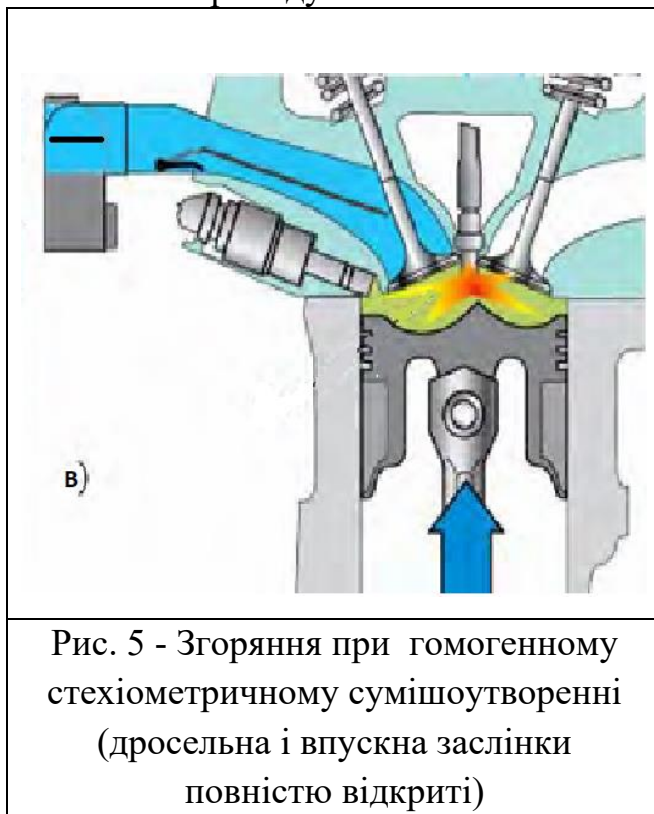
За цими та іншими додатковими сигналами блок управління розраховує необхідний крутний момент і видає відповідні команди на виконавчі пристрої (див. рис. 6).

При використанні пошарового сумішоутворення величина крутного моменту двигуна визначається кількістю палива, що впорскується.

При цьому дросельна заслінка відкрита майже повністю на 80%. Вона прикривається тільки настільки, щоб забезпечити розрідження для продування

адсорбера, для перепуску газів, що відпрацювали, і для створення необхідного розрідження у вакуумному підсилювачі гальмівного приводу.

При роботі двигуна на гомогенних бідній та стехіометричній сумішах крутний момент двигуна залежить від кута випередження запалення та кількості надходячого повітря у циліндри двигуна.



При цьому дросельна заслінка відкривається відповідно з необхідним крутним моментом.

Всі перелічені способи сумішоутворення реалізовані в **системі додаткових впускних заслінок**.

Додаткові впускні заслінки. Додаткові впускні заслінки та їх привод розташовані в нижній та верхній частинах впускної системи ДВЗ.

Заслінки служать для управління потоками повітря, що надходить у циліндри двигуна, залежно від режимів роботи ДВЗ.

Робота двигуна із закритими впускними заслінками. При роботі двигуна на пошарових та бідних гомогенних сумішах, а також на деяких режимах з використанням гомогенних сумішей стехіометричного складу заслінки перекривають нижні частини впускних каналів, які розташовані в головці циліндрів. При цьому повітря проходить у циліндри лише через верхні частини впускних каналів. Форму верхньої частини впускного каналу підібрано таким чином, щоб повітря, що впускається в циліндр, закручувалося на вході в нього. Крім цього підвищена швидкість повітря, що проходить крізь звужений канал, сприяє сумішоутворенню.

Реалізовані дві переваги:

1. При пошаровому сумішоутворенні вихровий рух повітря забезпечує перенесення палива до свічки запалювання. Утворення суміші здійснюється у процесі цього руху.

2. Вихровий рух повітря створює умови для утворення гомогенних бідної та стехіометричної сумішей. Завдяки йому підвищується займистість і досягається стабільне горіння бідних сумішей.

Робота двигуна з відкритими повітряними заслінками. При роботі двигуна на режимах з високим навантаженням і при високих частотах обертання повітряні заслінки відкриті і повітря проходить у циліндри через обидві частини впускних каналів. Великий переріз впускного каналу забезпечує максимальне наповнення циліндра свіжим зарядом, за рахунок чого можливо отримувати найвищі значення потужності і крутного моменту двигуна.

Висновки

На підставі вирішення основних технічних проблем фахівцями Volkswagen: отримано зниження витрати палива та зменшення викиду шкідливих речовин; застосована організації різних способів сумішоутворення на бензинових ДВЗ з безпосереднім впорскуванням бензину; удосконалення систем повітропостачання двигунів Volkswagen необхідно застосовувати на вітчизняних ДВЗ.

Література

1. Eder, L.V., 2018. Forecasting sustainable development of transport sectors of Russia and EU. 2138.
2. Harrison, D., 2019. Automotive powertrain forecast 2020–2030 navigating regional and regulatory divergence on the road to electrification. In: Automotive from Ultimamedia.
3. Huang, D., Ding, H., Wang, Z., Huang, R., 2011. Design of drive circuit for GDI injector. In: 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering. IEEE, pp. 5821–5824.
4. Mathew, G.M., Raina, D., Narisetty, V., Kumar, V., Saran, S., Pugazhendi, A., et al., 2021. Recent advances in biodiesel production: Challenges and solutions. *Sci. Total Environ.* 794.
5. Leontiev, D. N., Voronkov, O., Korohodskyi, V., Hlushkova, D. et al. (2020). Mathematical Modelling of Operating Processes in the Pneumatic Engine of the Car, *SAE Technical Paper 2020-01-2222*, <https://doi.org/10.4271/2020-01-2222>
6. Leontiev, D. N., Voronkov, O., Nikitchenko I., Sklyarov, N. et al. (2021). Pneumatic Power Unit for a Wheeled Vehicle, *SAE Technical Paper 2021-01-0640*, <https://doi.org/10.4271/2021-01-0640>
7. Leontiev, D. N., Voronkov, O., Korohodskyi, V., Nikitchenko I. et al. (2021). Feasibility of Heating the Air in a Hybrid Pneumatic Engine for a Compact Vehicle. *SAE Technical Paper 2021-01-1246*, <https://doi.org/10.4271/2021-01-1246>
8. Korohodskyi, V., Leontiev, D., Rogovyi, A., Kryshchuk, S. et al. (2022). Research of Spark Ignition Engine and Internal Mixture Formation Using Single-Zone, Two-Zone and Three-Zone Calculation Model of It Working Process, *SAE Technical Paper 2022-01-1000*, <https://doi.org/10.4271/2022-01-1000>

Науковий консультант: Тищенко Олександр Вячеславович, аспірант,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Льорчик Владислав, ст. гр. АД-21-24, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Нікітченко Валерія, ст. гр. АД-21-24, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Чірва Антон, ст. гр. АД-21-24, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА СТІРЛІНГА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Вступ

Двигуни Стірлінга відрізняються універсальністю та конструктивною різноманітністю та можуть працювати як двигуни, холодильні машини, теплові насосні та генераторні установки у багатьох областях техніки. Як двигуни вони мають ряд суттєвих переваг: висока ефективність та економічність, можливість роботи від різноманітних низько- та високопотенційних джерел знергії.

Застосування двигунів Стірлінга може дозволити використовувати місцеві види палива без попередньої їхньої переробки особливо у віддалених районах. До недоліків розроблених двигунів (в основному автомобільних) відносяться їх дещо більші масо-габаритні параметри та більш висока вартість. З метою їх усунення нині ведуться роботи з вирішення широкого кола питань: від удосконалення теорії та методики розрахунків щодо оптимізації необхідних параметрів до вдосконалення технології виробництва.

Конструкція та принцип роботи

Визначення «машина Стірлінга» часто відноситься до всіх без винятку типів регенеративних машин. Це – узагальнена назва великого сімейства машин з різноманітними функціями, характеристиками та конструкціями. У це сімейство входять як ротаційні, так і поршневі машини, в конструкції яких використовуються механізми різної складності. Всі ці машини здатні працювати як двигуни, теплові насоси, генератори тиску та холодильні установки.

Існують і специфічні назви, прив'язані до прізвища творців: двигуни Хейнрічі (Heinrichi), Робінсона (Robinson) чи Ренкіна-Напіра (Renkine-Napier). В результаті це призводить до нечіткості термінології. Вираз «цикл Стірлінга» застосовується тільки для ідеального термодинамічного циклу а назва «двигун Стірлінга» – для певного різновиду машини, яка не працює за циклом Стірлінга.

Напрями науково-дослідних та проектно-конструкторських робіт фірми «Філіпс» регулярно публікуються з 1969 р. Відомі роботи з двигунів Стірлінга, що проводилися фірмою «Дженерал моторе» (General Motors) з 1958 по 1970 р. за ліцензією фірми «Філіпс». За пізнішими ліцензіями фірми «Філіпс»

працюють група з вивчення двигуна Стірлінга МАН – МВМ (M.A.N. – MWM), створена в 1967 р. у ФРН, та шведський консорціум «Юнайтед Стірлінг АВ» (United Stirling AB).

Двигуни, що працюють за циклом Стірлінга, можуть бути поділені на машини, в яких робочий і витіснювальний поршні знаходяться або в одному або різних циліндрах. Приклади всіх трьох систем наведено на рис. 1. Основна різниця між робочим поршнем і витіснювач полягає в тому, що в робочому поршні для запобігання витіку газу від одного його торця до іншого має газонепроникне ущільнення.

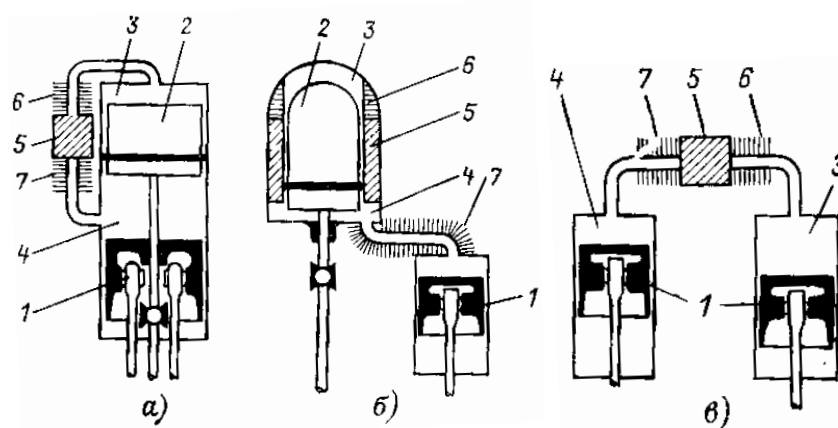


Рис. 1 –Основні схеми машин Стірлінга

а – робочий поршень і витіснювач в одному циліндрі; б – робочий поршень і витіснювач у різних циліндрах; в – машина з двома робочими поршнями
1 робочий поршень; 2 – витіснювач; 3 – порожнина розширення; 4 – порожнина стиснення; 5 – регенератор; 6 – нагрівач; 7 – холодильник.

Багатопоршнєві машини Стірлінга можуть бути розділені на чотири великі групи:

- 1) поршнєві;
- 2) ротаційні;
- 3) сільфонні та діафрагмові;
- 4) вільнопоршнєві.

Найбільш відомими вважаються поршнєві машини, що поділяються на односторонню та подвійну дії. Різновиди двопоршневих машин односторонньої дії (три з нерухомими циліндрами і одна з обертовим) показані на рис. 6-6. З усієї різноманітності машин цього типу у великій кількості виготовлялися тільки машини Райдера (Rider) з паралельними циліндрами, поршні яких з'єднувалися з колінчастим валом.

Застосування на автомобільному транспорті

Найбільше зусиль зі створення саме двигунів автомобільного призначення доклала фірма «Філіпс».



Рис. 2 – Можливі варіанти компоновальних схем двопоршневих машин односторонньої дії

До основних переваг цих двигунів слід віднести малий рівень шуму та малий ступінь забруднення повітря вихлопними газами при значеннях ефективного ККД та питомої потужності порівнянних чи кращих, ніж у бензинових двигунів чи дизелів. Саме це поєднання характеристик, що відповідає зростаючій турботі людей про навколишню середовище, посилює увагу до використання двигунів Стірлінга на транспорті. Інтенсивні дослідження і розробки, що проводяться в даний час, спрямовані на створення більш досконалого прототипу двигуна для транспорту і пов'язаних з ним систем.

Основними недоліками машин Стірлінга є їх складність і висока вартість удосконалених варіантів. Простіші варіанти двигунів дешевше, але мають менші, ніж у двигунів внутрішнього згоряння ефективний ККД та питому потужність. Зараз малоімовірно, щоб питома вартість удосконалених двигунів Стірлінга знизилася до значень, характерних для дизельних двигунів, навіть за умови зниження цін, що залежать від кількості продукції, що випускається. Розробка двигунів Стірлінга з високими ефективними ККД та питомою потужністю стикається з серйозними проблемами з теплообміну та технології виготовлення ущільнень з точки зору як матеріалів, так і конструкції.

До позитивних сторін двигунів Стірлінга можуть бути віднесені такі: двигуни Стірлінга працюють без шуму та вібрацій; при спалюванні будь-якого виду палива рівень забруднення навколишнього середовища низький; у двигунах можливе використання теплоти, що підводиться від будь-якого джерела, включаючи акумульовану теплову енергію від джерела живлення, що періодично діє, а також концентратори сонячної енергії, радіоізотопні або ядерні джерела теплоти. При вдосконаленні двигуни можуть мати більшу, ніж бензинові двигуни внутрішнього згоряння, питому потужність, а також можна порівняти за економічністю в режимі часткового навантаження з дизельними двигунами. Двигуни Стірлінга мають більший ефективний ККД, ніж будь-який

інший перетворювач теплової енергії. При частковому навантаженні у них дуже хороші характеристики крутного моменту, а рівномірність крутного моменту за цикл більш висока, ніж у будь-якого іншого поршневого двигуна, за винятком, можливо, парової машини подвійної дії. Продукти згоряння палива не контактують з частинами, що рухаються, забезпечуючи мінімальний знос і, отже, великий ресурс і легкість в експлуатації. У процесі експлуатації споживання мастильних матеріалів може бути практично виключено, а їх заміна знадобиться лише через великий проміжок часу.

Висновки

Винайдений у середині XIX ст. двигун внутрішнього згоряння та його подальший розвиток у вигляді бензинових двигунів та дизелів, поряд з поширенням у той же час електродвигунів, стало причиною різкого зменшення використання двигунів Стірлінга та до 1914 р. вони вже практично не застосовувалися.

Але не зважаючи на дещо гірші показники цих двигунів на даному етапі розвитку, у них є суттєвий потенціал через більш високу екологічність. Вимоги щодо значного зниження рівня токсичних складових у вихлопних газах автомобільних двигунів сприяє розвитку альтернативних двигунів. У той же час фірма «Філіпс» вже переконливо продемонструвала значне зменшення шуму та забруднення повітря при застосуванні двигунів Стірлінга для автомобілів. Можливо, що під дією громадськості будуть прийняті жорсткіші стандарти, щодо контролю забруднення повітря, а від дизелів та бензинових двигунів внутрішнього згоряння вимагатимуть таких норм щодо зменшення шкідливих складових у вихлопних газах або запровадять складну систему контролю за їх складом, що двигуни, які працюють за циклом Стірлінга займуть свою нішу на ринку. Імовірність такої ситуації цілком реальна і є підставою для того, щоб крупні світові автомобілебудівні фірми звернути особливу увагу на розробку автомобільних двигунів потужністю від 50 до 150 кВт.

Література

1. Двигун Стірлінга Електронний ресурс. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD_%D0%A1%D1%82%D1%96%D1%80%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%B3%D0%B0 (дата останнього звернення 30.03.2026).
2. G.Walker (1973). Stirling-cycle machines. Univercity of Calgary, Canada, Clarendon Press.Oxford.
3. C.M. Hargreaves (1991). The Philips Stirling Engine. Elsevier Science. ISBN 0-444-88463-7.
4. T. Finkelstein; A.J. Organ (2001). Air Engines. Professional Engineering Publishing. ISBN 1-86058-338-5.

5. Andy Ross. Making Stirling Engines, 3rd Edition. Ross Experimental, 1993.
6. Philips Technical Review (1947), Vol. 9, No. 4, p. 97.

*Науковий консультант Нікітченко Ігор Миколайович, к.т.н., зав. каф. ДВЗ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет.*

Ронзик Ілля Олександрович, здобувач, гр. АД-41-22, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет
ad122rio@stud.khadi.kharkov.ua

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ НА ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛІ

Сутність та історичний огляд

Застосування гібридних силових установок на автономних транспортних засобах має тривалу історію. Перший автомобіль цього типу був розроблений Фердинанд Порше, який у 1899 році отримав патент на гібридну установку, що поєднує електричну тягу з допоміжним двигуном внутрішнього згоряння, що забезпечує живлення електродвигунів та заряд акумуляторних батарей.

На сучасному етапі інтерес до гібридних транспортних засобів обумовлений не лише розвитком автомобілебудування, а й необхідністю підвищення екологічної безпеки та паливної економічності. Можливість їх широкого впровадження пов'язана з прогресом у галузі силової електроніки, накопичувачів енергії, електричних машин та інформаційно-керуючих систем.

З середини 1990-х років гібридні технології набули практичного розвитку, що пов'язано з появою серійних та демонстраційних моделей, таких як Honda Insight та Toyota Prius. В даний час більшість провідних автовиробників активно розвивають цей напрямок, незважаючи на відсутність єдиного підходу до проектування гібридних силових установок.

Тенденції розвитку екологічно чистого транспорту

Сучасні підходи до створення екологічно чистих транспортних засобів включають вдосконалення традиційних двигунів внутрішнього згоряння, використання альтернативних джерел енергії, а також розробку електричних і гібридних автомобілів.

Незважаючи на значний прогрес, потенціал глибокої модернізації ДВЗ значно вичерпано, тоді як альтернативні рішення (наприклад, водневі паливні елементи або криогенні двигуни) обмежені високою вартістю або технічними складнощами.

Основними факторами, що стимулюють пошук нових рішень, є негативний вплив викидів на навколишнє середовище, особливо в умовах великих міст, а також виснаження традиційних паливних ресурсів та зростання їхньої вартості.

Дослідження показують, що розглядаються різні варіанти екологічно чистих транспортних засобів, включаючи:

- автомобілі на водневих паливних елементах;
- криогенні транспортні засоби;
- пневматичні системи;
- електромобілі (у тому числі із сонячними батареями);
- транспортні засоби з альтернативними накопичувачами енергії

Однак жоден із зазначених напрямків повною мірою не відповідає вимогам масового застосування. У зв'язку з цим гібридні силові установки розглядаються як найефективніше рішення, що дозволяє знизити витрату палива на 40–80 % та викиди CO₂ на 50–90 %.

Принцип побудови гібридних автомобілів

Гібридна силова установка є комбінацією двигуна внутрішнього згоряння та електричної тягової системи. Таке поєднання забезпечує виконання сучасних екологічних вимог, включаючи норми типу Євро-6, а також підвищення паливної ефективності.

Основним завданням гібридизації є зниження токсичності вихлопу, збільшення ККД та скорочення витрати палива за збереження або підвищення потужності. Ефективність досягається рахунок перерозподілу навантажень: в режимах, що характеризуються низькою ефективністю ДВЗ, використовується електрична тяга чи комбінований режим роботи.

Додатково система управління оптимізує режими роботи ДВЗ, забезпечуючи його функціонування в галузі мінімальної витрати палива та викидів. Як тягові електродвигуни, як правило, застосовуються вентильні синхронні машини, що володіють високою питомою потужністю і компактністю.

Переваги гібридних автомобілів

Гібридні автомобілі мають ряд істотних переваг у порівнянні з традиційними транспортними засобами:

- підвищення екологічної безпеки за рахунок використання електричної тяги та оптимізації режимів роботи ДВЗ;
- зниження витрати палива завдяки автоматичному відключенню двигуна на холостому ходу та при русі накатом;
- використання рекуперації енергії гальмування із перетворенням їх у електричну енергію;
- поліпшення динамічних характеристик рахунок додаткового крутного моменту електродвигуна;
- підвищення загального ККД рахунок оптимального управління енергетичними потоками.

Таким чином, гібридна силова установка забезпечує ефективну взаємодію двигуна внутрішнього згоряння та електричної тяги, що дозволяє суттєво покращити екологічні та експлуатаційні показники автомобіля [1].

Класифікація та архітектура гібридних систем

Гібридизація базується на інтеграції додаткового джерела енергії, яке оптимізує роботу ДВЗ або повністю замінює його в режимах низької

ефективності (старт, затори). Виділяють чотири основні типи побудови систем, які наведено у таблиці 1.

Концепція побудови гібридної силової установки

Сучасна гібридна силова установка включає такі основні компоненти:

- джерела енергії;
- тягові двигуни;
- перетворювачі енергії;
- системи управління та діагностики;
- інформаційні системи.

Таблиця 1. Класифікація та особливості застосування гібридної силової установки на легковому автомобілі

Тип архітектури	Особливості функціонування	Прикладні переваги
Мікрогібриди	Використання стартер-генератора малої потужності (2–4 кВт). Система Stop&Start, економія палива до 10%.	Система Stop&Start, економія палива до 10%.
Паралельна схема	Спільна робота ДВЗ та електродвигуна (до 25 кВт) на трансмісію.	Ефективність при інтенсивному розгоні, рекуперація енергії.
Комбінована схема	Розподіл енергії механічним (планетарним) або електричним шляхом.	Можливість руху виключно на електротязі, високий ККД.
Послідовна схема	ДВЗ не має прямого зв'язку з колесами, працюючи як генератор.	Стабільність режимів ДВЗ, можливість індивідуального керування колесами.

Ключову роль відіграє система управління, що забезпечує координацію всіх елементів на основі даних датчиків та реалізує алгоритми оптимізації енергетичних потоків.

Конструктивні рішення передбачають використання різних накопичувачів енергії, включаючи акумулятори та конденсатори, що підвищує ефективність рекуперації та знижує навантаження на основні джерела живлення [2, 3].

Практична реалізація гібридних систем включає розробку алгоритмів, що забезпечують:

- рух на електротязі за низьких швидкостей;
- автоматичне підключення ДВЗ зі збільшенням навантаження;
- рекуперацію енергії при гальмуванні;
- підтримка оптимальних режимів роботи силової установки.

В результаті досягається підвищення екологічності, економічності та ефективності транспортного засобу.

Гібридні установки з двотактним двигуном

Зростання екологічного навантаження від автомобільного транспорту потребує розробки ефективних рішень щодо зниження викидів шкідливих речовин, особливо у міських умовах. Одним із таких рішень є застосування гібридних силових установок, що дозволяють компенсувати недоліки окремих типів двигунів за рахунок їх комбінування.

Гібридні системи можуть включати різні поєднання джерел енергії, проте найбільш поширеною є комбінація ДВЗ та електричного двигуна.

Існують три основні схеми гібридних установок:

- послідовна;
- паралельна;
- комбінована (split- схема).

Послідовна схема забезпечує роботу ДВЗ у стаціонарному режимі з мінімальною витратою палива, але характеризується зниженим ККД. Паралельна схема відрізняється вищим ККД, проте потребує ускладнення трансмісії. Найбільш перспективною є комбінована схема, що забезпечує баланс між ефективністю, керованістю та динамічними характеристиками.

Застосування малолітражних двигунів, у тому числі двотактних [4], у складі гібридних установок розширює область їх використання та дозволяє реалізувати оптимальні режими роботи двигуна.

Висновки

Гібридні силові установки являють собою ефективний напрямок розвитку автомобільної техніки, що забезпечує зниження витрати палива і викидів шкідливих речовин при одночасному підвищенні експлуатаційних характеристик. Найбільш перспективними є комбіновані схеми, що дозволяють реалізувати оптимальний розподіл енергетичних потоків та забезпечити роботу двигуна внутрішнього згоряння найефективніших режимах.

Література

1. Бажінов О. В. та ін. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
2. Смирнов О. П. Тенденція создания екологічно чистого транспортного средства. *Автомобільний транспорт* : зб. наук. пр. Харків : РІО ХНАДУ, 2005. Вип. 17. С. 103–105.
3. Гутаревич Ю. Ф. та ін. Транспортні енергетичні установки. Київ : НТУ, 2015. 243 с.
4. Корогодський В. А. Визначення раціонального циклу та способу організації робочого процесу двигуна за навантажувальною характеристикою. *Вісник ХНАДУ*. 2020. Вип. 90. С. 80–94.

Науковий консультант Корогодський В.А., професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, д-р техн. наук.

Савич Владлен, ст. гр. АД-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Савченко Ігор, ст. гр. АД-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Санін Віталій, ст. гр. АД-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА НА БАЗІ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

Вступ

Двигуни Стірлінга мають довгу історію. Машини кінця XVIII ст. можна вважати первістками теплових повітряних двигунів, але їх основний розвиток відноситься до початку XIX ст. Першим працюючим двигуном такого типу тепловий повітряний двигун відкритого циклу, побудований Георгом Кейлі в 1807 р. Приблизно в 1816 р. Робертом Стірлінгом, священником з Шотландії, був винайдений тепловий двигун. Пізніше шведський винахідник Джон Еріксон, який працював в Англії, сконструював регенеративний тепловий двигун відкритого циклу. Згодом протягом XIX ст. в Англії, Європі та США широко використовувалися тисячі подібних двигунів. Вони були надійними, досить ефективними та безпечними в порівнянні з сучасними ним паровими машинами.

Початок сучасного етапу досліджень по двигунах Стірлінга було покладено в лабораторіях фірми «Філіпс» в Ейндховені наприкінці 30-х років. Спочатку ці роботи були спрямовані на розробку двигунів для невеликих електрогенераторних установок, призначених для живлення радіоапаратури та іншого обладнання у віддалених районах.

Конструктивні особливості

Машина, що працює за циклом Стірлінга, являє собою пристрій із замкнутим термодинамічним регенеративним циклом, в якому циклічні процеси стиснення та розширення здійснюються при різних рівнях температури, а управління потоком робочого тіла відбувається шляхом зміни його об'єму. На цьому принципі засноване перетворення теплоти в роботу і навпаки.

Існують машини, що працюють за відкритим регенеративним циклом, де управління потоком робочого тіла здійснюється за допомогою клапанів.

На основі конструкцій двигунів Стірлінга були розроблені та ефективні холодильні та кріогенні машини з широким діапазоном робочих температур. Вони вже знайшли широке застосування в багатьох галузях науки, техніки та на виробництві в установках для зрідження та реконденсації різних газів, для очищення інертних газів від домішок, у лабораторних експериментах, для зберігання речовин та матеріалів за низьких температур. Розроблені конструкції ряду машин характеризуються надійністю, термодинамічною ефективністю, відносно малими масою і габаритами, зручністю регулювання та можливістю автоматизації.

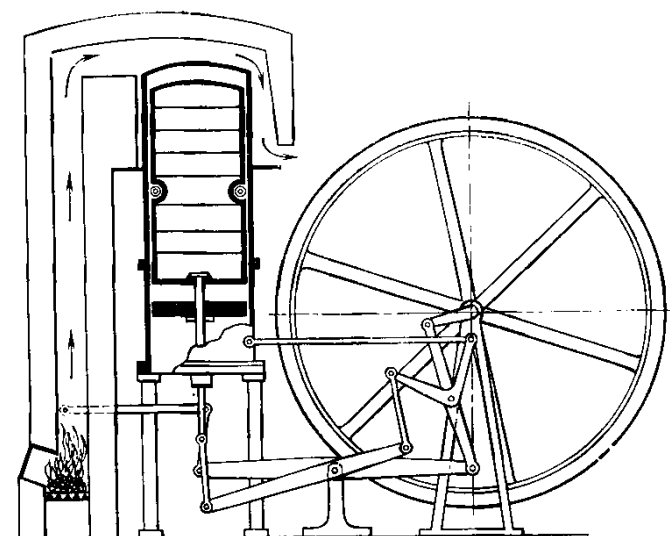


Рис. 1 – Схема першого двигуна Стірлінга

У двигунах можуть бути використані різні робочі тіла – повітря, водень, гелій, CO_2 , хімічно активні гази та ін. Вони можуть працювати по замкнутому та відкритому термодинамічних циклах і відрізняються малим рівнем шуму, а при використанні вуглеводневих палив – низьким вмістом токсичних компонентів у вихлопних газах. Специфічною властивістю двигунів Стірлінга є їх здатність до тривалої автономної роботи в енергосистемах за відсутності атмосферного повітря – в умовах космосу або на підводних апаратах.

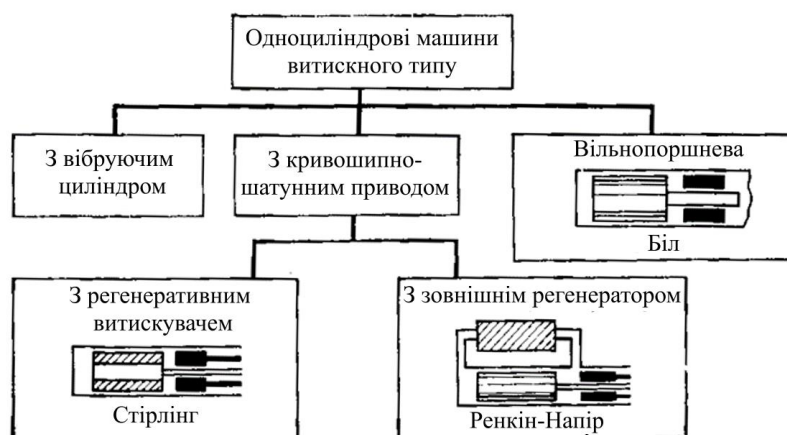


Рис. 2 – Варіанти компоновальних схем одноциліндрових двигунів витіснювального типу

Цільові випробування підтвердили позитивні якості двигунів, їх конкурентоспроможність у порівнянні з традиційними двигунами та іншими перетворювачами знергії. Було відзначено, що застосування двигунів Стірлінга доцільно в тих випадках, коли існуючі системи за окремими показниками не

цілком задовольняють вимогам, що пред'являються (наприклад, у шахтах, кар'єрах, у міському транспорті тощо) або взагалі не застосовні.

Здатність двигунів Стірлінга утилізувати непряму теплоту промислових підприємств та інших об'єктів робить його застосування надзвичайно вигідним з погляду економії природного палива та розширення паливного балансу.

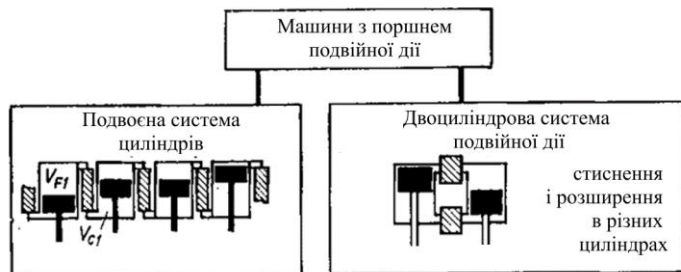


Рис. 3 – Варіанти схем компонування багатопоршневих машин подвійної дії

Прагнення реалізувати потенційні можливості цих двигунів викликало проведення інтенсивних науково-дослідних, конструкторських та експериментальних робіт у ряді закордонних фірм, найбільш відомі з яких Філіпс, Дженерал Моторс, Юнайтед Стірлінг, Форд, Вольво та ін. В результаті були створені і досліджені двигуни широкого діапазону потужностей для застосування в різних енергосистемах, на транспорті, для роботи в космосі, в підводних умовах, для військових та побутових цілей тощо.

Двигуни Стірлінга мають безліч різновидів. Діапазон їх потужності варіюється від кількох часток Вт до тисяч кВт в одному циліндрі. Вони можуть бути використані як приводні двигуни криогенних газових машин або теплових насосів. Як криогенні газові машини вони є кращими з точки зору габаритів і характеристик, ніж будь-які інші системи відкритого циклу.

При створенні гібридних силових установок (ГСУ), що мають у складі двигун Стірлінга та можуть працювати як стаціонарні чи транспортні силові установки, виникають труднощі з реалізацією надійної роботи при збереженні простоти конструкції і надійності. Нижче наведені такі моменти.

Проблеми, що виникають при створенні ГСУ

Високотемпературні теплообмінники є, можливо, основною проблемою для двигунів. Окремі злементи такого теплообмінника повинні постійно працювати за максимальної температури циклу і для забезпечення високого значення ефективного ККД повинні використовуватися високотемпературні сплави або керамічні матеріали.

Для досягнення високої питомої потужності двигун повинен працювати за високого тиску робочого тіла, використовуючи для цього водень або гелій замість повітря. Однак при високих температурах і тисках більшість конструкційних матеріалів проникна для цих газів. Таким чином, у високотемпературних теплообмінниках є окремі вузли, що постійно працюють в умовах температур, близьких до граничних по конструкційній міцності

матеріалів, а також при високому тиску і пульсуючому потоці водню або гелію.

Іншою серйозною проблемою при створенні високопродуктивних машин Стірлінга є низькотемпературні теплообмінники для охолодження.

З усієї теплоти, що підводиться до двигуна при високій температурі, тільки частина перетворюється в роботу. Деяка частина неминуче втрачається з вихлопними газами, а інша частина відводиться в систему охолодження. На відміну від традиційних ДВЗ, де підвищення температури охолоджуючої рідини покращує ефективність двигуна, у двигуні Стірлінга будь-яке збільшення мінімальної температури робочого тіла веде до зниження питомої потужності та ефективного ККД. Таким чином, у порівнянні з дизелем, система охолодження двигуна Стірлінга повинна не тільки мати більш високий показник теплоти, що відводиться на одиницю потужності, але і повинна робити це більш ефективно з тим, щоб підтримувати температуру охолоджуючої рідини по-можливості близько до температури навколишнього середовища.

Важливою проблемою для двигунів Стірлінга є ущільнення у випадку, коли робоче тіло є відмінним від повітря. Витіки, навіть незначні, неприпустимі при тривалій роботі двигуна, виключаючи той випадок, коли у складі установки є ємність з робочим тілом під високим тиском.

Регулювання і контроль за роботою двигуна не є серйозною проблемою. У більшості випадків краще (і легше) регулювати електричні параметри системи, ніж параметри самого двигуна.

Сфери застосування

Існує багато областей застосування таких силових установок. На даний час найбільш актуальним вважається застосування ГСУ у складі двигуна Стірлінга і електрогенераторів малої потужності від 5 Вт до 5 кВт, здатних працювати автономно протягом тривалого часу. Але особливий інтерес становить діапазон потужностей від 200 до 500 Вт. Такі електрогенератори потрібні для багатьох цілей, але в основному для постачання електроенергії як системи подвійного призначення, наприклад, для станцій посилення зв'язку. Вони можуть бути використані під водою як для цивільних, так і для військових цілей, в горах, малодоступних районах і в аварійних ситуаціях. У більшості сфер застосування головним критерієм є надійність, яку такі ГСУ можуть забезпечити.

Універсальні енергетичні системи являють собою механічні агрегати, які при достатній кількості палива, повітря і води, можуть забезпечити всі енергетичні потреби, включаючи кондиціонування повітря, вироблення електроенергії, отримання гарячої та холодної води. Для таких установок, що застосовуються у службових приміщеннях, мотелях, готелях, житлових будинках, складах та великих торгових центрах, зазвичай потрібен первинний двигун потужністю від 30 до 400 кВт.

Низка універсальних енергетичних систем вже діє. У більшості з них використовується або газоподібне, або рідке паливо. Механічна енергія витрачається для приводу електрогенератора та компресора парокompресійного

рефрижератора. Електроенергія для цілей освітлення може бути отримана з високою частотою електричного струму, а для силового електрообладнання, роботи машин, кухонного обладнання та холодильного обладнання – з високою напругою. Теплота, що відводиться з вихлопними газами, може бути використана для опалення будівель, отримання пари низького тиску для побутових потреб і виробництва та гарячого водопостачання.

Висновки

Універсальні енергетичні системи прагнуть створювати з окремих, вже готових, але не дуже добре підібраних для цих цілей агрегатів. Тому вартість систем висока, а результати часто незадовільні.

В даний час в універсальних енергетичних системах використовують газотурбінні або поршневі двигуни внутрішнього згоряння. Газові турбіни відрізняються гарною надійністю, але мають дуже низьку ефективність, особливо при частковому навантаженні. Поршневі газові двигуни мають кращі характеристики, але недостатньо надійні з високими експлуатаційними витратами. З огляду на це може виявитися, що безшумні, ефективні двигуни Стірлінга, здатні працювати на будь-яких видах палива, знайдуть безпосереднє застосування в універсальних енергетичних системах. ГСУ може складатися з багатоциліндрової машини, що працює в залежності від необхідних умов в режимі двигуна або холодильної машини. Також може бути передбачено і єдиний електромеханічний блок, що дозволяє в залежності від вимог виконувати роль електрогенератора з підведенням тепла або холодильної машини з електроприводом.

Однак такі системи маловиправдані при наявності дешевих та надійних джерел електроенергії, але вони, можуть бути використані у віддалених районах та як системи забезпечення військових у польових умовах.

Література

2. Двигун Стірлінга Електронний ресурс. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD_%D0%A1%D1%82%D1%96%D1%80%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%B3%D0%B0 (дата останнього звернення 30.03.2026).
2. G.Walker (1973). Stirling-cycle machines. Univercity of Calgary, Canada, Clarendon Press.Oxford.
3. Головка, В. М. Методика визначення потужності додаткового джерела енергії для гібридної сонячної установки на базі двигуна Стірлінга / В. М. Головка, Д. С. Делєв // Відроджувана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXIII міжнародної науково-практичної конференції, [Київ], 19-20 травня 2022 р. / Інститут відроджуваної енергетики НАНУ. — Київ, 2022. — С. 152-154.
4. Nikitin, Ye. (2025). Combined energy production systems with Stirling engines: Analysis of global experience and local prospects. Technologies and Engineering, 26(3), 66-76. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.3.5>

5. Двигун Стирлінга Електронний ресурс. Режим доступу: https://pidru4niki.com/72986/ekologiya/dvigun_stirlinga (дата останнього звернення 30.03.2026).

Науковий консультант Нікітченко Ігор Миколайович, к.т.н., зав. каф. ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Костенко Юрій Олексійович, студент, ТП-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, kuakost@gmail.com
Соловійова Наталя Іванівна, студент, ТП-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ak82andrey@gmail.com

ФОРМУВАННЯ ПЕДАГОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МЕНЕДЖЕРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

В умовах посилення вимог до якості продукції та послуг, гармонізації стандартів з міжнародними нормами та постійного оновлення нормативної бази особливої значущості набуває не лише впровадження систем управління якістю (СУЯ), а й якісна підготовка фахівців, які здатні ефективно їх реалізовувати. Ключовою особою у цьому процесі виступає менеджер з якості. Його професійна компетентність багато в чому визначається рівнем його знань та здатністю передавати ці знання іншим учасникам виробничих та управлінських процесів.

Сучасний менеджер з якості – це не лише «знавець» (фахівець) нормативних вимог, методів контролю та оцінювання відповідності. В організації він є «внутрішнім провідником культури якості». Він виконує важливу навчальну та консультативну функцію. Саме через навчання персоналу, формування розуміння процесного підходу, ризик-орієнтованого мислення та принципів постійного покращення менеджер з якості забезпечує реальне, а не формальне функціонування СУЯ. Формування його компетентності є безперервним освітнім процесом. Цей процес складається, зокрема, і з розвитку педагогічних умінь. Здатність організовувати навчання співробітників, розробляти методичні матеріали, проводити внутрішні тренінги та аудити стає невід'ємною частиною професійного профілю менеджера з якості.

Таким чином, проблема формування компетентності менеджера з якості тісно пов'язана з питаннями його навчання та педагогічної діяльності, що робить цей напрям актуальним як у науковому, так і в прикладному аспектах.

Існуючі літературні джерела утворюють логічно пов'язаний масив досліджень, у якому компетентність в управлінні якістю розглядається з трьох різних ракурсів: концептуального, практико-діяльнісного та освітнього. Такий поділ дозволяє побачити еволюцію наукового розуміння: від визначення «що таке компетентність» через призму «як вона проявляється в роботі» до «як готують фахівців». Водночас, саме між цими групами і виникає наукова

прогалина. Відсутня ланка, що поєднує ці три площини: як побудувати системний процес формування компетентності менеджера з якості в навчанні з урахуванням реальної діяльності та з урахуванням того, що менеджер з якості сам виступає суб'єктом навчання персоналу.

Науковий консультант Коробко Андрій Іванович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Пащенко Анатолій Олегович, студент, АПМ-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ak82andrey@gmail.com

РОЗВИТОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АВТОТРАКТОРНИХ КОЛІС

Мета дослідження: проаналізувати етапи розвитку експериментальних методів дослідження напружено-деформованого стану (НДС) автотракторних коліс та визначити основні напрями вдосконалення підходів до оцінювання їх міцності й втомної довговічності в умовах експлуатаційних навантажень.

Проблематика міцності автотракторних коліс почала активно розвиватися з середини ХХ століття, коли з'явилися перші систематизовані експериментальні дослідження напруженого стану елементів колеса. На ранньому етапі такі дослідження були переважно спрямовані на виявлення зон концентрації напружень та локалізацію найбільш навантажених ділянок обода без побудови повноцінних розрахункових моделей.

Одними з перших фундаментальних експериментальних робіт стали дослідження М. Polzin, R.A.C. Fosberry та Н. Arltd [1, 2, 3, 4]. У роботах М. Polzin [1] було досліджено навантаження, що діють на колесо в умовах прямолінійного руху, повороту та гальмування. На основі аналізу тріщин у лаковому покритті поверхні колеса було локалізовано зони деформацій і визначено місця встановлення тензорезисторів. Подальші тензометричні вимірювання дали змогу отримати криві зміни деформацій за один оберт колеса для найбільш відповідальних ділянок конструкції.

R.A.C. Fosberry [2] дослідив вплив внутрішнього тиску в шині, вертикального навантаження та динамічних навантажень, що виникають при розгоні, русі по криволінійній траєкторії та гальмуванні. У результаті було побудовано епюри розподілу напружень по перерізу обода та встановлено вплив розміру шини на величину напружень. Було показано, що застосування шин, розміри яких перевищують стандартні, спричиняє зростання напружень в ободі.

У роботах Н. Arltd [3, 4] основну увагу приділено втомній міцності сталевих ободів. Встановлено, що максимальні напруження виникають у зонах, де геометрія поперечного перерізу найбільше відхиляється від циліндричної форми, зокрема на внутрішніх радіусах посадкової полиці та бортової закраїни. Також підкреслено важливість урахування технологічних чинників

виготовлення, форми кріпильних отворів і локальних концентраторів напружень.

Подальший розвиток експериментальних методів пов'язаний із роботами школи V. Grubisic у Fraunhofer Institut fuer Betriebsfestigkeit [5, 6, 7]. Ним було запропоновано систему втомних випробувань коліс на біговому барабані в одній та двох площинах, відому як Eurocycle, а також методику двовісних випробувань ZWARP. Ці підходи дали змогу перейти від локального вимірювання напружень до моделювання реальних експлуатаційних циклів навантаження, включаючи прямолінійний рух, повороти, наїзди на перешкоди та дію бокових сил. Важливим результатом стало врахування циклічного характеру навантаження, внутрішніх залишкових напружень, впливу монтажу шини, тиску повітря та температурних ефектів у процесі роботи колеса.

Сучасний етап розвитку експериментальних досліджень НДС коліс характеризується переходом до більш комплексного відтворення умов експлуатації, включаючи нестандартні режими роботи, дефекти кріплення, ударні навантаження та вплив сучасних адаптивних підвісок. Це свідчить про необхідність подальшого вдосконалення методів оцінювання НДС коліс з урахуванням реальних експлуатаційних сценаріїв.

Отже, розвиток експериментальних методів дослідження НДС автотракторних коліс пройшов шлях від локальних тензометричних вимірювань до комплексних стендових випробувань, максимально наближених до реальних умов експлуатації. Саме ці підходи формують основу сучасних досліджень міцності, довговічності та функціональної надійності коліс транспортних засобів.

Література

1. Polzin M. Magnesium alloy truck wheels evaluated analytically / Polzin M. Warrendale, Pa. : Society of Automotive Engineers, 1952. 20 p. (SAE Technical Paper series 520056).
2. Fosberry R.A.C. An Investigation of Stresses in Public Service Vehicle Type Wheels / Fosberry R.A.C. *The Institution of Mechanical Engineers, Automobile division Proceedings*. 1952. Vol. 6, № 1. P. 91-103.
3. Arldt H. Der Scheibendauerversuch – ein Prueftest fuer Kraftfahrzeugraeder. *Automobiltechn. Z.* 1960. Vol. 62, № 10. P. 255-261.
4. Arldt H. Festigkeitsprobleme an Felgen und Kraftfahrzeugraedern. *Automobiltechn. Z.* 1959. Vol. 61, № 4. P.103-107.
5. Grubisic V. Bemessung und Pruefung von Fahrzeugrudern. Teil 1. *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1973. № 1. P. 9-18.
6. Grubisic V. Bemessung und Pruefung von Fahrzeugrudern. Teil 2. *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1973. № 7. P. 252-258.
7. Grubisic V., Pavlovsky R. Bemessungsverfahren fuer Radsterne und Felgen. *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1973. № 9. P. 324-330.

Науковий консультант Коробко Андрій Іванович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИНИ АВАРІЙНИХ ВІДМОВ ДВИГУНА КМ385ВТ

Надійність двигуна є однією з ключових умов безпечної та ефективної експлуатації тракторної техніки. Аварійні відмови силового агрегату призводять до втрати працездатності транспортного засобу, погіршення його тягово-динамічних властивостей, зниження стійкості режимів роботи та ускладнення керування, що безпосередньо впливає на рівень активної безпеки.

Дизельний двигун КМ385ВТ широко застосовується на малогабаритних і універсальних тракторах. Двигун є дизельним трициліндровим, чотиритактним, рядним із рідинним охолодженням та безпосереднім упорскуванням палива. Його поширеність у сільськогосподарській практиці та конструктивна простота зумовлюють доцільність дослідження саме цього силового агрегату.

До найбільш характерних причин аварійних відмов двигуна КМ385ВТ належать порушення правил запуску, недотримання режимів змащування, прогріву та охолодження, експлуатація з перевантаженням, несвоєчасне технічне обслуговування, підвищений знос деталей, порушення регулювань паливної апаратури та відсутність системного контролю технічного стану. Особливо негативно на ресурс і працездатність двигуна впливають тривала робота під навантаженням, запиленість середовища та нестабільна якість експлуатаційних матеріалів.

У процесі експлуатації технічний стан двигуна змінюється, а вихід контрольованих параметрів за встановлені межі свідчить про виникнення несправності або відмови. Основними ознаками нормального функціонування двигуна КМ385ВТ є надійний запуск, рівномірна та стійка робота на різних режимах, відсутність сторонніх шумів, перегріву, надмірної димності, течі палива, масла й охолоджувальної рідини, а також відповідність показників потужності, витрати палива, тиску мастила та температурного режиму нормативним значенням.

Таким чином, аварійні відмови двигуна КМ385ВТ є суттєвим чинником зниження активної безпеки та експлуатаційної ефективності трактора. Забезпечення стабільного технічного стану двигуна на основі своєчасного діагностування, технічного обслуговування та контролю параметрів його роботи є необхідною умовою підвищення надійності, безпеки та результативності використання тракторної техніки в аграрному виробництві.

Науковий консультант Коробко Андрій Іванович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE IN ASSESSING COMPLIANCE WITH SAFETY REQUIREMENTS OF CHANGES MADE TO THE DESIGN OF A VEHICLE, INCLUDING THOSE IN OPERATION

During vehicle operation, owners often need to modify the design by making changes to the vehicle's structure.

At the same time, in order to ensure road safety, it is necessary to ensure proper control and thereby not worsen the design requirements that were in force at the time of release into circulation.

UN regulations can be assessed not only by examining the wheeled vehicle using experimental instrumental measurement and testing methods, but also by expert or computational methods, including organoleptic analysis.

Therefore, it is advisable to involve duly accredited entities. For example, testing laboratories and/or inspection bodies.

Global practice in this area shows that ISO/IEC 17020 inspection bodies are often engaged, rather than ISO/IEC 17025 testing laboratories.

This is due to a significant difference: the former have the authority to issue a conclusion on the compliance of a given object with established requirements, while the latter do not. The test reports they issue are classified as technical documents and, in themselves, have no legal consequences for the release of products to the market.

Furthermore, based on positive reports, only the certification body has the authority to issue the final document in the form of a certificate of conformity, a declaration of conformity, or a chassis or vehicle type approval.

Thus, the inspection body can occupy a niche between the certification body and the testing laboratory, as its expert specialists can conduct tests when necessary and draw conclusions about compliance, including on the customer's equipment. For example, in Germany, Poland, and Turkey, inspection bodies (TÜV, DEKRA, etc.) perform technical inspections of vehicles.

When making changes to the design for these purposes, in world practice, competent specialists from expert organizations – testing laboratories and inspection bodies (TÜV, DEKRA, etc.) – are involved in the conformity assessment, accredited according to international standards ISO/IEC 17025 and 17020 by accreditation bodies (e.g., German – Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS), British – United Kingdom Accreditation Service (UKAS), or Spanish – Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), recognized by the international laboratory accreditation organization - International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Accredited persons carry out an individual inspection of a specific complete vehicle, as well as the necessary research using calibrated measuring instruments and certified software, by identifying the components used and carrying out a technical inspection.

The expert reports list all modifications made to the vehicle, using only approved components and positive technical inspection results.

Based on the documents received from the experts, which contain information on the assessment of the results of individual technical creativity, as well as the vehicle's modifications to comply with road safety requirements, vehicle owners contact the relevant authorities, who perform the registration procedures in the vehicle identification documents.

For example, in Germany, there is a network of independent organizations with over a century of history that deals with technical product inspection.

These are the technical inspection societies Technischer Überwachungsverein (TÜV), which provide for the procedure for drawing up conclusions.

For example: a single permit, i.e. homologation according to § 21 Homologationen in the text “Regulations for the registration of vehicles for road traffic” Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (type examinations for approval for operation) for Europe, including for vehicles released for operation in the USA and Japan in accordance with Directives of the European Parliament 2007/46/EG, 2002/24/EG, 2003/37/EG and DIR 183/2011 (scope of activity of the Import and Export Services department (SIMEX)).

Also in Germany there is a procedure for registering tuning in accordance with § 19 Fahrzeugänderungen StVZO, dedicated to changes in the vehicle.

The TÜV certificate lists all changes made to the vehicle on TÜV approved components only.

This procedure provides for 30 types of design changes that require additional information to be included in the vehicle's registration documents – the vehicle's technical passport (Fahrzeugschein) – as well as 10 types that do not require such markings, in the case of the installation of easily removable equipment.

Ten conditions requiring supervision have also been formulated. For tuning enthusiasts, 23 types have been defined, along with procedures and required documents for registration. Technical inspections (mass inspections) in Germany are regulated by § 29 of the Reihenumtersuchungen StVZO [1].

International approval for the operation of wheeled vehicles is of the utmost importance in order to ensure maximum safety for all road users.

Literature

1. Konitzer H., Wehrmeister J. § 19 StVZO Änderungen am Fahrzeug und Betriebserlaubnis. 4 Auflage. Kirschbaum Verlag Bonn, 2009. 317 p. ISBN: 978-3-7812-1710-2.

Scientific consultant: Shevchenko Ihor Oleksandrovysh, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ УДАРУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПІД КУТОМ ДО ПЕРЕШКОДИ

Анотація. У роботі розглядається динаміка ударної взаємодії транспортного засобу з нерухомою перешкодою під кутом. Побудовано розрахункову модель, що описує складну картину руху автомобіля, яка враховує переміщення як від поступального, так і від обертального рухів. Здійснено розрахунок динамічних параметрів удару з урахуванням моменту сили відносно центра мас. Результати дослідження є актуальними для вдосконалення дорожніх бар'єрних огорожень та проведення експертизи дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, динаміка удару, кут зіткнення, розрахункова модель, момент сили, обертальний рух, реакція перешкоди.

Вступ

Дорожньо-транспортні пригоди залишаються однією з найбільш поширених причин пошкодження транспортних засобів та травмування учасників дорожнього руху. Значна частина таких пригод пов'язана зі зіткненням автомобілів з нерухомими перешкодами, зокрема дорожніми бар'єрними огороженнями, опорами інженерних споруд та іншими елементами дорожньої інфраструктури [1].

Особливістю подібних аварій є те, що транспортний засіб часто взаємодіє з перешкодою під певним кутом. У такому випадку виникає складна динамічна картина руху, що включає поступальний та обертальний рух транспортного засобу. Це пояснюється тим, що лінія дії сили реакції перешкоди, як правило, не проходить через центр мас транспортного засобу.

Особливої актуальності набуває дослідження ударних взаємодій транспортних засобів з дорожніми бар'єрними огороженнями, оскільки такі конструкції широко застосовуються для підвищення безпеки дорожнього руху. Аналіз динаміки удару транспортного засобу під кутом до перешкоди має важливе значення для дослідження механіки дорожньо-транспортних пригод, підвищення безпеки транспортних засобів та вдосконалення конструкцій дорожніх бар'єрних огорожень.

Мета роботи

Метою роботи є побудова розрахункової моделі удару транспортного засобу під кутом до нерухомої перешкоди та аналіз основних динамічних параметрів процесу взаємодії.

Теоретичні основи процесу удару

Для опису динаміки ударної взаємодії використаємо основні положення теореми про зміну кількості руху та рівняння динаміки обертального руху твердого тіла [2-4]. У якості спрощеної моделі удар транспортного засобу об перешкоду можна розглядати як короткочасну взаємодію твердого тіла з

жорсткою опорою. У момент контакту виникає імпульс сили, що спричиняє зміну швидкості транспортного засобу.

Імпульс сили визначається співвідношенням

$$S = R \cdot \Delta t$$

де S – імпульс сили;

R – динамічна реакція між транспортним засобом та бар'єрним огородженням;

Δt – тривалість ударної взаємодії.

У векторній формі зміна кількості руху описується рівнянням

$$\vec{S} = m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

де $\vec{v}_1$ – вектор швидкості транспортного засобу до удару;

$\vec{v}_2$ – вектор швидкості після удару,

m – маса транспортного засобу;

Згідно з теоремою про зміну кількості руху

$$R \cdot \Delta t = m \cdot (v_2 - v_1).$$

Оскільки сила реакції прикладена на певній відстані від центра мас транспортного засобу, виникає момент сили відносно центра мас [5-6]:

$$M_C = R \cdot l,$$

де l – плече сили відносно центра мас.

Обертальний рух транспортного засобу описується рівнянням

$$\varepsilon = \frac{M_C}{I_C}$$

M_C – момент інерції транспортного засобу відносно центра мас.

ε – кутове прискорення.

У результаті дії імпульсу моменту сили транспортний засіб отримує кутову швидкість, яку можна оцінити співвідношенням

$$\omega = \frac{M_C \cdot \Delta t}{I_C}$$

де ω – кутова швидкість обертання транспортного засобу після удару.

Оскільки удар відбувається під кутом α до перешкоди, швидкість транспортного засобу можна розкласти на складові відносно поверхні бар'єра

$$v_n = v \cdot \cos(\alpha);$$

$$v_t = v \cdot \sin(\alpha).$$

де v_n – нормальна складова швидкості до поверхні перешкоди;

v_t – тангенціальна складова швидкості вздовж поверхні бар'єра.

Саме нормальна складова швидкості визначає інтенсивність ударної взаємодії між транспортним засобом та перешкодою.

Зазначимо, що в реальних умовах сила реакції R змінюється нелінійно в процесі деформації кузова, тому для базового розрахунку нижче приймається її усереднене значення.

Більш повний опис зміни характеру обертального руху транспортного засобу протягом ударної взаємодії дає теорема про зміну кінетичного моменту (теорема про кутовий імпульс):

$$\int_0^{\Delta t} M_C dt = I_C \cdot (\omega_2 - \omega_1),$$

де ω_1 та ω_2 – кутові швидкості транспортного засобу до та після удару відповідно.

Проте використання цієї інтегральної залежності для прямих аналітичних розрахунків ускладнюється тим, що момент сили $M_C(t)$ не є сталою величиною. Процес деформації [7] силових елементів кузова (лонжеронів, підсилювачів, стійок) під час аварійної взаємодії супроводжується постійною зміною жорсткості конструкції [8]. Метал зазнає пластичних деформацій, локальних зминань і руйнувань, унаслідок чого сила реакції перешкоди, а отже і момент сили, змінюються в часі нелінійним чином.

Точне визначення функції $M_C(t)$ можливе лише за наявності телеметричних даних, отриманих під час проведення натурних краш-тестів. Тому в межах даної базової розрахункової моделі для оцінювання миттєвих динамічних навантажень доцільно застосовувати спрощений підхід, заснований на використанні усередненого значення сили реакції R та визначенні миттєвого кутового прискорення ε .

Приклад розрахунку

Для ілюстрації розглянемо умовний приклад. Нехай маса транспортного засобу становить $m = 1500$ кг. Швидкість автомобіля перед ударом $v_1 = 20$ м/с. Плече прикладання сили відносно центра мас $l = 0.6$ м.

Якщо під час удару в точці контакту А виникає реакція перешкоди (усереднене значення) величиною $R = 10000$ Н, то момент сили відносно центра мас становитиме

$$M_C = R \cdot l = 10000 \cdot 0.6 = 6000 \text{ (Нм)}.$$

Отриманий момент спричиняє обертання транспортного засобу та зміну його траєкторії руху після удару.

Аналіз розрахункової схеми удару

Для дослідження процесу взаємодії транспортного засобу з перешкодою була побудована розрахункова схема удару. На рисунку 1 зображено транспортний засіб, що рухається зі швидкістю v під кутом α до дорожнього відбійника.

У точці контакту А виникає реакція перешкоди R , напрямок якої визначається умовами взаємодії кузова автомобіля з бар'єрним огородженням. Лінія дії сили реакції не проходить через центр мас транспортного засобу С, унаслідок чого виникає момент сили відносно центра мас M_C , що спричиняє обертання автомобіля. Плече сили l визначається як найкоротша відстань від центра мас до лінії дії сили реакції R .

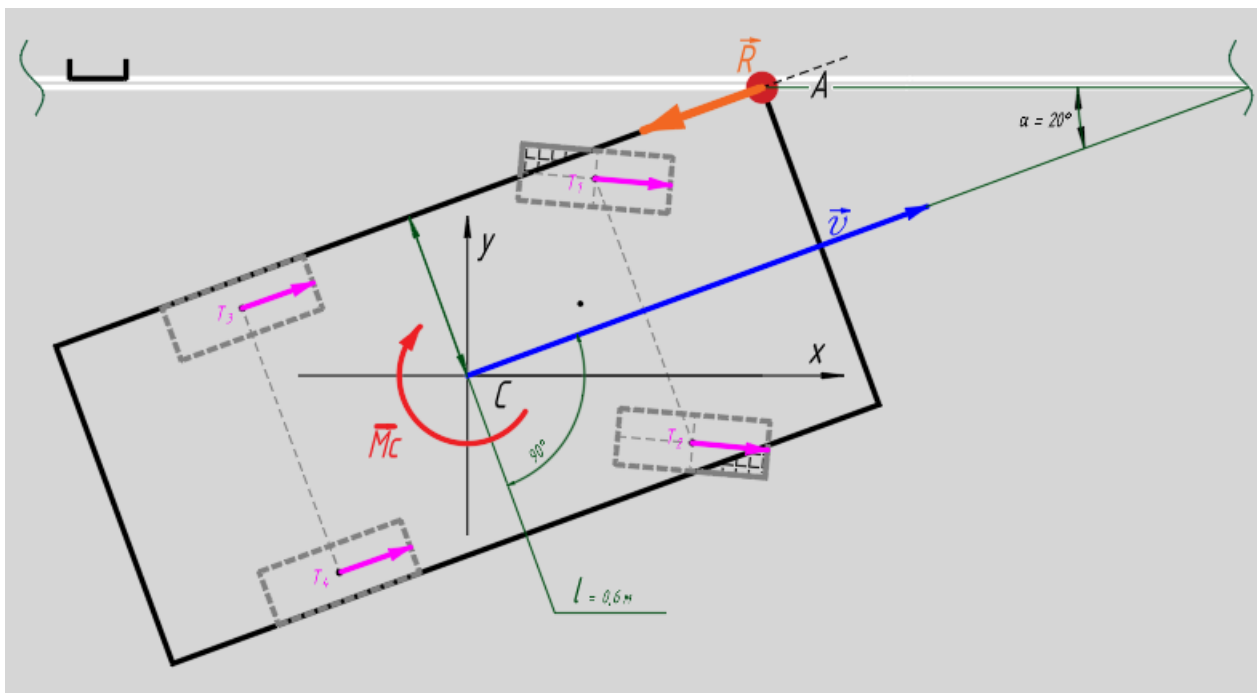


Рис. 1. Розрахункова схема удару транспортного засобу об дорожній відбійник під кутом α

Крім сили взаємодії з перешкодою, на транспортний засіб діють сили взаємодії шин з дорожнім покриттям T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , які визначають характер подальшого руху автомобіля після удару та впливають на величину сил тертя між колесами та дорогою. Таким чином, у момент удару транспортний засіб отримує зміну поступального руху центра мас та додатковий обертальний рух відносно нього.

Висновки

Побудовано розрахункову модель удару транспортного засобу об нерухому перешкоду під кутом, яка наочно демонструє механіку виникнення обертального моменту.

Встановлено, що внаслідок несиметричної ударної взаємодії транспортний засіб здійснює складний рух, який поєднує поступальне зміщення центра мас та обертання кузова.

Доведено, що величина кутового прискорення транспортного засобу прямо залежить від плеча прикладання сили реакції перешкоди та обернено пропорційна моменту інерції системи.

Запропонована розрахункова модель створює теоретичне підґрунтя для практичної оцінки ступеня пошкоджень кузова при експертизі дорожньо-транспортних пригод, а також може бути застосована при проектуванні та оптимізації жорсткості сучасних дорожніх бар'єрних огорожень.

Література

1. Зозуля В. М. Аналіз особливостей фронтального зіткнення автомобілів класу D.

2. Романенко, Л.Г. Теоретична механіка: Навч. посіб. для студ. ВУЗів / Л. Г. Романенко, В. Г. Солодов. 2-е вид. Х.: ХДАДТУ, 2002. 270 с.
3. Міщенко І.В., Воропай О.В., Красніков С.В. Теоретична механіка. Частина І. Статика. Кінематика: навчальний посібник. Х.: ФОП Бровін О.В. 2025. 158 с. ISBN 978-617-8238-95-7
4. Міщенко І.В., Воропай О.В., Красніков С.В. Теоретична механіка. Частина ІІ. Динаміка: навчальний посібник. Х.: ФОП Бровін О.В. 2025. 154 с. ISBN 978-617-8238-94-0
5. Міщенко І.В. Теоретична механіка: конспект лекцій. Х.: ХНАДУ, 2023. 207 с.
6. Нескреба Е. Є., Воропай О. В., Карпенко В. О. Методичні вказівки до практичних занять, РГР та СРС з дисципліни «Теоретична механіка», розділ «Статика» для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки G19 (192) – «Будівництво та цивільна інженерія». Х.: ХНАДУ, 2025. 124 с.
7. Воропай О. В., Шарапата А. С. Технічна механіка: Конспект лекцій. Харків : ХНАДУ, 2022. 124 с.
8. Мяковський В. А., Велешук П. І. Удосконалення технологічного процесу ремонту кузовних елементів автомобіля з дослідженням процесу фіксації пристроїв з пошкодженою поверхнею.
9. M. Diachuk, O. Lykhodii, Leontiev, D., L. Ryzhykh, & Yu. Aleksandrov. (2022). Dynamic modeling of semitrailer trucks equipped by steered wheels. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 16(1), 8691–8705. <https://doi.org/10.15282/jmes.16.1.2022.04.0687>
10. Леонтьєв Д.М., Лиходій О.С., Малий В.М. (2025). Особливості вирішення задачі повороту керованих коліс вантажних автомобілів. Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств: зб. матеріалів ІV Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару, 29 трав. 2025 р./ Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, С. 10–14.

Науковий консультант: д.т.н., проф. Воропай О. В., зав. каф. деталей машин та теорії механізмів і машин.

Задорожний Дмитро, студент групи АА-21-24,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАСТОСУВАННЯ CFD МЕТОДІВ В ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ «ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ»

Сучасний етап розвитку інженерної освіти вимагає інтеграції традиційних методів навчання з новітніми цифровими технологіями. У курсі гідравліки однією з фундаментальних тем є вивчення рівняння Бернуллі, яке описує закон збереження енергії для потоку рідини. Традиційно дослідження цього закону проводиться на лабораторних стендах, що дозволяють наочно фіксувати зміни п'єзометричного та повного напорів. Однак лише фізичний експеримент не завжди дає повне уявлення про структуру потоку в зонах зміни геометрії

каналу. В роботі ставилось за мету показати можливості, переваги та обмеження гідравлічного і чисельного моделювання гідравлічного стрибка в системах дорожнього водовідведення. Одним із найбільш перспективних шляхів вдосконалення навчального процесу є впровадження методів обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics). Використання CFD дозволяє не тільки дублювати натурний експеримент у віртуальному середовищі, але й візуалізувати поля тисків та швидкостей з високою роздільною здатністю, що значно полегшує розуміння фізичних процесів. Метою даної роботи є порівняльний аналіз результатів експериментального дослідження рівняння Бернуллі на лабораторній установці та даних, отриманих за допомогою чисельного моделювання. Такий підхід дозволяє верифікувати результати розрахунків та продемонструвати студентам ефективність сучасного програмного забезпечення для розв'язання практичних задач гідравліки в'язкої рідини.

Актуальність та теоретичні основи Рівняння Бернуллі є одним із основних рівнянь гідравліки, що використовується при розв'язанні практичних задач руху в'язкої рідини [1]. Воно базується на законі збереження енергії та в сукупності з рівнянням нерозривності ($Q = v \cdot \omega = \text{const}$) описує стан потоку в різних перерізах. Для потоку в'язкої рідини рівняння має

вигляд:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

Де:

Z — питома потенційна енергія положення (геометрична висота).

$p / \rho g$ — питома потенційна енергія тиску (п'єзометрична висота).

$\alpha v^2 / 2g$ — питома кінетична енергія (швидкісний напір).

h_w — втрати напору на подолання сил внутрішнього тертя.

Об'єктом дослідження є потік рідини у трубі змінного перерізу (труба Вентурі). Експериментальна частина виконувалася на гідравлічному стенді, обладнаному багатотрубним п'єзометром [2] для фіксації статичного тиску в 9-ти точках за довжиною потоку (рис. 1).

Паралельно було створено цифрову модель установки для проведення чисельного моделювання (CFD). Це дозволило отримати візуалізацію полів тиску (Pressure [Pa]) та швидкості (Velocity [m/s]) (рис. 2).

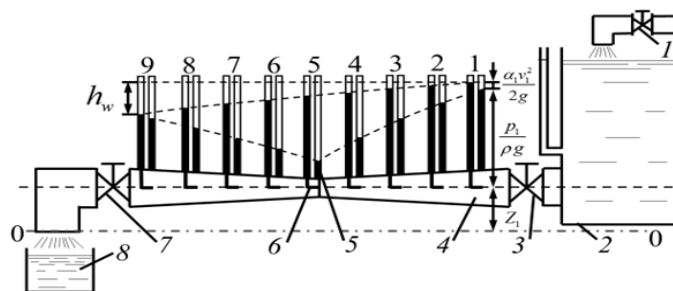


Рисунок 1 – Схема лабораторної установки

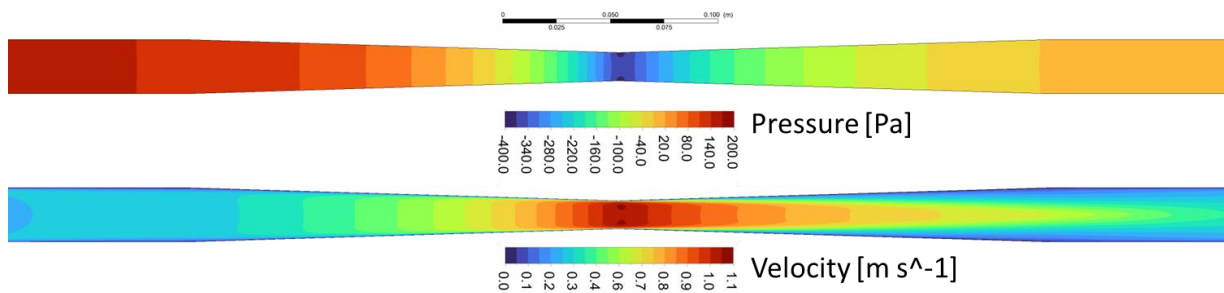


Рисунок 2 – Результати чисельного моделювання

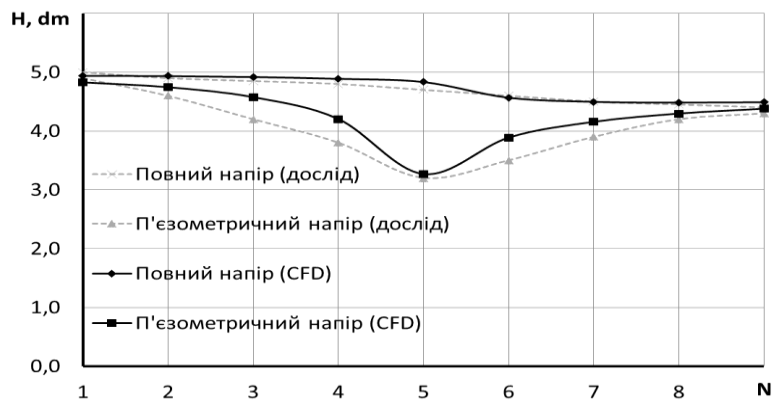


Рисунок 3 – Діаграми рівняння Бернуллі

Аналіз результатів

За результатами порівняння експериментальних даних та CFD-моделювання встановлено:

Розподіл тиску: Найменше значення п'єзометричного напору спостерігається у вузькому перерізі (точка №5), де швидкість потоку є максимальною.

Лінія напору: Повний напір поступово зменшується за довжиною труби через гідравлічні втрати (h_w).

Верифікація: Графіки повного та п'єзометричного напорів, отримані методами CFD, демонструють високу кореляцію з дослідними даними, що підтверджує адекватність обраної математичної моделі (рис. 2).

Висновки

Фундаментальна база: Дослідження підтверджує, що рівняння Бернуллі є фундаментальним законом гідравліки, який базується на законі збереження енергії та нерозривності потоку для нестисненої рідини.

Порівняння методів: Графічний аналіз результатів показує високу кореляцію між даними натурного експерименту (дослід) та результатами числового моделювання (CFD):

Повний напір: Лінія повного напору в CFD моделі майже збігається з експериментальними точками, плавно знижуючись вздовж потоку через втрати енергії.

П'єзометричний напір: Графіки наочно демонструють падіння статичного тиску (п'єзометричного напору) у звуженій частині труби (переріз №5), де швидкість потоку досягає максимуму, що повністю відповідає закону Бернуллі.

Ефективність CFD: Застосування методів обчислювальної гідродинаміки (CFD) дозволяє з високою точністю візуалізувати поля тиску та швидкостей, що доповнює традиційні лабораторні дослідження та дає змогу детальніше аналізувати структуру потоку.

Цифрова трансформація освіти: Використання професійного програмного забезпечення готує студентів до роботи в сучасних конструкторських бюро, де комп'ютерне моделювання є стандартом проектування перед створенням фізичних прототипів.

Розвиток аналітичних навичок: Порівняння «живого» експерименту з цифровим двійником вчить студентів критично оцінювати точність моделей, розуміти похибки вимірювань та межі застосування теоретичних припущень.

Література

1. Авершин А. Г. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Гідравліка і гідропневмопривід» / Андрій Геннадійович Авершин. // Харків: ХНАДУ. – 2021. – 40 с.

2. Біловол О. В., Авершин А. Г. Гідравліка, гідро та пневмоприводи: конспект лекцій / О. В. Біловол, А. Г. Авершин. // Харків: ХНАДУ. – 2023. – 129 с.

Науковий консультант: Авершин А.Г. доц. каф. деталей машин та ТММ

Коваленко Станіслав., студент групи А-22-24, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ КЛЕПСІДР РІЗНИХ ФОРМ

Клепсидра (грецькою – «викрадач води») – водяний годинник у вигляді посудини переважно циліндричної, конічної або параболоїда четвертого ступіня форми (рис.1), з якої вода витікає через отвір у дні, а її рівень показує час. Відомий з часів асирійців і вавілонян та Стародавнього Єгипту. Застосовувався до XVII ст. У греків і римлян водяними годинниками простої конструкції вимірювалася тривалість виступів ораторів у суді. Пізніше такі математики, як Галілей, Варіньон, Бернуллі розв'язували задачі стосовно роботи водяних годинників.

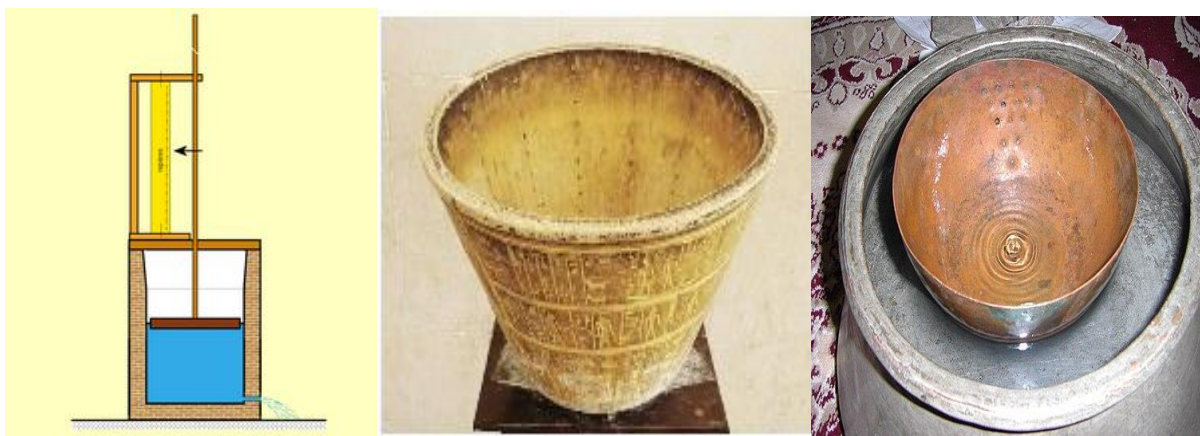


Рис. 1

Метою роботи є отримання аналітичних залежностей між рівнем води у клеписдрах вказаних форм і часом, а також проведення їх порівняльного аналізу.

За основу було взято відому з курсу гідравліки формулу для пропускної здатності малого отвору у тонкій стінці:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

де Q - витрата води через отвір, μ - коефіцієнт витрати, ω - площа отвору, g - прискорення вільного падіння, H - напір води у клеписдрі.

Витікання води з посудини циліндричної форми є класичним прикладом витікання рідини через отвори і насадки при змінному напорі. Зв'язок між часом і напором можна записати у простому вигляді:

$$t = \frac{2V_0}{Q_0} \left(1 - \sqrt{\frac{H}{H_0}} \right),$$

де Q_0 - початкова витрата води через отвір, V_0 - початковий об'єм води у посудині, H_0 - початковий напір води.

Трохи складніше отримати формулу для клеписдри конічної форми, яка має вигляд:

$$t = \frac{2\pi r^2}{\mu \omega \sqrt{2g}} \left[\sqrt{H_0} \left(1 + \frac{2}{3} F_0 + \frac{1}{4} F_0^2 \right) - \sqrt{H} \left(1 + \frac{2}{3} F + \frac{1}{4} F^2 \right) \right],$$

де r - радіус основи клепсидри, α - кут нахилу бокової поверхні до вертикалі, допоміжна функція $F = \operatorname{tg} \alpha \frac{H}{r}$.

Безумовно найдосконалішою формою клепсидри є така, що забезпечує пропорційність між часом і напором. Легко показати, що це параболоїд обертання четвертого ступеню, який має рівняння

$$H = \frac{\pi v^2}{2\mu^2 \omega^2 g} r^4,$$

де r - радіальна координата, v - швидкість зменшення напору. У цьому випадку залежність між часом і напором найпростіша:

$$t = \frac{1}{v}(H_0 - H).$$

Для спрощення аналізу формул перейдемо до безрозмірних змінних

$$t' = \frac{Q_0}{2V_0} t, H' = \frac{H}{H_0}$$

і скористаємося співвідношенням:

$$\operatorname{tg} \alpha \frac{H_0}{r} = 1.$$

У випадку циліндричної, конічної і параболічної четвертого ступеня клепсидр маємо відповідно:

$$t' = 1 - \sqrt{H'}, t' = 1 - \frac{12}{23} \sqrt{H' \left(1 + \frac{2}{3} H' + \frac{1}{4} H'^2 \right)}, t' = 1 - H'.$$

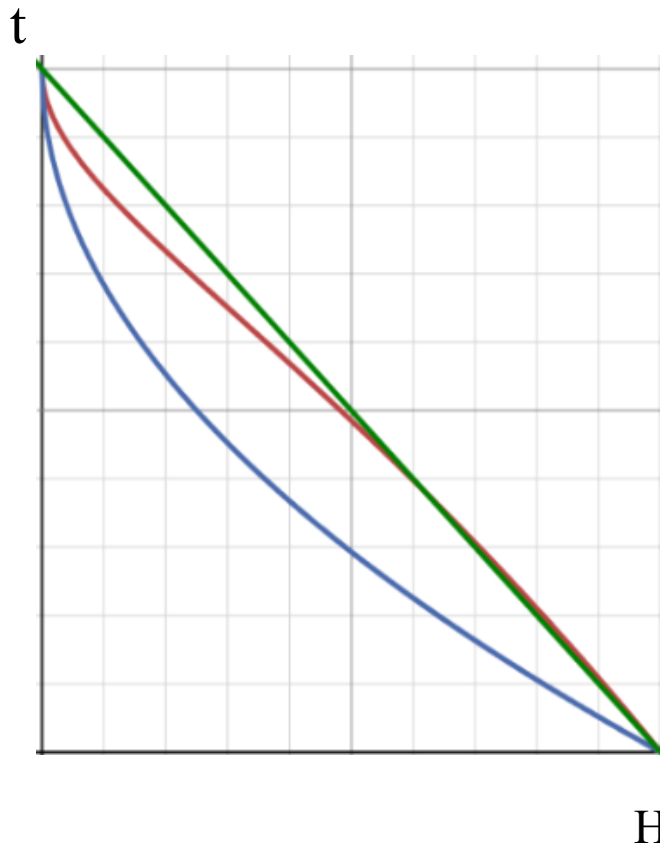


Рис. 2

Порівняння кривих дозволяє зробити висновок, що конічна клепсидра (червона крива) краще відповідає пропорційності між напором і часом, яка характерна для параболічної четвертого ступеня клепсидри (зелена крива), ніж циліндрична (блакитна крива).

Змінення радіусу основи і кута нахилу бокової поверхні конічної клепсидри дає можливість її вдосконалювати. Історично це робилося на експериментальній основі.

Науковий консультант: Біловол О.В., доц. каф. деталей машин та теорії механізмів і машин.

Коржов Дмитро, студент групи М-32-23

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗМЕНШЕННЯ ПРОЯВУ ДЕФЕКТУ «ПАВУТИННЯ» НА ПРОТОТИПАХ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ FDM

Технології швидкого прототипування дозволяють у відносно короткі строки отримувати перші прототипи майбутніх виробів та відтворювати їх в обсягах характерних для дрібносерійного виробництва. Найбільш поширеною технологією швидкого прототипування є 3D-друк методом пошарового наплавлення матеріалу (FDM). В ідеальному випадку результатом друку є фізичний об'єкт, що у визначеній мірі відповідає тривимірній електронній

моделі. Через невірне калібрування кроку подаючих механізмів, температури екструдера та інших параметрів, а також через невірні налаштування друку можуть спостерігатись різноманітні дефекти.

Ця стаття присвячена одному з найпоширеніших дефектів, пов'язаних з технологією моделювання методом наплавлення – дефекту «павутиння», який також відомий як stringing. Розглянуто, з чим він пов'язаний, від яких параметрів друку залежить, і головне – шляхи його усунення.

«Павутиння» – це дефект FDM-друку, при якому тонкі нитки розплавленого пластику залишаються між окремими частинами моделі (рис.1). Формування «павутиння» відбувається під час холостих переміщень, коли сопло рухається від однієї точки друку до іншої, не виконуючи екструзію.



Рис. 1. Прояв дефекту «павутиння» на надрукованій моделі

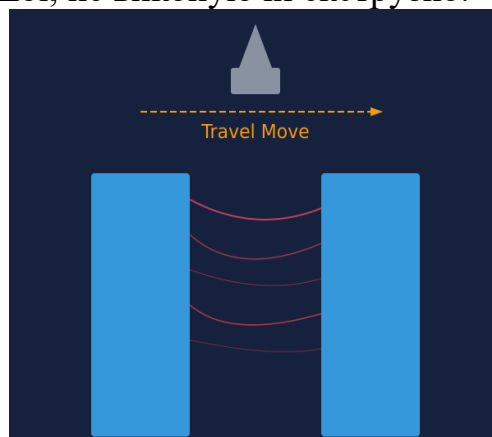


Рис. 2. Схема утворення «павутиння»

На рис. 2 зображено схему утворення «павутиння»: при перепозиціонуванні екструдера між виступаючими частинами моделі розплавлений пластик, який залишається в соплі, продовжує витікати під дією залишкового тиску та гравітації, що призводить до появи ниток з полімеру між цими виступаючими частинами.

В англomовній літературі опис згаданого дефекту зустрічається під різними назвами: stringing, oozing, cobwebbing, hairing або whiskers [1]. Під усіма цими поняттями розуміється неконтрольоване витікання матеріалу.

Серед основних причини, які призводять до появи павутиння наступні:

1) надмірна температура друку: чим гарячіший полімер, тим нижча його в'язкість, і тим легше він витікає через сопло;

2) неправильні налаштування ретрактів: якщо дистанція або швидкість видалення матеріалу від вихідного отвору недостатні, розігрітий пластик продовжуватиме самовільно витікати;

3) відсутність або невірні налаштування функції компенсації тиску в екструдері (англ. Pressure Advance). Без реалізації Pressure Advance в екструдері при переході до друку наступної виступаючої частини спостерігається надлишковий залишковий тиск, що призводить до небажаного витікання розігрітого матеріалу;

4) наявність вологи у філаменті. Більшість полімерів є гігроскопічними, тобто схильні до поглинання вологи з повітря. Ця волога при нагріванні

перетворюється на пару, створюючи додатковий тиск усередині сопла, відповідно вологий полімер піниться та виштовхується у небажаних місцях.

В межах раціонального діапазону температур друку прояв дефекту «павутиння» практично лінійно залежить від температури: чим вища температура, тим нижча в'язкість розплаву, тим більше витікання.

На графіку на рис. 3 наведено орієнтовні дані залежності прояву дефекту від температури для PLA. За 100% прояв дефекту обрано варіант друку при 230°C. При температурі 185°C рівень павутиння складає приблизно 10%, при 190°C – 20%, при 200°C – 30%, при збільшенні температури до 210°C, стрінгінг зростає до 50%, а при 220°C – до 75%.

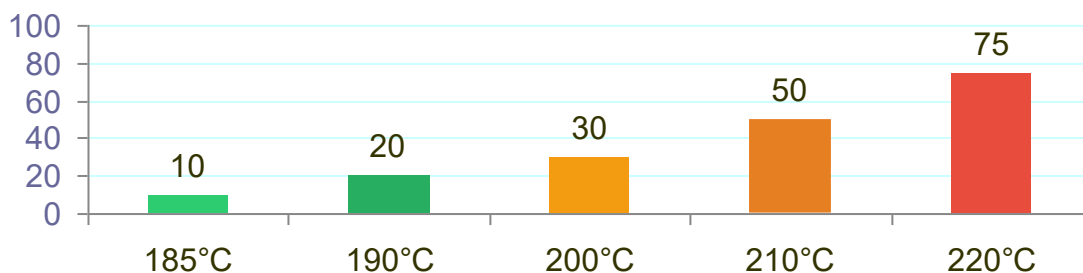


Рис. 3. Залежність прояву дефекту «павутиння» від температури

Ступінь прояву дефекту з ростом температури залежить від типу матеріалу та виробника, тому для кожного окремого матеріалу необхідно друкувати спеціальні калібрувальні зразки, наприклад температурну вежу. Температурна вежа – це спеціальна тестова модель із повторюваними фрагментами, кожен з яких друкується за різної температури. Друк такої моделі дозволяє на одному відбитку побачити, як друк за різних температур екструдера впливає на якість отримуваних зразків та прояв досліджуваного дефекту (рис. 4). Модель може бути завантажена з ресурсів Printables або Thingiverse [2]. Для завантаженої моделі налаштування температури для кожного фрагменту може бути здійснене вручну або за допомогою скриптів. Можливо також використати вбудований до OrcaSlicer калібрувальний зразок, що не потребує додаткової підготовки [3].

В режимі ручного підбору оптимальних налаштувань для зменшення прояву дефекту «павутиння» варто поступово знижувати температуру друку, зазвичай кроками по 5 градусів, з подальшим друком тестових зразків. При цьому не можна знижувати температуру суттєво нижче рекомендованої, оскільки це призведе до недоекструзії (рис. 5), поганої адгезії між шарами та навіть неможливості друку. Базова інформація щодо властивостей найпоширеніших полімерів наведена в табл. 1.

Ефективним інструментом боротьби з появою павутиння є вірне налаштування ретракції.

Ретракція – це зворотне втягування філаменту перед холостим переміщенням. При цьому екструдер обертає шестерні подаючого механізму у зворотному напрямку, відтягуючи пластик від сопла і знижуючи тиск у hotend (сопло з нагрівальним блоком).



Рис. 4. Надрукована модель
«температурна вежа»



Рис. 5. Прояв недоекструзії

Табл. 1. Властивостей найпоширеніших полімерів для FDM 3D друку

Назва	Рекомендований діапазон температур друку, °C	Оптимальний діапазон температур друку для зменшення прояву дефекту «павутиння», °C	Характеристика
PLA	190–220	190–200	Найменш складний для друку, низька схильність до появи «павутиння»
PETG	220–250	225–235	Висока схильність до появи «павутиння» через високу текучість в нагрітому стані
ABS	220–250	225–240	Ступінь прояву дефекту – середній
Nylon	240–270	245–255	Складний для друку, рівень схильності до появи «павутиння» середній
TPU	210–230	215–225	Висока схильність до появи «павутиння»

Для ретрактів основними є два параметри: величина, тобто на скільки міліметрів відтягується філамент; швидкість переміщення матеріалу. Для принтерів з Direct Drive екструдером рекомендоване значення величини ретрактів становить 0.5-2.0 мм, оскільки подаючий механізм знаходиться безпосередньо біля hotend. Для Bowden екструдерів, де між подаючим механізмом і hotend є відносно довгий канал подачі матеріалу, потрібна більша величина ретрактів (4-6 мм).

Рекомендований діапазон швидкості ретракції 25-45 мм/с. Якщо обрати занадто низьку швидкість, пластик буде встигати витекти ще до завершення ретракції. При надто високих швидкостях ретракції може порушитись

стабільність тиску в соплі, відбутись формування пробки в подаючому каналі або відбутись пошкодження філаменту подаючим механізмом.

Підбирати оптимальні параметри ретракції можна за допомогою друку спеціальних зразків або перебором, поступово збільшуючи величину ретракту з кроком по 0.5 мм. Варто відмітити, що надто велика величина ретракції може створити повітряні зазори в hotend, що негативно вплине на якість друку.

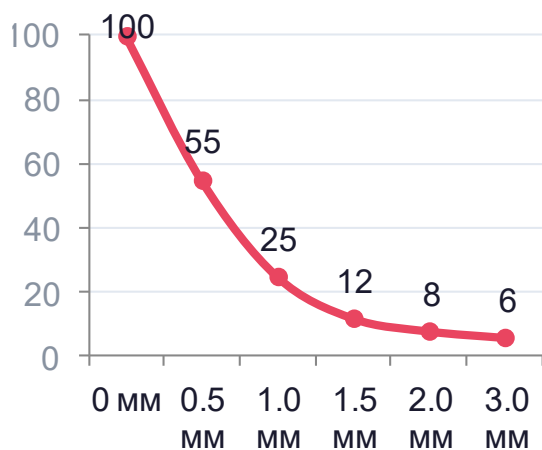


Рис. 6. Залежність прояву дефекту «павутиння» від величини ретрактів

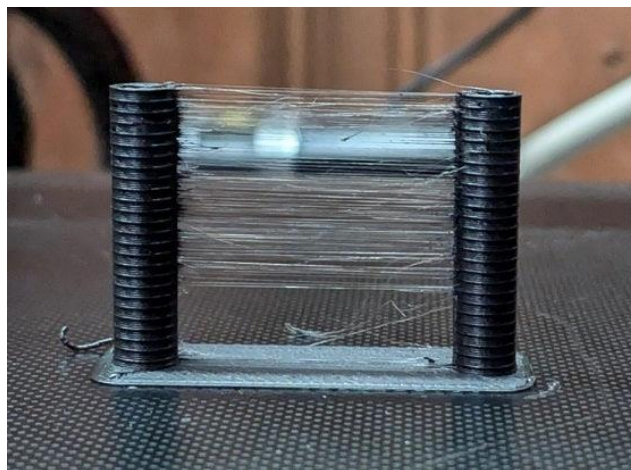


Рис. 7. Калібрувальна модель для вибору величини ретрактів

На рис. 6 представлено залежність рівня стрінгінгу від величини ретракції для Direct Drive екструдера при друці PLA. Вважатимемо, що максимальний прояв дефекту спостерігається при відсутності ретракції. Вже при довжині ретракції 0.5 мм спостерігається зменшення павутиння до 55%, при збільшенні ретракції до 1.0 мм прояв дефекту додатково зменшується на 25%, при 1.5 мм – на 12%, а при 2.0 мм – всього на 8%. Варто звернути увагу, що після величини ретракції 1.5 мм подальше її збільшення дає мінімальний ефект, при цьому збільшуються ризики прояву інших дефектів. Тому оптимальна величина ретрактів для Direct Drive становить приблизно 1.0–2.0 мм.

Вибір оптимальної величини ретрактів можливий на основі аналізу надрукованої моделі Retraction Test Tower, що можна завантажити з Thingiverse або Printables. Більш зручно використовувати наперед налаштовану калібрувальну модель з Orca Slicer. За такою моделлю (рис. 7) відбувається друк кількох стовпчиків з різними значеннями ретракції. Це дозволяє швидко знайти оптимальне значення.

Окрім температури та ретракції, сучасні слайсери пропонують додаткові інструменти для боротьби з «павутинням».

Combing Mode – це режим, при якому сопло під час холостих переміщень рухається лише по вже надрукованих ділянках, уникаючи відкритих проміжків. Це значно зменшує кількість необхідних ретракцій і відповідно ризик появи «павутиння», проте призводить до збільшення часу друку.

Coasting – підхід, при якому екструзія зупиняється за 0.2-0.5 мм до кінця укладаної лінії. Ідея в тому, що залишкового тиску має бути достатньо для

заповнення цього невеликого проміжку. При цьому на момент холостого переміщення тиск у соплі вже знижений.

Wipe on Retract – після виконання ретракції сопло має витиратися об надрукований периметр, знімаючи краплю розплаву, яка могла б розтягнутися у нитку при переміщенні.

Z-Hop – підняття сопла на 0.1-0.3 мм при холостому переміщенні. Ця опція додатково зменшує зачіпання надрукованих частин. В деяких випадках використання Z-Hop збільшує павутиння через більшу відстань, на якій нитка може розтягуватися.

Travel Speed (швидкість холостого переміщення). Рекомендується встановити швидкість переміщення 190-200 мм/с: чим швидше сопло переміщується між точками, тим менше часу пластик має на витікання.

Сучасне програмне забезпечення пропонує використання ще одного інструменту, що дозволяє суттєво знизити прояв дефекту «павутиння». Він має назву компенсація тиску або англ. Pressure Advance.

Суть технології полягає в динамічній компенсації тиску в соплі шляхом випереджального коригування швидкості подачі філаменту.

На рис. 8 показано, як відбувається друк без Pressure Advance. Синя лінія ілюструє швидкість переміщення друкуючої голівки, червона лінія – фактичну екструзію пластику. Швидкість екструзії «відстає» від швидкості руху: коли екструдер прискорюється, пластик ще не встигає виходити з потрібною швидкістю, а коли екструдер сповільнюється – навпаки, утворюється надлишок.

На рис. 9 зображено діаграму для випадку використання Pressure Advance. Зелена лінія екструзії точно повторює криву швидкості. Це досягається за рахунок того, що забезпечується більша подача пластику перед прискоренням і зменшення подачі перед сповільненням.

В залежності від вбудованого в принтер програмного забезпечення технологія випередження тиску реалізується по-різному.

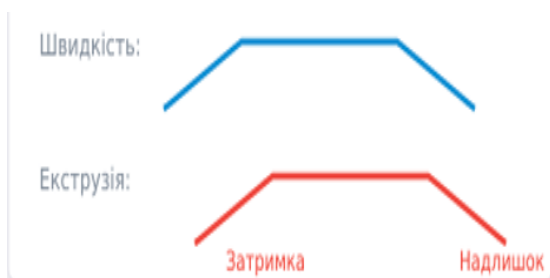


Рис. 8. Діаграма зміни параметрів без використання технології компенсації тиску

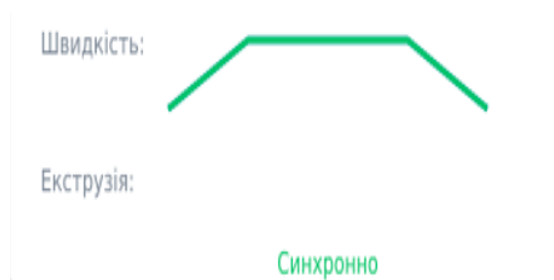


Рис. 9. Діаграма зміни параметрів з використанням технології компенсації тиску

У вбудованому програмному забезпеченні на базі Klipper ця технологія називається саме Pressure Advance, регулюється К-фактором, що може приймати значення від 0 до 1, при цьому використовується точна кінематична модель і не відбувається зниження швидкості друку. У вбудованому ПЗ на базі

Marlin – це Linear Advance, К-фактор обирається з діапазону 0-2. В реалізації Linear Advance використовується лінійна апроксимація, може спостерігатись зниження швидкості друку. Обидві технології випередження тиску дозволяють зменшити появу «павутиння», але технологія Pressure Advance в Klipper дає кращий результат при високих швидкостях.

Варто відмітити, що правильне налаштування технології Pressure Advance зменшує потребу в агресивних рефракціях, тобто дозволяє використовувати меншу величину ретракції із забезпеченням відсутності «павутиння».

Калібрування К-фактора полягає в друці тестових зразків, таких як башти або лінійчасті моделі [4]. Такі моделі можуть бути підготовані вручну або автоматично, наприклад, з використанням OrcaSlicer [4]. Після друку моделі вигляду башта необхідно здійснити огляд її кутів на чіткість і визначити, на якій висоті результат друку був найкращим. Після виміру відстані від основи моделі до згаданого рівня на основі нескладних підрахунків можна отримати оптимальне значення К-фактору. Для екструдерів типу Direct Drive типові значення – 0.05-0.2, для Bowden – 0.5-1.0.

Вплив використання Pressure Advance на якість надрукованого зразку можна побачити на рис. 10.



Рис. 10. Надруковані моделі з використанням Pressure Advance (зліва) та без нього (праворуч)

Таким чином, покроковий алгоритм усунення проблеми появи «павутиння», впорядкований за пріоритетом наступний:

- 1) висушити філамент. Це базовий крок, який вирішує проблему у значній кількості випадків. PLA варто просувувати при 50°C, PETG – при 60°C, протягом 4–6 годин.

- 2) знизити температуру сопла на 5–10 градусів. Для точного підбору варто використовувати тестову модель Temperature Tower.

- 3) калібрувати ретракцію шляхом друку та аналізу Retraction Tower, в межах якої змінюється дистанція ретракції з кроком по 0.5 мм.

4) увімкнути та налаштувати Pressure Advance з використанням калібрувальної моделі.

5) здійснити тонке налаштування в слайсері: Combing, Coasting, Travel Speed.

При підборі оптимальних параметрів друку потрібно змінювати один параметр за раз. Якщо змінювати кілька налаштувань одночасно, неможливо зрозуміти, що саме вплинуло на результат та в якій мірі.

Література

1. <https://www.creality.com/blog/3d-print-stringing>
2. <https://www.thingiverse.com/thing:4149643>
3. https://www.orcaslicer.com/wiki/calibration/temp_calib.html
4. https://www.orcaslicer.com/wiki/calibration/pressure_advance_calib.html

Науковий консультант: Єгоров П. А., доц. каф. деталей машин та ТММ

Мусієнко Іван Ігорович, студент гр. Д-11-25,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗІСТАВЛЕННЯ ПЛОСКИХ ПРОЄКЦІЙ ДОВІЛЬНОЇ ПРОСТОРОВОЇ СИСТЕМИ СИЛ ПРИ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ ДОРОЖНЬОЇ ОПОРИ РМГ-4

Анотація. У роботі розглядається статична стійкість консольної металеві Г-подібної дорожньої опори типу РМГ-4. Побудовано розрахункову модель, яка враховує сумісну дію вертикальних гравітаційних та горизонтальних аеродинамічних навантажень. З метою інженерного спрощення просторову задачу зведено до двох ортогональних плоских задач. Здійснено розрахунок перекидних моментів відносно жорсткого защемлення з подальшим визначенням коефіцієнта запасу стійкості фундаменту.

Ключові слова: теоретична механіка, дорожня опора, розрахункова модель, умови рівноваги, перекидний момент, просторова система сил, метод суперпозиції.

Вступ

Забезпечення надійності дорожньої інфраструктури є критичним фактором безпеки на магістралях. Консольні металеві Г-подібні опори (типу РМГ), які широко застосовуються для розміщення систем відеофіксації та електронних табло, є складними просторовими системами з асиметричним розподілом мас. В умовах реальної експлуатації на відкритих трасах (наприклад, М-03 у Харківській області) вони зазнають сумісної дії ваги та інтенсивних вітрових навантажень.

Для забезпечення інженерної наочності на етапі ескізного проєктування, доцільним є перехід від складної матричної просторової моделі до розв'язання системи через плоскі проєкції [3, 4].

Мета роботи

Метою роботи є побудова розрахункової моделі Г-подібної опори РМГ-4, визначення опорних реакцій методом розбиття просторової системи на дві ортогональні плоскі задачі статички та аналіз запасу стійкості фундаменту проти перекидання.

Теоретичні основи та розрахункова модель

Об'єктом дослідження обрано типову рамну консольну опору РМГ-4 (конфігурація без великогабаритного інформаційного щита, адаптована під системи відеофіксації). Конструкція складається з вертикальної стійки ($H = 6,05$ м) та горизонтальної ґратчастої просторової ферми ($L = 4,5$ м) [2]. Для врахування маси зварних швів, електродів та підготовки торців, розрахункову масу ферми збільшено за допомогою коефіцієнта $k_{зв} = 1,25$.

Гравітаційні сили (спрямовані вертикально вниз) становлять:

G_1 (Стійка): маса 137 кг. Сила $G_1 = 1344$ Н.

G_2 (Ферма): маса $239,4 \cdot 1,25 = 299$ кг. Сила $G_2 = 2935$ Н.

Згідно з нормативними документами [1], розрахунковий швидкісний напір вітру для відкритої місцевості Харківської області становить $q = 473$ Па. Вітрове навантаження діє перпендикулярно до площини рами і розбивається на дві складові ($F_w = C_x \cdot A \cdot q$):

F_{w1} (Вітер на стійку): коефіцієнт обдуву циліндра $C_{x1} = 0,3$. Сила $F_{w1} = 136$ Н.

F_{w2} (Вітер на ферму): коефіцієнт ґратчастої конструкції $C_{x2} = 1,0$. Сила $F_{w2} = 1703$ Н.

Приклад розрахунку

Для рівноваги просторової системи сил необхідно і достатньо, щоб суми проєкцій усіх сил на координатні осі та суми моментів відносно цих осей дорівнювали нулю [4, 5]. Жорстке защемлення ідеалізовано у точці A (рівень обрізу фундаменту). Систему досліджено у двох площинах.

У цій площині діють сили ваги G_1 та G_2 . Сума вертикальних сил визначає стискаючу реакцію фундаменту:

$$R_{zA} = G_1 + G_2 = 1344 + 2935 = 4279 \text{ Н} \quad (1)$$

Гравітаційний згинальний момент від асиметрії консолі (оскільки G_1 лежить на осі обертання, її плече дорівнює нулю) становить:

$$M^R_{Ay} = G_2 \cdot 2,25 = 2935 \cdot 2,25 = 6604 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2)$$

Горизонтальні вітрові сили створюють реакцію зсуву:

$$R_{yA} = F_{w1} + F_{w2} = 136 + 1703 = 1839 \text{ Н} \quad (3)$$

Площина ZOХ (Дія гравітації)

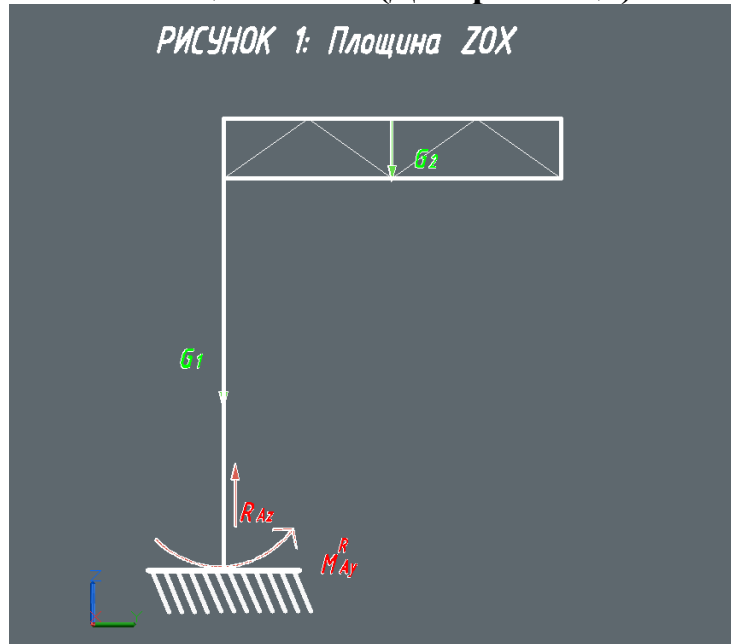


Рис. 1. Розрахункова схема в площині ZOХ

Площина ZOУ (Дія вітру)

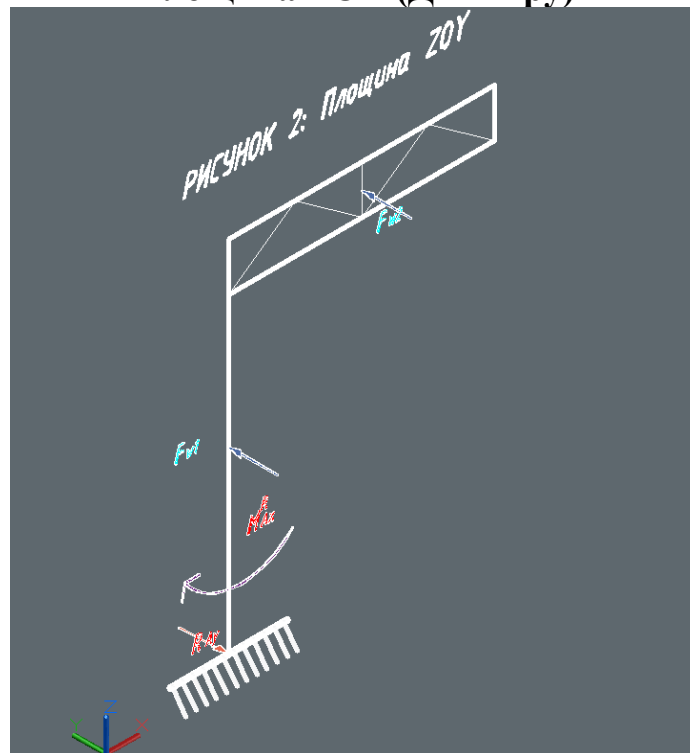


Рис. 2. Розрахункова схема в площині ZOУ

Перекидний момент від вітру визначається рівнянням:

$$M_{Ax}^R = F_{w1} \cdot 3,025 + F_{w2} \cdot 6,05 = 136 \cdot 3,025 + 1703 \cdot 6,05 = 10714 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4)$$

Зведення реакцій та оцінка стійкості

Сумарний перекидний момент (M_A^R), який діє на фундамент, обчислюється як векторна сума двох взаємно перпендикулярних складових:

$$M_A^R = \sqrt{(M_{Ax}^R)^2 + (M_{Ay}^R)^2} = \sqrt{(10714^2 + 6604^2)} = 12586 \text{ Н} \cdot \text{м} = 12,59 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (5)$$

Для типової опори РМГ-4 застосовується масивний ступінчастий фундамент ФМ-4, гравітаційна утримуюча здатність якого становить $M_{\text{утр}} = 73,1 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Коефіцієнт запасу стійкості становить:

$$K = M_{\text{утр}} / M_A^R = 73,1 / 12,59 = 5,8 \quad (6)$$

Висновки

Побудовано розрахункову модель Г-подібної дорожньої опори, яка наочно демонструє механіку виникнення опорних реакцій. Доведено ефективність методу розбиття просторової системи на дві плоскі задачі статички.

Встановлено, що відсутність суцільного інформаційного щита значно знижує навантаження, забезпечуючи майже шестикратний запас стійкості фундаменту ($K = 5,8$). Такий значний резерв міцності є інженерно обґрунтованим, оскільки він дозволяє у майбутньому безперешкодно модернізувати опору (встановлювати важкі VMS-табло), а також ефективно гасить аеродинамічні удари та вібрації від великогабаритного транспорту, запобігаючи втомному руйнуванню зварних швів. Отримані опорні реакції створюють теоретичне підґрунтя для розрахунку анкерної групи.

Література

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2006. 60 с.
2. Альбом типових рішень конструкцій опор дорожніх знаків на автомобільних дорогах загального користування. АД А.2.4-37641918-001:2015. Київ : ДерждорНДІ, 2015. 117 с.
3. Романенко Л. Г. Теоретична механіка: Навч. посіб. для студ. ВУЗів / Л. Г. Романенко, В. Г. Солодов. 2-е вид. Х.: ХДАДТУ, 2002. 270 с.
4. Міщенко І. В. Теоретична механіка. Частина І. Статика. Кінематика: навчальний посібник / І. В. Міщенко, О. В. Воропай, С. В. Красніков. Х.: ФОП Бровін О.В. 2025. 158 с.
5. Нескреба Е. Є. Методичні вказівки до практичних занять, РГР та СРС з дисципліни «Теоретична механіка», розділ «Статика» для студентів напрямку «Будівництво та цивільна інженерія» / Е. Є. Нескреба, О. В. Воропай, В. О. Карпенко. Х.: ХНАДУ, 2025. 124 с.

Науковий консультант: д.т.н., проф. Воропай О. В., зав. каф. деталей машин та теорії механізмів і машин.

Перехода Кирило Олександрович, студент групи М-21-24,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Щетінін Олександр Якович, студент групи М-22-24,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ МОСТІВ MIDAS CIVIL

Програмний комплекс Midas Civil є передовим програмним забезпеченням для аналізу та проектування мостових конструкцій, розроблене південнокорейською компанією MIDAS Information Technology Co., Ltd. (MIDAS IT). Історія створення Midas Civil тісно пов'язана з еволюцією самої компанії та її прагненням надати інженерам-будівельникам ефективні інструменти для вирішення складних завдань.

У 1989 році було сформовано команду MIDAS з метою розробки програмного забезпечення для вирішення інженерних завдань у металургійній компанії. Усвідомивши важливість інженерного програмного забезпечення для забезпечення безпеки та ефективності, команда почала створювати рішення, спрямовані на задоволення потреб будівельної галузі. До 1996 розроблені продукти були успішно впроваджені в комерційну експлуатацію, довівши свою надійність на численних реальних проектах.

1 вересня 2000 року компанія MIDAS IT була офіційно зареєстрована, продовживши роботу, розпочату під егідою групи POSCO. З моменту заснування MIDAS IT зосередилася на розробці програмного забезпечення для цивільного, будівельного та механічного інжинірингу, надаючи рішення для аналізу та проектування складних конструкцій.

Одним із ключових продуктів компанії став Midas Civil – програмний комплекс для скінчено-елементного аналізу, призначений для проектування та аналізу мостів. Midas Civil поєднує потужні інструменти для моделювання та ексклюзивні функції аналізу, що робить його ефективним інструментом для інженерів. Програма надає зручні функції для роботи з простими мостами та гнучкість для роботи зі складною геометрією, поєднуючи всі важливі функції програмного забезпечення для аналізу та проектування мостів. За межами Південної Кореї САПР Midas Civil відома з 2003 року.

Для забезпечення стабільної та ефективної роботи Midas Civil необхідно дотримуватись певних апаратних та програмних вимог. Нижче представлені мінімальні та рекомендовані системні характеристики:

Операційна система:

Мінімальні вимоги: Microsoft Windows 10 (32-бітна або 64-бітна версії).

Рекомендовані вимоги: Microsoft Windows 10 (64-бітна версія).

Процесор (CPU):

Мінімальні вимоги: Intel i5 з тактовою частотою 2,5-2,9 ГГц.

Рекомендовані вимоги: Intel i5 з тактовою частотою 3,4 ГГц або вище.

Оперативна пам'ять (RAM):

Мінімальні вимоги: 8 ГБ.

Рекомендовані вимоги: 16 ГБ.

Роздільна здатність дисплея:

Мінімальні вимоги: 1280x1024 пікселів із підтримкою True Color.

Рекомендовані вимоги: 1920x1080 пікселів із підтримкою True Color.

Графічний процесор (GPU), рекомендується: Використання відеокарт серії NVIDIA GeForce для програм, що підтримують прискорення за допомогою GPU.

Жорсткий диск, рекомендується: 6 Гб та наявність не менше 2,0 Гб вільного місця на диску.

Дотримання вищезгаданих вимог дозволить забезпечити коректну установку та стабільну роботу Midas Civil. Рекомендується використовувати більш потужне обладнання під час роботи з великими та складними моделями для підвищення продуктивності та ефективності роботи.

Типи модулів САПР Midas Civil

1. Модуль midas Civil Conventional містить майстри для швидкого моделювання звичайних мостів у 2D та 3D, а також найбільш зручний графічний інтерфейс користувача для легкого модифікування та отримання результатів. Цей модуль призначений для інженерів, які займаються структурним аналізом і проектуванням звичайних мостів, перелічених нижче, і загальних конструкцій. Модуль може обробляти як бетонні, так і сталеві мости/супер і аналіз основи на одній платформі.

2. Модуль midas Civil Advanced — це супернабір звичайних версій midas Civil. У ньому є майстри для конкретних мостів, щоб заощадити час моделювання для інженерів, які мають справу з розширеними типами мостів, такими як сегментні, вантові та підвісні мости. Цей модуль призначений для інженерів, які мають справу зі складними конструкціями, що потребують комплексного аналізу. У цьому модулі є майстри для створення геометрії, а також етапів будівництва та розміщення сухожиль у 3D. Унікальні інструменти для автоматичної оптимізації сили кабелю на завершальному етапі та етапах будівництва.

Інтерфейс Midas Civil продуманий таким чином, щоб інженер міг інтуїтивно створювати складні конструкції, виконувати різні типи аналізу та інтерпретувати результати без зайвих дій. Програма відмінно підходить як для користувачів-початківців, так і для досвідчених проектувальників.

Основні частини інтерфейсу (рис.1):

1. Головне вікно та структура інтерфейсу

Головне меню розташоване у верхній частині вікна. Містить вкладки: File - робота з проектами (створення, збереження, імпорт, експорт); Model – побудова та редагування елементів конструкції; Load - призначення та управління навантаженнями; Boundary – завдання граничних умов; Analysis – запуск розрахунків та вибір методів; Results – відображення та інтерпретація результатів аналізу; Design - розрахунок армування, перевірка нормативів.

Панель інструментів (Toolbars) знаходиться під основним меню. Містить іконки швидкого доступу до основних операцій: побудова елементів, вибір типу навантаження, запуск аналізу та ін.

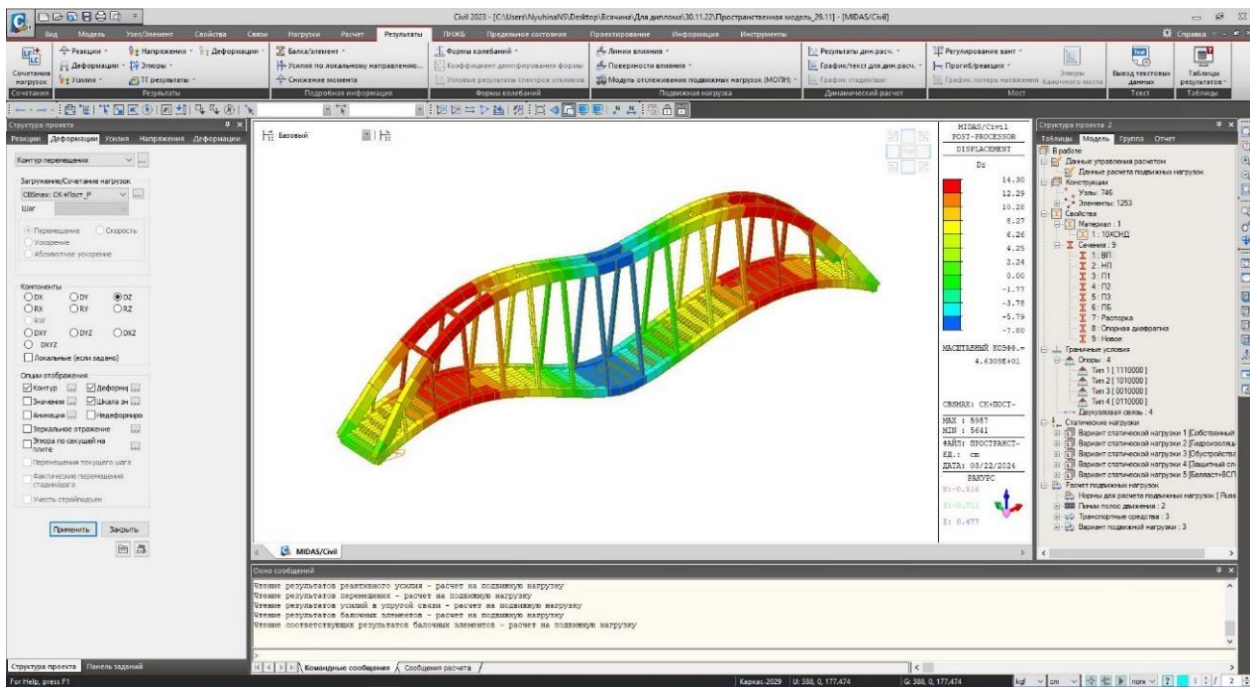


Рисунок 1 – Інтерфейс Midas Civil

2. Область моделювання (Modeling Window), де відображається головна розрахункова модель. Користувач може: будувати та редагувати елементи конструкції (балки, опори, ванти та ін.); налаштовувати 2D та 3D види; застосовувати масштабування, обертання та переміщення моделі; відображати сітку скінчених елементів, зусилля, деформації та результати розрахунку.

3. Дерево проекту (Tree Menu) розташоване у лівій частині інтерфейсу. Містить деревоподібну структуру: Nodes/Elements – вузли та елементи конструкції; Loads – всі види прикладених навантажень; Boundary Conditions – закріплення, опори, зв'язки; Construction Stage – покрокове моделювання стадій будівництва; Results – налаштування відображення результатів. Дерево проекту зручне для швидкої навігації та редагування параметрів моделі.

4. Табличне подання даних (Table Input) розташоване у нижній частині вікна. Дозволяє вводити та редагувати параметри моделі у вигляді таблиць: координати вузлів; характеристики матеріалів та перерізів; параметри навантажень; стадії зведення. Ця панель особливо зручна для точного та швидкого введення числових даних.

5. Панель результатів (Results Display). Після виконання аналізу, у правій частині інтерфейсу можна вибрати: відображення деформацій, зусиль, напруги; анімацію поведінки конструкції під навантаженням; графіки розподілу навантажень та реакцій.

Створювати модель мостової споруди у Midas Civil можна різними способами.

Перший із способів - створювати модель у просторі програми з нуля, використовуючи вузли та різні за типами елементи (фермові, плитні, плосконапружені, осесиметричні, плоскодеформовані, об'ємні і т. д.).

Другий із способів - використання вбудованих майстрів для створення різних типів мостів (балкові, арочні, ферми, висячі, вантові, сталезалізобетонні та попередньо-напружені мости і т. д.).

Третій спосіб - імпорт моделі з AutoCAD у форматі dxf.

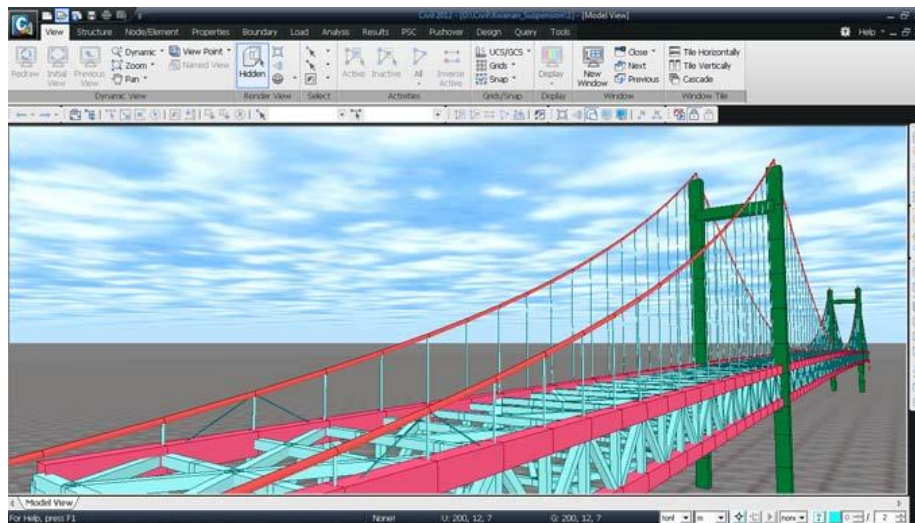


Рисунок 2 – Завершена модель для аналізу підвісного мосту

Midas Civil підтримує широкий спектр видів розрахунку: Лінійний статичний аналіз; Нелінійний геометричний та фізичний аналіз; Динамічний аналіз (власні коливання, спектральний аналіз, сейсмічну дію); Врахування стадійного зведення конструкцій; Вітровий та температурний аналіз; Повзучість та усадка бетону, попередня напруга.

Midas Civil надає зручні інструменти для точного моделювання поведінки вант та кабелів, включаючи: Облік натягу вант; Геометричну та фізичну нелінійність; Демпфуючі пристрої та гасники коливань.

Навантаження, що задаються на модель, поділяються за типами: статичні (є можливість завдання вузлового навантаження, навантаження, розподіленої на елемент або поверхню), температура/переднапруження, динамічні (власні форми та частоти коливань конструкції), теплота гідратації (відображає зміну модуля пружності, ефекти повзучості та усадки, послідовність заливання бетонної конструкції), рухома (доступні різні норми для навантажень), стадії зведення. Можлива комбінація цих навантажень - різних варіантах завантаження, які задаються самостійно або автоматично.

Однією з ключових переваг Midas Civil є його здатність інтегруватися з популярними програмами CAD (Computer-Aided Design) та CAE (Computer-Aided Engineering), що значно полегшує процес проектування та аналізу.

Інтеграція з програмами CAD:

Імпорт з AutoCAD: Midas Civil підтримує імпорт файлів у форматі DXF, що дозволяє безпосередньо переносити геометричні моделі з AutoCAD до Midas Civil. Це особливо корисно під час роботи зі складними перерізами мостів. При імпорті важливо переконатися, що одиниці виміру в обох програмних комплексах збігаються, а елементи креслення організовані шарами для коректного перенесення даних.

MIDAS CIM: Цей програмний продукт забезпечує інтеграцію між 3D CAD моделюванням та скінчено-елементним аналізом у Midas Civil. MIDAS CIM дозволяє створювати аналітичні моделі з урахуванням сітки, граничних умов та інших параметрів, які потім можуть бути експортовані до Midas Civil для подальшого аналізу та проектування.

Інтеграція з програмами CAE:

Імпорт моделей Nastran: Плагін CAE Model Importer дозволяє ефективно імпортувати дані з файлів Nastran (.BDF) у Midas Civil, забезпечуючи автоматичне перетворення даних елементів та вузлів. Це полегшує інтеграцію моделей, створених в інших CAE-системах, у робочий процес Midas Civil.

MIDAS NFX: Цей інтегрований програмний комплекс для кінцево-елементного аналізу надає можливості для структурного, CFD-симулювання та оптимізаційного проектування. MIDAS NFX забезпечує ефективний та точний аналіз, поєднуючи перед- та постпроцесори, розроблені досвідченими інженерами.

Переваги інтеграції:

Зниження помилок: Пряма передача даних між програмами зменшує ймовірність помилок, пов'язаних із ручним введенням інформації.

Економія часу: Інтеграція прискорює процес проектування, дозволяючи інженерам зосередитися на аналізі та оптимізації конструкцій.

Підвищення точності: Використання єдиної моделі у різних програмних середовищах забезпечує узгодженість даних та підвищує точність розрахунків.

Переваги використання Midas Civil наведені нижче.

Висока точність розрахунків - застосування сучасних чисельних методів (МСЕ, метод Ланцоша, нелінійне моделювання);

Зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс – простий процес побудови моделі та введення даних;

Інтеграція з BIM – можливість обміну даними з популярними CAD та BIM-платформами;

Автоматизація стадійного зведення - покрокове моделювання процесу будівництва;

Підтримка різних нормативних документів — вбудовані бази даних щодо СНіП, EN, AASHTO, ISO та інших стандартів;

Розширені можливості візуалізації результатів – графічні звіти, анімація деформацій та коливань.

Історія створення САПР Midas Civil відображає прагнення компанії MIDAS IT надати інженерам-будівельникам високоякісні інструменти для вирішення складних завдань у галузі проектування мостів. Завдяки постійному розвитку та впровадженню передових технологій, Midas Civil залишається одним із провідних рішень у сфері інженерного програмного забезпечення.

Науковий консультант: Красніков С.В., доц. каф. Деталей машин та теорії механізмів і машин

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ (НЕЗАЛЕЖНОСТІ) МІЖ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

При проведенні непрямих вимірювань деякої фізичної величини на основі експериментальних досліджень параметрів, які входять до розрахункової формули, виникає питання оцінки статистичної залежності або незалежності між вказаними параметрами. За об'єктивних причин обсяг експериментальних даних має певні обмеження, що приводить до подальшого опрацювання експериментальних даних в форматі вибірки, а не генеральної сукупності. Числові дослідження було проведено для коефіцієнту опору повітря при визначенні дальності польоту струменя, визначено вибіркові оцінки математичного очікування, дисперсії чинників, значення яких використовують при розрахунку коефіцієнту опору повітря [1, 2, 3].

При аналізі вимірювань слід чітко розмежовувати два поняття: істинні значення фізичних величин та їхні емпіричні прояви – результати вимірювань [4]. Безпосередньою метою вимірювань є визначення істинних значень постійної або змінного параметру, що вимірюється. Якщо потрібно провести непрямі вимірювання деякої функції $u = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, то потрібно

провести прямі вимірювання величин $X_1, X_2, \dots, X_n$, що входять до зазначеної функції. Через наявність випадкових помилок при прямих вимірюваннях з метою зменшення похибки непрямого вимірювання слід проводити багаторазові вимірювання кожної з величин. Приймаємо, що усі вимірювання виконані одним і тим же методом з однаковою мірою ретельності, тобто виконана умова рівноточності вимірювань.

Для певної кількості N послідовних вимірювань однієї величини X отримуємо значення $x_1, x_2, \dots, x_N$. Далі за методами математичної статистики проводимо обробку даних, обчислюючи середнє арифметичне значення:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j, \quad (1)$$

як оцінку для математичного очікування m_X . Для оцінки середньоквадратичного відхилення використовують розсіяння S , визначуване

за формулою для емпіричної дисперсії S^2 для вибіркової сукупності. Для цього обчислюють так звані залишки для кожного проведеного j -го вимірювання $x_j - \bar{X}$, які є відомими величинами:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{X})^2. \quad (2)$$

Подібні операції мають бути проведені для усіх величин $X_1, X_2, \dots, X_n$.

Визначення середніх помилок $S_{X_1}, S_{X_2}, \dots, S_{X_n}$, дозволяє отримати середню помилку функції u :

$$S_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right| S_{X_i}, \quad (3)$$

а для емпіричної дисперсії:

$$S_U^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 S_{X_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right| \left| \frac{\partial f}{\partial X_k} \right| S_{X_i} S_{X_k}. \quad (4)$$

Якщо змінні X_i статистично незалежні, то середнє значення добутку $S_{X_i} S_{X_k}$ для будь-якої пари змінних дорівнює нулю, що спрощує формулу для середньоквадратичної помилки S_U^2 :

$$S_U^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 S_{X_i}^2. \quad (5)$$

Водночас, відкидання другого доданку у виразі (4) має бути обґрунтовано, що проводиться через розрахунок оцінки коефіцієнту кореляції між похибками вимірювання параметрів X_i, X_k . У випадку залежності розрахункового параметра від декількох аргументів, необхідно перевірити відсутність

кореляційних зв'язків між похибками усіх пар комбінацій аргументів, розрахувавши коефіцієнти парної кореляції між усіма параметрами:

$$\bar{r}_{cor}(i, k) = \bar{r}_{cor}(X_i, X_k) = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_i)(x_{kj} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_i)^2 \cdot \sum_{j=1}^n (x_{kj} - \bar{X}_k)^2}}, \quad (6)$$

Величина $\bar{r}_{cor}$ приймає значення в діапазоні від -1 до 1 . За умови $\bar{r}_{cor} = \pm 1$ відповідні параметри пов'язані лінійною залежністю, при $\bar{r}_{cor} = 0$ лінійний кореляційний зв'язок відсутній. На основі отриманих коефіцієнтів парної кореляції утворюється відповідна матриця R :

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \bar{r}_{cor}(1,2) & \bar{r}_{cor}(1,3) & \dots & \bar{r}_{cor}(1,n) \\ \bar{r}_{cor}(2,1) & 1 & \bar{r}_{cor}(2,3) & \dots & \bar{r}_{cor}(2,n) \\ \bar{r}_{cor}(3,1) & \bar{r}_{cor}(3,2) & 1 & \dots & \bar{r}_{cor}(3,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{r}_{cor}(n,1) & \bar{r}_{cor}(n,2) & \bar{r}_{cor}(n,3) & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Для характеристики тісноти лінійного зв'язку між відповідними параметрами від відсутнього до повної залежності використовується величини у таблиці 1.

Таблиця 1 – Шкала Чеддока

Характеристика зв'язку	Величина коефіцієнту кореляції
Зв'язок відсутній	$r_{cor} = 0$
Зв'язок дуже слабкий	$0 < r_{cor} \leq 0,3$
Зв'язок слабкий	$0,3 < r_{cor} \leq 0,5$
Зв'язок середній	$0,5 < r_{cor} \leq 0,7$
Зв'язок сильний	$0,7 < r_{cor} \leq 0,9$
Зв'язок дуже сильний	$0,9 < r_{cor} < 1$
Повна функціональна залежність	$ r_{cor} = 1$

Висновки. В роботі розглянута задача визначення залежності (незалежності) між параметрами при проведенні непрямих вимірювань, що необхідно для коректного визначення вибіркової дисперсії фізичної величини при непрямому вимірюванні на основі вибірових дисперсій фізичних величин при прямих вимірюваннях. Висновок про вказану залежність робиться за визначенням коефіцієнту кореляції між похибками параметрів, що входять до математичної формули отримання значень функції за непрямого вимірювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міщенко І. В. Особливості експериментального визначення коефіцієнту опору повітря руху струменя води з ручного пожежного ствола / І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко // Проблеми пожарной безопасности: Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2016. – Вип. 39. – С. 183–189.
2. Вамболь С. О. Дослідження гідравлічних струменів при створенні системи управління екологічною безпекою об'єктів підвищеного ризику : монографія / С. О. Вамболь, О. М. Кондратенко, І. В. Міщенко, В. Ю. Колосков. – Х.: ФОП Бровін О.В., 2018. – 204 с.
3. Вамболь С. О. Технічна механіка рідини і газу: підручник / С. О. Вамболь, І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко. – Х. : НУЦЗУ, 2016. – 300 с.
4. Міщенко І. В. Метрологія та стандартизація: конспект лекцій / І. В. Міщенко, С. О. Вамболь, Т. М. Курська. – Харків : АЦЗУ, 2006. – 136 с.

Науковий консультант: Міщенко І.В., доц. каф. деталей машин та теорії механізмів і машин.

Шарапата Андрій Сергійович, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Горлов Ярослав Віталійович, студент групи ТП-43, Харківський національний університет імені Василя Назаровича Каразіна, yaroslav.gorlov@gmail.com

РОЗВИТОК БУРИЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. ЕВОЛЮЦІЯ. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ.

Історія буріння - це одночасно і хроніка технічних досягнень та літопис боротьби людства за видобуток різноманітних ресурсів.

Історичні праці Конфуція, як зазначається в статті [1-4], вказують на те, що приблизно 600 років до нашої ери з'явилися перші згадування про видобуток соляних розсолів у Китаї (провінція Сичуань). Ще в ті часи була реалізована класика “ударно-канатного” методу буріння, де глибина

свердловин досягала сотень метрів. При цьому використовувалися такі матеріали: бамбук і шкіряні ремені.

У п'ятому віці до нашої ери Геродот [5] описував способи видобутку нафти з колодязів на острові Закінф, що надає нам уявлення про самі ранні форми видобутку рідких копалин.

У першому віці до нашої ери Марк Вітрувій Полліон у книзі “Десять книг про архітектуру” [6] детально описував античні застосунки для пошуку води і пристрої, які можна вважати прототипами найпростішого бурового обладнання.

Абу Райхан аль-Біруні - великий вчений Сходу описував у XI віці методи проходження колодязів і фізичні явища матеріалів, що заклало основи інженерного підходу до надр [7].

Георгій Агрикола у своїй праці “Про горну справу і металургію” у 12 книжках систематизував все, що було відомо про горну справу у Європі: від конструкції воротів до перших бурильних інструментів для розвідки копалин.

Якщо казати про створення розвитку сучасного безперервного буріння, ключовим моментом став патент Роберта Білса [9] (1844 р.) і праці Ебенезера Лайнера [10], які заклали принципи використання “промивочної рідини”. Саме винахід “промивочної рідини” дозволив перейти від переривчастого буріння (з зупинками на чистку желонкою) до безперервного процесу, що підвищило швидкість проходки в рази.

Буріння - це “технологічний ключ” до ресурсів, які б інакше залишилися б недосяжними для людства [11].

Буріння свердловин - це єдиний спосіб дістатися до корисних копалин, що залягають на великих глибинах (кілька кілометрів). На відміну від кар'єрів чи шахт свердловина дозволяє розкривати пласти без переміщення величезних масивів пустої породи. Це набагато дешевше та швидше [12].

Нафта та газ - це паливо для двигуна сучасної економіки. Буріння свердловин забезпечує паливом транспорт промисловість та генерацію електроенергії. Розвиток технологій (наприклад, горизонтальне буріння та гідророзрив пласта) дозволив видобувати газ із раніше “мертвих” сланцевих порід.

Артезіанські свердловини є критично важливими для регіонів з дефіцитом поверхневих вод. Це основа сільського господарства та санітарної безпеки цілих країн.

Порівняно з відкритими розробками (кар'єрами), буріння свердловин має мінімальний “екологічний Слід” на поверхні. Можна видобувати ресурси під заповідниками, містами або з морського дна, використовуючи лише невеликий майданчик для бурової установки.

Зі свердловин видобувають літєві розсоли для акумуляторів, геотермальної енергії землі та рідкісних елементів. без свердловин неможлива сучасна мікроелектроніка та перехід до “зеленої” енергетики.

Надглибокі свердловини - це наша можливість зазирнути всередину планети для вивчення земної кори, прогнозування землетрусів та вивчення історії Землі.

На рис. 1 ми побудували діаграму, в яку звели корисні копалини, які видобуваються, та показали кольорами основні напрямки видобутку надр.



Рисунок 1 – Використання свердловин

Зокрема бішофіт - це мінеральна сіль, яка видобувається методом розмиву.

Металеві корисні копалини видобуваються методом підземного вилуговування.

Також видобувається прісна питна вода, мінеральні та лікувальні води (термальні джерела, бальнеологічні ресурси). Промислові води можуть містити йод, бром, літій, магній - їх видобувають для подальшої хімічної переробки.

Високотемпературна пара та гаряча вода - це геотермальна енергія, яка використовується для роботи геотермальних електростанцій та опалення міст.

Сучасні технології буріння свердловин зараз дозволяють використовувати їх для захоронення вуглекислого газу (CCS) - це не видобуток, а “зворотне” використання свердловин для захисту клімату, що є одним із найперспективніших напрямків галузі.

Бурове долото (англ. drilling bit, bore bit) [13] – основний елемент бурового інструмента для механічного руйнування гірських порід у процесі буріння свердловини.

Термін “долото” зберігся з раннього періоду розвитку техніки буріння, коли єдиним способом проходження свердловини було ударне буріння, при якому бурове долото мало подібність із однойменним теслярським інструментом.

Бурові долота класифікуються за: призначенням; характером дії на гірські породи; видом робочої частини, яка руйнує гірську породу.

На рис. 2 ми пропонуємо наше бачення діаграми еволюції бурильних доліт.



Рисунок 2 – Еволюція бурильних доліт

За призначенням розрізняють три класи бурильних доліт:

- для суцільного буріння (руйнування гірських порід по всьому вибою свердловини);
- колонкового буріння (руйнування гірських порід по кільцю вибою свердловини із залишенням її центральній частині керна);
- спеціальне буріння (врізні долота, розширювачі, фрези та ін.).

За характером дії на гірські породи бурильні долота діляться на чотири класи:

- подрібнювальні,
- подрібнювально-сколювальні,
- стирально-сколювальні,
- стирально-різальні
- різально-сколювальні.

За видом робочої частини виділяються: шарошкові долота і лопатеві бурильні долота.

Вражають своєю простотою і винахідливістю стародавні способи свердління твердих кам'яних порід.

Деякі способи схематично зображені на рис. 3.

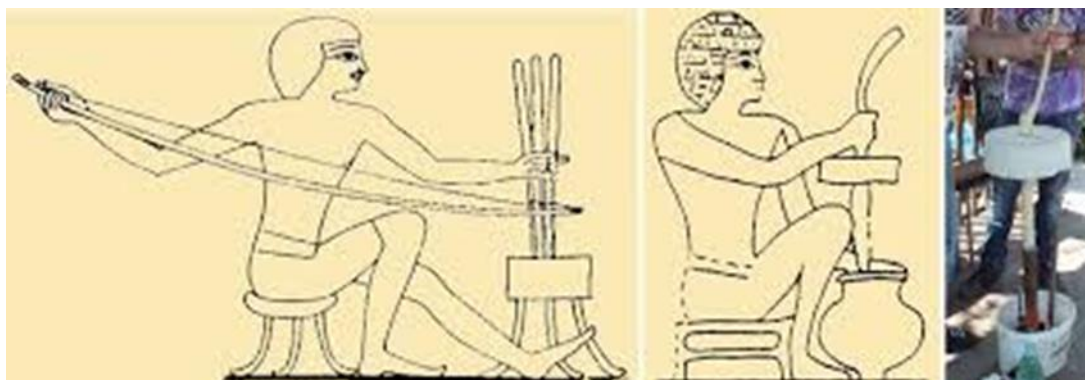


Рисунок 3 – Стародавні способи свердління порід

Окремо і схематично один з інструментів показаний на рис. 4.

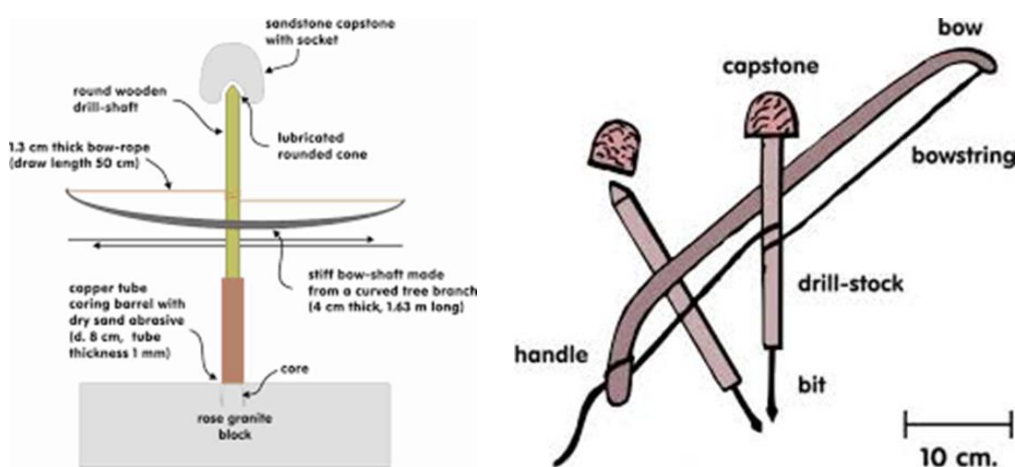


Рисунок 4 – Схематичні зображення одного з інструментів

Наше бачення сучасної класифікації бурильних доліт показано на рис 5.



Рисунок 5 – Класифікація бурильних доліт

Сучасний світ стоїть на порозі глобальної трансформації енергетичного сектору. Декарбонізація економіки та пошук екологічно безпечних джерел

живлення зробили термін “зелена” енергетика не просто трендом, а вимогою часу [14-18]. Серед широкого спектра відновлюваних ресурсів особливе місце посідає енергія тепла Землі. На відміну від сонячної чи вітрової генерації, вона не залежить від погодних умов чи часу доби, забезпечуючи стабільне базове навантаження в енергомережі.

Центральною ланкою в опануванні цього ресурсу є геотермальна свердловина. Створення такої свердловини – це високотехнологічний процес, що потребує використання спеціальних корозійно-стійких матеріалів та доліт, здатних працювати в умовах екстремальних температур і агресивних хімічних середовищ. Саме через ці “технологічні ворота” ми отримуємо доступ до теплоносія – пари або гарячої води, що циркулює в глибинах земної кори.

Вивчення енергетичного потенціалу відновлюваних джерел на землі сьогодні є пріоритетом для провідних інженерних центрів. Науковці аналізують геологічні структури, щоб визначити зони з найвищим тепловим потоком. Найбільш ефективним способом реалізації цього потенціалу у великих масштабах є геотеплоелектростанції (ГеоТЕС). Це складний інженерний комплекс, де енергія пари високого тиску перетворюється на механічну енергію турбіни, а згодом – на електрику. Виробництво геотермальної електроенергії характеризується низьким рівнем викидів CO_2 та мінімальним використанням земельних ресурсів на одиницю потужності, що робить його еталоном екологічності.

Проте енергія надр – це не лише велика електрика. Сучасна наука пропонує різноманітні прямі способи використання геотермальної енергії, які можуть кардинально змінити економіку окремих регіонів.

По-перше, це аграрний сектор. Опалення теплиць за допомогою термальних вод дозволяє отримувати врожаї овочів та квітів цілий рік навіть у північних широтах, суттєво знижуючи собівартість продукції. Паралельно з цим активно розвивається вирощування аквакультур (водних організмів): підтримка стабільної температури у басейнах створює ідеальні умови для розведення теплолюбних видів риб та креветок.

По-друге, низькопотенційне тепло знаходить застосування в інфраструктурних рішеннях. Система танення снігу на дорогах, тротуарах та злітних смугах аеропортів за допомогою прокладених під поверхнею контурів з теплоносієм дозволяє відмовитися від хімічних реагентів і спецтехніки.

По-третє, геотермальне тепло інтегрується у складні промислові процеси, де потрібна стабільна температура, наприклад, у паперовій чи текстильній галузях. Окремої уваги заслуговують сушилки в сільському господарстві. Використання дармового тепла землі для сушіння зерна, фруктів чи деревини дозволяє фермерам значно економити на природному газі та електроенергії.

Підсумовуючи, можна впевнено сказати, що розвиток геотермальних технологій є фундаментом енергетичної безпеки майбутнього. Кожна нова успішно пробурена свердловина наближає нас до моменту, коли людство зможе повністю задовольнити свої потреби, живучи в гармонії з планетою.

Сьогодні бурова установка – це вже не просто механізм, а складний кіберфізичний об'єкт, де нейронні сітки і штучний інтелект в бурильних

технологіях відіграють роль центральної нервової системи. Ми переходимо від епохи “заліза” до епохи “цифри”.

Впровадження ІІІ починається ще на етапі геологічної розвідки. Нейронні мережі здатні аналізувати гігабайти сейсмічних даних, розпізнаючи пастки вуглеводнів з точністю, що перевищує можливості людського ока. Алгоритми глибинного навчання допомагають будувати 3D-моделі родовищ, що дозволяє ще до початку робіт визначити оптимальну траєкторію стовбура.

Безпосередньо під час буріння штучний інтелект керує процесом у режимі реального часу. Системи автоматичного керування (“Autodrill”) за допомогою нейромереж миттєво підбирають оптимальні параметри: навантаження на долото, частоту обертання та витрату промивальної рідини. Це дозволяє досягти максимальної механічної швидкості проходки, мінімізуючи при цьому знос дорогого інструменту.

Найбільш критичною зоною відповідальності ІІІ є попередження і прогнозування аварій [19-25]. Буріння – це завжди робота в умовах невизначеності. Нейронні сітки аналізують найменші відхилення у тиску, крутному моменті або вібраціях. Алгоритми здатні за лічені секунди ідентифікувати ознаки поглинання промивальної рідини або ранні симптоми газонафтоводопроявів (ГНВП).

Там, де людина може пропустити ледь помітну зміну тренду на моніторі, навчена модель бачить аномалію та видає попередження за 15–20 хвилин до того, як ситуація стане критичною. Це не просто економія коштів – це безпека персоналу та екологічна стабільність.

На етапі експлуатації інтелектуальні системи керують дебітом свердловин. ІІІ аналізує дані з вибійних датчиків, оптимізуючи роботу насосного обладнання. Це дозволяє продовжити “життя” свердловини та підвищити коефіцієнт вилучення нафти чи газу. Прогностичне обслуговування (Predictive Maintenance) дозволяє передбачати вихід обладнання з ладу, замінюючи вузли не за графіком, а за їх реальним станом.

Отже, інтеграція ІІІ в бурову справу перетворює буріння на “хірургічну” операцію, де кожен рух вивірений математично. Це шлях до створення повністю автономних бурових комплексів майбутнього.

Література

1. Jiao, Jiu. (2014). Wells in China. 10.1007/978-94-007-3934-5_10077-1.
2. Cullen C. East Asia - Hans Ulrich Vogel (tr.): Salt production techniques in ancient China: the Aobo Tu. Translated and revised by Hans Ulrich Vogel. (Sinica Leidensia, Vol. xxvii.) xxv, 309 pp. Leiden, New York and Köln: E. J. Brill, 1993. Guilders 135, \$77.14. Bulletin of the School of Oriental and African Studies. 1997;60(1):179-180. DOI:10.1017/S0041977X00030135
3. Needham, J. (1974). Science and civilisation in China (Vol. 4). Cambridge University Press.
4. Yanping, Zhu. (2013). The Early Neolithic in the Central Yellow River Valley, c. 7000-4000 BC. DOI:10.1002/9781118325698.ch9.

5. Herodotus. The Histories. Book IV, 195.
6. Vitruvius. The Ten Books on Architecture. Book VIII, Chapter 1 & 6.
7. Al-Biruni. Kitab al-Jamahir fi Ma'rifat al-Jawahir (The Book of Most Comprehensive Quotations on Knowing Precious Stones).
8. Agricola, G. De Re Metallica. Translated by Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover. — New York: Dover Publications, 1950. — 638 p.
9. Beals, R. (1844). U.S. Patent No. 3,745. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
10. Leyner, J. G. (1903). U.S. Patent No. 722,369. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
11. Білецький В. С., Гайко Г. І., Орловський В. М. Історія та перспективи нафтогазовидобутку: навчальний посібник. — Харків : НТУ “ХПІ”, 2019. — 235 с.
12. Brantly, J. E. (1971). History of Oil Well Drilling. Houston: Gulf Publishing Company.
13. Вікіпедія | Бурове долото : веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бурове_долото (дата звернення: 11.03.2026)
14. Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2004). Geothermal Energy: Utilization and Technology. UNESCO.
15. IRENA (2023). Geothermal Power: Technology Brief. International Renewable Energy Agency.
16. Морозов Ю. П. Геотермальна енергія: ресурси та технології використання. — Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2014. — 160 с.
17. Відновлювані джерела енергії : підручник / С. О. Кудря. — Київ : НТУУ “КПІ”, 2012. — 492 с.
18. Кудря, С.О. (2024). Відновлювані джерела енергії. DOI:10.36296/monograph-2024.
19. Othman E. B., Gomes D., Tengku Bidin T. E. B., Meor Hashim M. M. H., Yusoff M. H., Arriffin M. F., Ghazali R. Application of machine learning to augment wellbore geometry-related stuck pipe risk identification in real time. 2022. C. D41S002R004. URL: <https://doi.org/10.4043/31695-MS>.
20. Zhu N., Huang W., Gao D. Numerical analysis of the stuck pipe mechanism related to the cutting bed under various drilling operations // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2022. C. 109783. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410521014042>.
21. Liu M., Song X., Zhu Z., Li G., Xiao H., Fu L., Pan T., Li X., Yang Y. Inertial effect of drill pipe friction trend and early warning of stuck pipe. 2024. C. D21S015R004. URL: <https://doi.org/10.2118/220991-MS>.
22. Katzmann L., Arvalo P., Starostin A. Ensuring wellbore and equipment integrity via data-driven adaptive limit modeling for pressure management and stuck pipe prevention. 2025. C. D31S121R009. URL: <https://doi.org/10.2118/228981-MS>.
23. Nautiyal A., Mishra A. K. Machine learning approach for intelligent prediction of petroleum upstream stuck pipe challenge in oil and gas industry //

- Environment, Development and Sustainability. 2025. С. 24167–24193. URL: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02387-3>.
24. D'Amicis S., Pagani M., Matteucci M., Piroddi L., Spelta A., Zausa F. Stuck pipe prediction from rare events in oil drilling operations // Upstream Oil and Gas Technology. 2023. С. 100096. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666260423000117>.
25. George J. G., Okonkwo O., Akinfolarin A. Successful management of wellbore stability to mitigate stuck pipe incidents in a brownfield development drilling campaign: a case study of a land well in the niger delta. 2025. С. D21S002R005. URL: <https://doi.org/10.2118/228660-MS>.

Алієв Баба Мехман огли, ст. гр. АЕ-41-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
alievbaba@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ АКСІАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА ДЛЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Одним з основних компонентів гібридних та електричних транспортних засобів є електричний двигун, при цьому, виробники використовують різноманітні типи двигунів для своїх транспортних засобів [1-3]. Кожен тип двигуна має різні характеристики, тому, наприклад, під час проектування нового транспортного засобу їх необхідно враховувати, щоб обрати оптимальний тип двигуна. Процес вибору зазвичай починається з моделювання динаміки транспортного засобу [4,5], результати якого можуть забезпечити гарну основу для прийняття рішення. Вищезазначені факти підкреслюють важливість досліджень різних типів електродвигунів.

Змодельовані двигуни BLDC та PMSM мають схожу конструкцію, а отже, їх моделювання є подібним. Вхідні дані двигунів були однаковими в обох випадках. Блок-схема моделювання у середовищі MATLAB/SIMULINK, засновані на математичній моделі BLDC та PMSM, показано на рисунку 1.

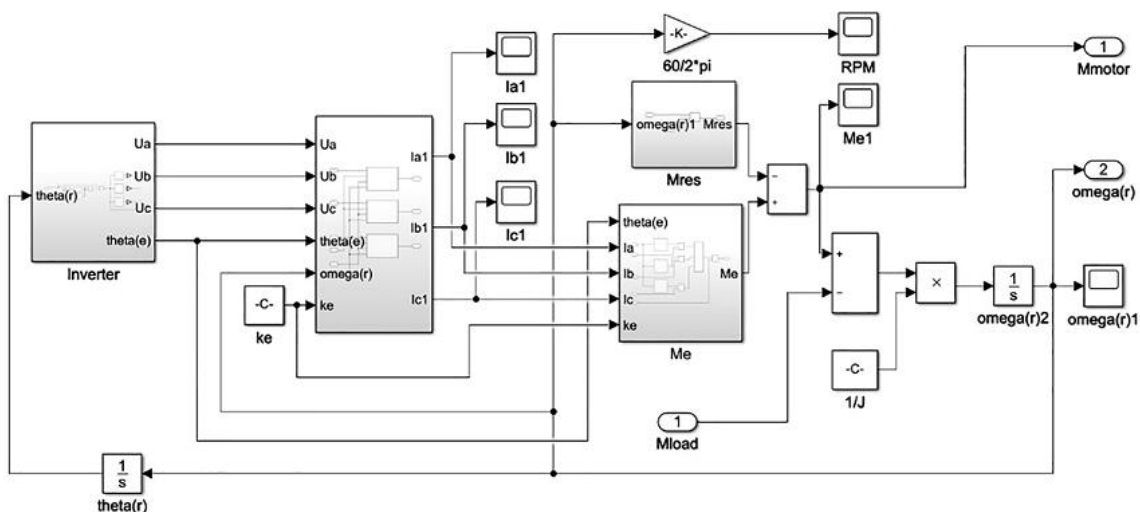


Рисунок 1 – Блок-схема моделі BLDC

На рисунку 2 показано синусоїди напруги двигунів для однієї фази на інтервалі часу від 0 до 0,3 с.

З рисунку 2 видно, що двигун BLDC розкручується швидше при тому ж навантаженні та величині напруги живлення.

На рисунку 3 показано часові діаграми фазного струму двигунів.

На рисунку 4 показано зростання частоти обертання двигунів в часі під навантаженням.

З рисунку 4 видно, що BLDC розкручується до значно вищої частоти за 0,3 с, ніж PMSM.

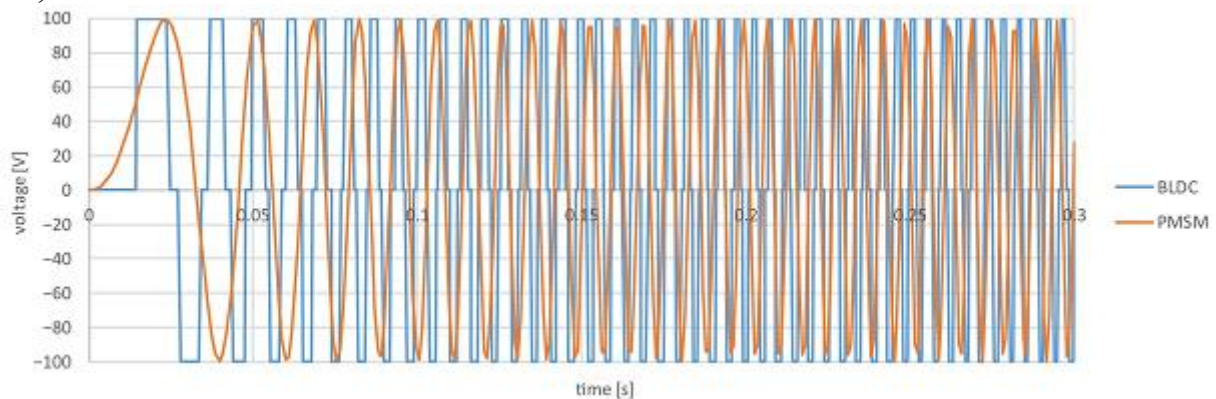


Рисунок 2 – Часові діаграми фазної напруги BLDC та PMSM

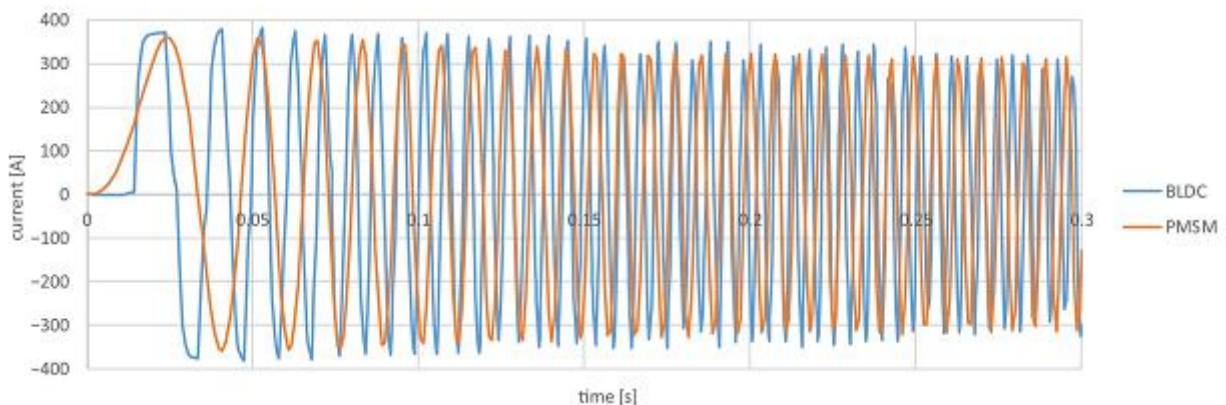


Рисунок 3 – Часові діаграми фазного струму BLDC та PMSM

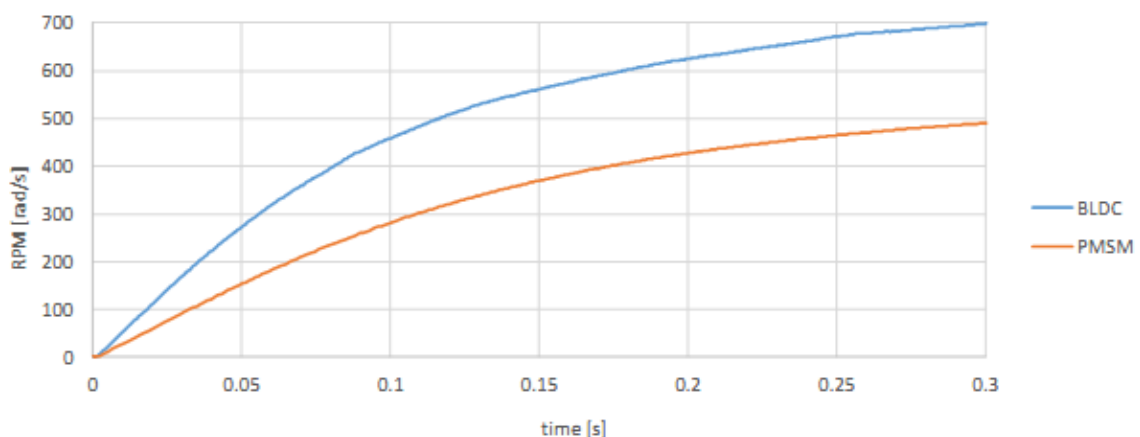


Рисунок 4 – Часові характеристики розкручування BLDC та PMSM

На рисунку 5 показано зміну крутного моменту у часі для BLDC та PMSM.

Максимальний крутний момент двигуна BLDC значно вищий, після початкової ділянки крутний момент обох двигунів наближається до значення 10 Н·м, який визначається навантаженням. Також видно, що зміна крутного моменту PMSM набагато плавніша.

Розроблені моделі електричних двигунів, дозволяють проводити порівняння характеристик двигунів при різних режимах роботи, в тому числі динамічних, пов'язаних з розгоном та гальмуванням, накидом та скидом механічного навантаження, а також при змінах параметрів напруги живлення.

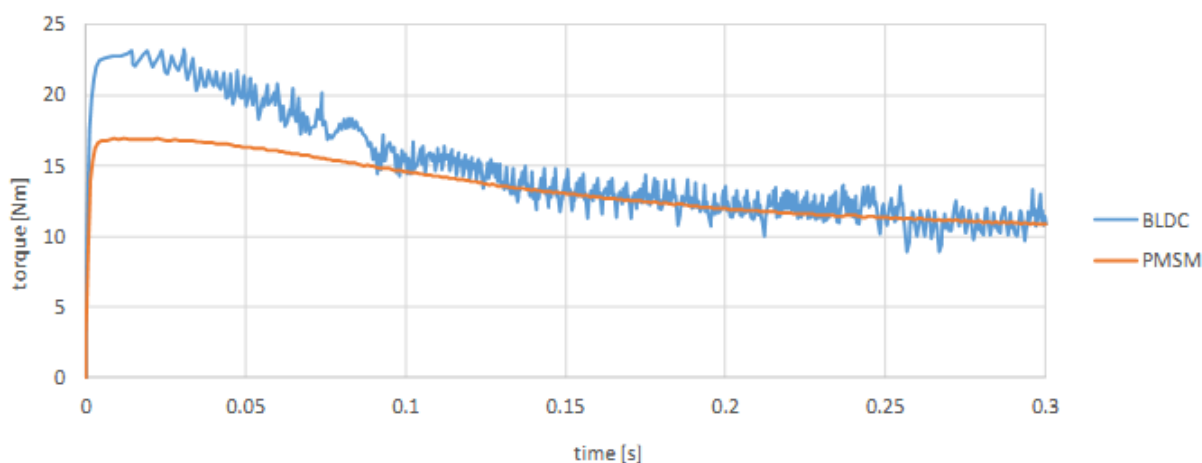


Рисунок 5 – Зміна крутного моменту у часі для PMSM та BLDC

Висновки

Імітаційне дослідження двигунів дозволяє визначити вимоги до технічних параметрів електричних двигунів, призначених для використання у складі транспортних засобів різного призначення. В той же час, за наявності експериментально визначених параметрів реальних електричних двигунів, за допомогою отриманих моделей можливо визначити придатність двигуна до використання у визначеній галузі.

Література

1. Usman, Adil & Saxena, Anchal. (2025). Technical Roadmaps of Electric Motor Technology for Next Generation Electric Vehicles. *Machines*. 13. 156. 10.3390/machines13020156.
2. Rajendran, Gowthamraj & Raute, Reiko & Caruana, Cedric & Andriukaitis, Darius. (2026). Bridging Innovation and Sustainability: The Strategic Role of High-Efficiency Motors in Advancing Industry 5.0. *Energies*. 19. 1003. 10.3390/en19041003.
3. Samanta, Preet & Mitikiri, Sagar & Sahay, Pranay & Srinivas, Vedantham. (2025). A comparative review of radial and axial Flux PMSMs: Innovations in topology, design, and control. *Franklin Open*. 12. 100341. 10.1016/j.fraope.2025.100341.

4. Patterson, D. & Colton, Jessica & Mularcik, Brad & Kennedy, Byron & Camilleri, Stephanie & Rohoza, Rafal. (2009). A comparison of radial and axial flux structures in electrical machines. 2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC '09. 1029 - 1035. 10.1109/IEMDC.2009.5075331.

5. Bhuvaneshwari, V & Carounagarane, Carunaiselvane. (2024). Characteristic Stability Analysis of Axial Flux Motors in Comparison with Radial Flux Motors Subjected to EV Application. 10.1109/PESGRE58662.2023.10404745.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Божко Артем Вадимович, ст. гр. АЕ-42-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

artem.bozhko39@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОПОТУЖНОГО ТЯГОВОГО ІНВЕРТОРА ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Підвищення питомих характеристик силового агрегату електромобіля дозволяє підвищити його масо-габаритні показники та, відповідно, його економічність, що визначає більший запас ходу. Тяговий інвертор силової установки є одним з основних елементів, оскільки він забезпечує передачу енергії тягової акумуляторної батареї до тягового двигуна. Своєю чергою тяговий інвертор складається з ряду компонентів, які визначаються його схемою та способом керування. Силкові напівпровідникові вентиля інвертора повинні забезпечити передачу заданого рівня потужності, що визначає вимоги до їх технічних характеристик, та також до інших компонентів, одним з яких є конденсатор ланки постійного струму перетворювача.

Основними шляхами підвищення характеристик тягового інвертора є застосування спеціальних схем його побудови та застосування відповідних методів керування. Застосування нових схемних рішень та алгоритмів керування передбачає попереднє теоретичне обґрунтування та математичне моделювання. Сегментована схема інвертора дозволяє значно знизити вимоги до конденсатора ланки постійного струму. На рисунку 1 показано схему трифазного сегментованого інвертора.

У схемі фазні гілки інвертора та обмотки статора двигуна розділені на дві групи. Завдяки розподілу ШІМ між двома групами, пульсації струму шини постійного струму, а отже, і ємність конденсатора, можуть бути значно зменшені. При використанні сегментованого інвертора можливе зниження пульсацій струмів більше ніж на 50%. Також можливе зниження струму шини постійного струму більше ніж на 25%. Це зниження струмів приводить до зменшення розміру конденсатора та струмоведучих проводів. Крім того, струми ланки постійного струму обернено пропорційні напрузі. Наприклад, коли напруга шини була збільшена з 400 В до 800 В, пульсації струму ланки постійного струму зменшилися вдвічі.

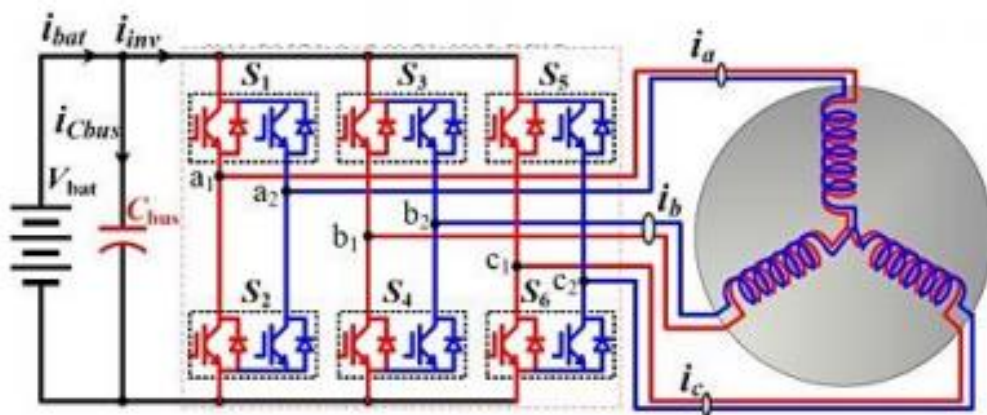


Рисунок 1 – Схема трифазного сегментованого інвертора

Напруга акумулятора регулюється силовими ключами відповідно до певної схеми ШІМ для регулювання струму двигуна (i_x , $x = a, b, c$) та напруги. Протягом одного періоду комутації струми двигуна відносно постійні, а струм постійного струму інвертора i_I є сумою трьох струмів верхніх плечей інвертора і визначається за формулою

$$i_I = (S_{a1} + S_{a2})i_a + (S_{b1} + S_{b2})i_b + (S_{c1} + S_{c2})i_c, \quad (1)$$

де S_{x1}, S_{x2} ($x = a, b, c$) є функціями комутації подвійних інверторів для фазної гілки x і мають лише значення 1 та 0, залежно від того, чи увімкнено верхній чи нижній перемикач.

Наприклад, i_I дорівнюватиме $-2i_c$, коли $S_{x1} = S_{x2} = \{1, 1, 0\}$, коли S_{x1} залишається $\{1, 1, 0\}$, а S_{x2} перемикається на $\{1, 0, 0\}$, i_I дорівнюватиме $i_a - i_c$. Таким чином, i_I перемикатиметься між двома значеннями струму на частоті комутації, що створює пульсації струму, які повинен погасити конденсатор ланки постійного струму. У практичних реалізаціях функції перемикання (S_{x1}, S_{x2}) визначаються схемою модуляції.

Виходячи з обраної схеми модуляції, i_I має 19 можливих значень залежно від комбінацій функцій перемикання, причому деякі з них будуть кращими за інші з точки зору зменшення пульсацій струму конденсатора. Теоретично, якщо $i_I = i_b$, струм конденсатора i_C дорівнюватиме нулю. На практиці, оскільки i_I має лише 19 можливих дискретних значень, досягти повного врівноваження неможливо, тобто слід підбирати найближчі значення i_I у кожен момент часу, щоб мінімізувати пульсації струму конденсатора.

У кожен момент часу 19 можливих значень струму інвертора включають з 9 позитивних, 9 негативних та 1 нульове значення. На рисунку 2 показано всі додатні значення струму i_I , які можна обрати у межах фазового кута від 0 до $\pi/3$, коли величина синусоїдного струму нормалізована (тобто, якщо $i_a = \cos(\theta)$, то $2i_a = 2\cos(\theta)$).

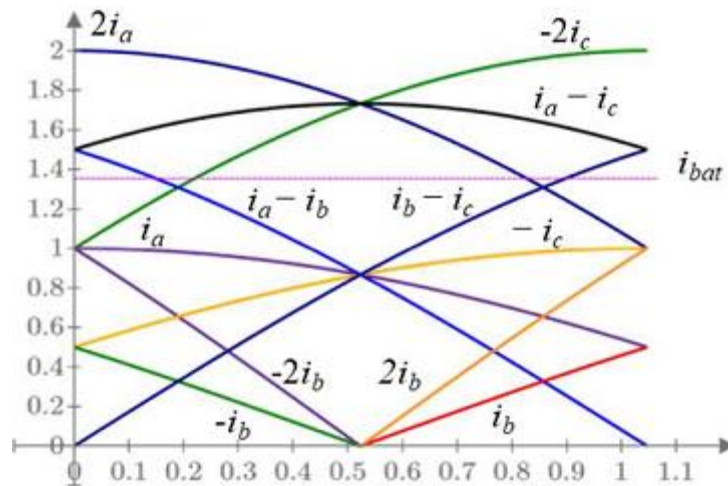


Рисунок 2 – Всі додатні значення струму інвертора, які можна обрати у межах фазового кута від 0 до $\pi/3$

Залежно від величини струму та фазового кута, певні значення струму ближчі до величини струму батареї. Наприклад, при $\theta = 0$, найближчими значеннями струму до заданого значення будуть $i_a - i_c$, $i_a - i_b$, а також $-2i_c$. Якщо обирати ці три значення струму, пульсації струму конденсатора будуть мінімізовані.

На рисунку 3 зображено можливі вектори керування ШІМ для сегментованого інвертора.

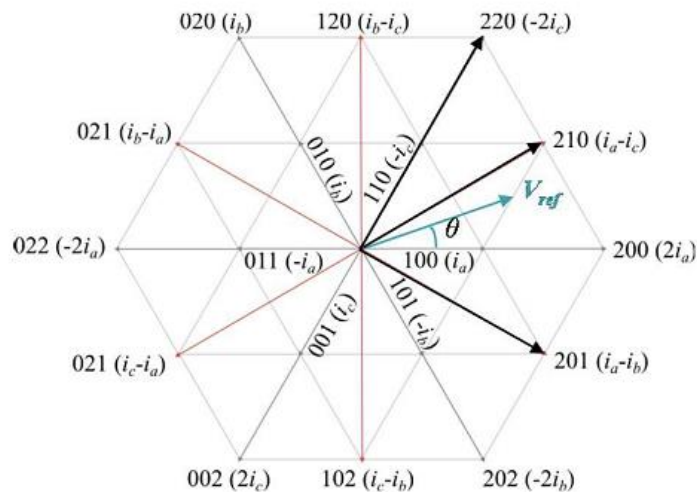


Рисунок 3 – Просторові вектори ШІМ для сегментованого інвертора

Порівняно з схемою з одним інвертором, схема з двома інверторами вводить додаткові 6 довгих векторів та 6 середніх векторів. Загальна кількість 18 ненульових векторів потроєє можливі значення струму i_L , які можна використовувати для формування струму, ближчого до струму акумулятора.

Розраховані коефіцієнти заповненості наведені на рисунку 4.

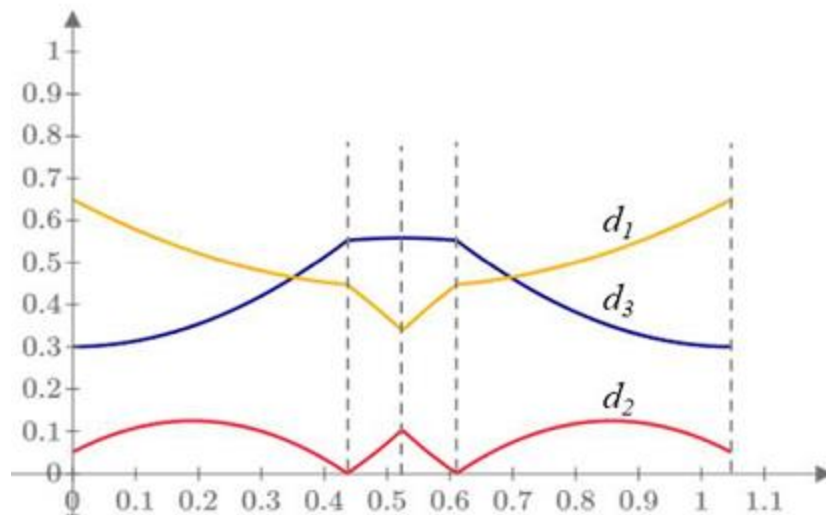


Рисунок 4 – Коефіцієнти заповненості залежно від θ у діапазоні $[0, \pi/3]$

Після визначення коефіцієнтів заповненості послідовність перемикання слід забезпечити таким чином, щоб мінімізувати кількість перемикань протягом одного періоду.

Висновки

Запропонована схема тягового інвертора, а також способу його керування дозволяє зменшити струмове навантаження як на силові напівпровідникові вентиля, так і на конденсатор ланки постійного струму, що своєю чергою дозволяє підвищити питому потужність інвертора в цілому.

Наведене теоретичне обґрунтування дозволяє побудувати математичну модель секціонованого тягового інвертора та сформулювати алгоритм керування, який забезпечує мінімальні пульсації напруги ланки постійного струму силового перетворювача.

Проведене дослідження підтверджує теоретичні висновки і демонструє значне покращення параметрів електричної енергії, які визначають параметри складових компонентів інвертора. Отримані орієнтовні значення показників ефективності потребують натурних досліджень на фізичних моделях.

Література

1. Бороденко, Ю. М. Мехатронні системи автомобіля : підручник / Ю. М. Бороденко, А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2023. – Ч. 1 : Силовий привід. – 300 с.
2. Taha, Wesam & Azer, Peter & Callegaro, Alan & Emadi, Ali. (2022). Multiphase Traction Inverters: State-of-the-Art Review and Future Trends. IEEE Access. 10. 4580-4599. 10.1109/ACCESS.2022.3141542.
3. Medina-Sánchez, Martin & Yepes, Alejandro & López Sánchez, Óscar & Doval-Gandoy, J. (2025). Carrier Phase-Shift PWM With Minimum Stator Current-Ripple RMS for Symmetrical Six-Phase Induction Motor Drives With Nearly

Sinusoidal Winding Distribution. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 10.1109/JESTPE.2025.3565805.

4. Butt, Osama & Butt, Tallal & Ashfaq, Muhammad & Talha, Muhammad & Raihan, Siti & Hussain, Majid. (2022). Simulative Study to Reduce DC-Link Capacitor of Drive Train for Electric Vehicles. Energies. 15. 10.3390/en15124499.

5. Su, Gui-Jia & Wilkins, Jon & Xue, Lingxiao & Ozpineci, Burak & Sahu, Raj & Gorpınar, Emre. (2023). A High-Power Density Segmented Traction Drive Inverter. 1825-1830. 10.1109/ECCE53617.2023.10361985.

6. Xue, Lingxiao & Su, Gui-Jia & Ozpineci, Burak. (2021). DC-Ripple-Energy Adaptive-Minimization (DREAM) Modulation Scheme for a High Power Density Inverter. 186-191. 10.1109/APEC42165.2021.9487324.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Босенко Богдан Максимович, студент групи АЕ-46-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ CAR SCANNER ELM OBD2

Вступ

Стрімкий розвиток автомобільної галузі у світі супроводжується активним впровадженням електромобілів (EV), які поступово стають важливою складовою сучасної транспортної системи. Це обумовлено їх екологічними перевагами, високою енергоефективністю, зниженням залежності від традиційних палив та перспективами розвитку сталої мобільності. Разом із поширенням EV зростає і потреба у вдосконаленні методів їх технічного обслуговування та діагностики.

На відміну від автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, EV мають специфічну конструкцію, до складу якої входять високовольтна акумуляторна батарея, система керування зарядом, електродвигун, інвертор, перетворювачі напруги, електронні блоки керування та велика кількість датчиків. Надійність і безпечність роботи цих систем значною мірою залежать від своєчасного виявлення несправностей, відхилень у робочих параметрах та правильного аналізу технічного стану транспортного засобу (ТЗ) [1-3].

У сучасних умовах особливого значення набувають цифрові засоби діагностики, які дозволяють отримувати оперативну інформацію про стан систем автомобіля без складного розбирання чи тривалих перевірок. Одним із доступних і поширених засобів є використання OBD2-сканерів та спеціалізованого програмного забезпечення, зокрема Car Scanner ELM OBD2. Цей інструмент дає змогу зчитувати коди помилок, контролювати параметри роботи окремих систем у реальному часі, аналізувати дані з електронних блоків керування та оцінювати технічний стан електромобіля. Завдяки доступності, простоті застосування та достатній інформативності такий підхід є

перспективним як для сервісного обслуговування, так і для навчальних і дослідницьких цілей [4-7].

Актуальність теми роботи полягає у зростаючій потребі в ефективних, доступних і сучасних методах діагностики EV, які дозволяють підвищити якість технічного контролю, скоротити час виявлення несправностей та забезпечити надійну експлуатацію ТЗ. Використання сканера Car Scanner ELM OBD2 є доцільним для дослідження особливостей діагностування EV, оскільки поєднує практичність, універсальність і можливість отримання важливих технічних даних у режимі реального часу [8].

Метою роботи є дослідження особливостей діагностики електромобілів з використанням сканера Car Scanner ELM OBD2, визначення його функціональних можливостей та оцінка ефективності застосунку для контролю технічного стану електромобіля.

Загальна характеристика методів діагностики електромобілів

Діагностика електромобілів є важливим елементом забезпечення їх надійної, безпечної та ефективної експлуатації. Вона базується на використанні комплексу методів, що дозволяють визначати технічний стан транспортного засобу, виявляти несправності, контролювати робочі параметри окремих систем і оцінювати відхилення від нормативних значень. На відміну від традиційних автомобілів, у електромобілях більшість ключових процесів пов'язана з електричними, електронними та програмно-керованими системами, тому особливого значення набувають цифрові методи контролю, рисунок 1 [1,4,8-10].



Рисунок 1 – Діагностика та ремонт силових систем EV

До основних методів діагностики електромобілів належать візуальний контроль, функціональна перевірка, інструментальна діагностика, комп'ютерна діагностика та аналіз параметрів у реальному часі. Візуальний контроль дозволяє виявити зовнішні пошкодження, дефекти з'єднань, ознаки перегріву, порушення герметичності або механічні пошкодження елементів. Функціональна перевірка дає можливість оцінити працездатність окремих систем під час запуску, руху, заряджання або гальмування [11-15].

Найбільш інформативною для сучасних електромобілів є комп'ютерна діагностика (рис. 2), яка забезпечує доступ до даних електронних блоків керування. Саме цей метод дозволяє зчитувати коди несправностей, отримувати

поточні параметри систем, аналізувати показники в режимі реального часу та формувати висновки про технічний стан транспортного засобу. Такі можливості особливо важливі для контролю роботи тягової батареї, електроприводу, зарядної системи та допоміжної електроніки.

У сучасній практиці комп'ютерна діагностика виконується за допомогою сканерів, адаптерів і спеціалізованого програмного забезпечення, що підключаються до бортової діагностичної системи автомобіля. Одним із найбільш доступних засобів для цього є використання адаптера ELM OBD2 у поєднанні з мобільним застосунком Car Scanner.

Особливості використання OBD2 в електромобілях

Система OBD2 є стандартом бортової діагностики, який забезпечує доступ до даних автомобіля через спеціальний діагностичний роз'єм. Первинно цей стандарт набув поширення в автомобілях з двигунами внутрішнього згоряння, але з розвитком електронних систем його можливості почали використовуватися і в електромобілях. Через OBD2 можна зчитувати інформацію з електронних блоків керування, отримувати коди несправностей, переглядати параметри роботи датчиків і окремих систем.



Рисунок 2 – Діагностика та ремонт силових систем EV

У випадку електромобілів застосування OBD2 має певні особливості. По-перше, склад доступних параметрів залежить від марки, моделі та програмної архітектури транспортного засобу. По-друге, частина спеціалізованих параметрів, пов'язаних із високовольтною батареєю, системою керування зарядом чи роботою тягового інвертора, може бути доступною лише частково. По-третє, універсальні сканери не завжди дозволяють отримати повний набір сервісної інформації, доступної дилерському обладнанню.

Разом із тим OBD2 залишається зручним і практичним інструментом первинної діагностики. За його допомогою можна швидко виявити наявність помилок, перевірити поточні значення напруги, температури, рівня заряду, навантаження, швидкості, режимів роботи допоміжних систем та низки інших показників. Для навчальних і дослідницьких цілей такий підхід є особливо корисним, оскільки дозволяє аналізувати технічний стан автомобіля без дорогого сервісного обладнання.

Сканер ELM OBD2 як засіб комп'ютерної діагностики

Сканер ELM OBD2 є універсальним адаптером для зчитування діагностичних даних із транспортного засобу через OBD2-роз'єм, рисунок 3. Найчастіше такі адаптери працюють через Bluetooth, Wi-Fi або USB та забезпечують передачу даних на смартфон, планшет або персональний комп'ютер. Вони широко використовуються завдяки доступній вартості, простоті підключення та сумісності з багатьма програмними продуктами.

Основним призначенням ELM OBD2 є встановлення зв'язку між бортовою системою діагностики автомобіля та зовнішнім пристроєм користувача. Після підключення адаптер приймає сигнали від електронних блоків керування, декодує їх і передає у зручному для подальшої обробки вигляді. Це дозволяє виконувати зчитування кодів помилок, переглядати поточні параметри та контролювати поведінку систем у режимі реального часу.

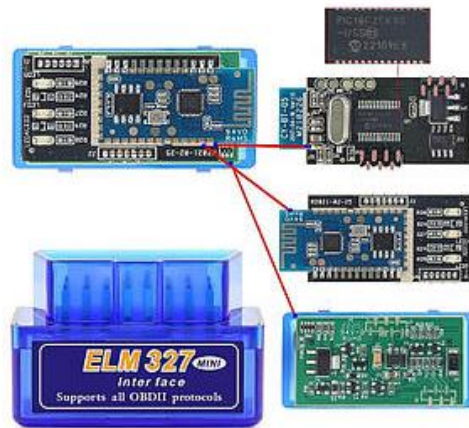


Рисунок 3 – Сканер ELM OBD2

До переваг сканера ELM OBD2 належать:

- компактність і зручність використання;
- доступність для широкого кола користувачів;
- можливість роботи з різними мобільними застосунками;
- оперативне отримання діагностичних даних;
- можливість стирання кодів несправностей після усунення помилки.

Разом із цим необхідно враховувати і певні обмеження. Якість роботи адаптера може залежати від його модифікації та виробника. Деякі дешеві версії мають обмежену сумісність або нестабільне з'єднання. Крім того, універсальний ELM OBD2 не завжди забезпечує доступ до всіх спеціалізованих параметрів електромобіля. Тому отримані результати слід оцінювати з урахуванням технічних можливостей конкретного адаптера.

Програмний застосунок Car Scanner та його функціональні можливості

Car Scanner ELM OBD2 є одним із найбільш відомих мобільних застосунків для комп'ютерної діагностики автомобілів. Він працює у поєднанні з адаптерами типу ELM327 та дозволяє користувачеві отримувати діагностичну

інформацію у зручному графічному вигляді. Застосунок підтримує різні режими роботи та може використовуватися як для загальної перевірки автомобіля, так і для більш детального аналізу окремих параметрів.

До основних функціональних можливостей Car Scanner належать:

- зчитування та розшифрування кодів несправностей;
- стирання кодів помилок після усунення несправностей;
- перегляд поточних параметрів роботи автомобіля;
- відображення даних у вигляді числових значень, таблиць, графіків і віртуальних панелей приладів;
- запис поїздок і збереження історії параметрів;
- моніторинг окремих показників у режимі реального часу.

Для електромобілів застосунок є цінним тим, що дає змогу контролювати параметри, пов'язані з роботою акумуляторної батареї, електродвигуна, систем заряджання та допоміжної електроніки. Залежно від моделі автомобіля, користувач може відстежувати напругу бортової мережі, рівень заряду батареї, споживання енергії, температурні режими, коди помилок систем керування та інші доступні показники [16-20].

Перевагою застосунку є його наочність. Інформація подається у зручному для аналізу вигляді, що спрощує спостереження за параметрами та дозволяє швидко виявляти відхилення. Це робить Car Scanner придатним не лише для практичного використання, але й для навчальних досліджень у сфері технічної діагностики електромобілів.

Порядок підключення та проведення діагностики

Процес діагностики електромобіля з використанням Car Scanner ELM OBD2 включає кілька послідовних етапів. Насамперед необхідно знайти OBD2-роз'єм автомобіля, який зазвичай розташований у зоні водія під панеллю приладів. Цей порт часто прикритий пластиковою кришкою, тож знайди його та під'єднай свій сканер OBD2, рисунок 4. Багато сучасних сканерів і зчитувачів кодів використовують Bluetooth замість дротів, тому, переконайся, що він увімкнений на вашому планшеті/смартфоні.

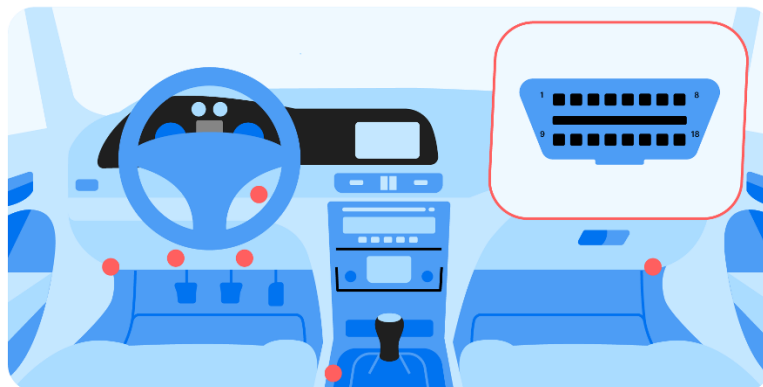


Рисунок 4 – Місця розташування порту OBD2 у різних автомобілях

Після цього до роз'єму підключається адаптер ELM OBD2. Наступним етапом є встановлення з'єднання між адаптером і мобільним пристроєм. Залежно від типу сканера це може бути Bluetooth або Wi-Fi-з'єднання. Далі користувач запускає застосунок Car Scanner, виконує налаштування типу адаптера, вибирає профіль автомобіля та встановлює сеанс зчитування даних.

Після підключення система дозволяє:

- перевірити наявність кодів несправностей;
- переглянути основні поточні параметри;
- вибрати потрібні датчики для спостереження;
- записати дані під час руху або заряджання;
- провести аналіз отриманих показників.

Залежно від мети дослідження діагностика може виконуватися в різних режимах: під час стоянки, у процесі руху, під час заряджання, у момент підвищеного навантаження або в режимі спостереження за окремими вузлами. Найбільш інформативним є аналіз параметрів у динаміці, оскільки він дозволяє оцінити реакцію систем на зміну умов роботи.

Для підвищення достовірності результатів бажано проводити не одноразове зчитування, а серію вимірювань у різних режимах роботи електромобіля. Це дозволяє краще виявити характерні особливості функціонування систем і відхилення в їх роботі [21-23].

Основні параметри, що можуть бути предметом діагностики

При використанні Car Scanner ELM OBD2 для електромобілів предметом діагностики можуть бути різні параметри, які характеризують стан і режими роботи транспортного засобу. До них насамперед належать електричні, температурні, енергетичні та службові показники.

Одним із найважливіших параметрів є рівень заряду акумуляторної батареї. Він дає змогу оцінити поточний запас енергії та здатність автомобіля до подальшого руху. Не менш важливими є напруга бортової мережі, температура окремих систем, струмові навантаження, дані про споживання енергії та швидкість руху.

У межах діагностики також можуть аналізуватися:

- наявність і тип кодів несправностей;
- параметри роботи системи заряджання;
- показники рекуперації енергії;
- температурний стан батареї або силових елементів;
- робота допоміжних систем;
- навантаження на електродвигун;
- зміни параметрів у часі.

Аналіз цих параметрів дає змогу не лише виявляти вже існуючі несправності, а й оцінювати загальну стабільність функціонування електромобіля. Особливо важливим є порівняння значень, отриманих у різних режимах експлуатації, оскільки це дозволяє встановити приховані відхилення та тенденції до погіршення технічного стану [24-27].

Переваги та обмеження використання Car Scanner ELM OBD2

Застосування Car Scanner ELM OBD2 у діагностиці електромобілів має низку суттєвих переваг. Насамперед це доступність такого засобу діагностики для широкого кола користувачів. Для роботи достатньо мати адаптер ELM OBD2 та смартфон із встановленим застосунком. Це значно спрощує процес контролю технічного стану автомобіля.

Іншою важливою перевагою є швидкість отримання інформації. Користувач може за короткий час зчитати коди помилок, переглянути основні параметри та оцінити поточний стан систем. Додатковою перевагою є наочність подання даних, що полегшує їх інтерпретацію. Застосунок також є зручним для навчального процесу, оскільки дозволяє демонструвати студентам реальні діагностичні параметри сучасного транспортного засобу.

Разом із тим існують і певні обмеження. По-перше, функціональність застосунку залежить від можливостей конкретного автомобіля та доступності параметрів через OBD2. По-друге, універсальний адаптер не замінює професійне дилерське обладнання, особливо у випадках складних несправностей. По-третє, для правильного аналізу даних необхідні відповідні знання про будову та принцип роботи електромобіля.

Крім того, слід пам'ятати, що не всі значення, які відображаються у застосунку, мають однакову діагностичну цінність. Частина з них є інформативною лише в сукупності з іншими параметрами або в певних режимах роботи. Саме тому результати комп'ютерної діагностики необхідно аналізувати комплексно [28, 29].

Висновки

Розглянуто основні методи та засоби діагностики електромобілів з використанням Car Scanner ELM OBD2. Встановлено, що серед сучасних підходів до оцінювання технічного стану електромобілів особливе місце посідає комп'ютерна діагностика, яка забезпечує доступ до параметрів електронних систем транспортного засобу.

Показано, що OBD2 є зручним інтерфейсом для отримання діагностичної інформації, а сканер ELM OBD2 у поєднанні з програмним застосунком Car Scanner є доступним засобом для зчитування кодів несправностей, перегляду поточних параметрів і моніторингу роботи автомобіля в реальному часі.

Визначено, що використання Car Scanner ELM OBD2 дозволяє аналізувати низку важливих параметрів електромобіля, зокрема рівень заряду, напругу, температурні показники, енергоспоживання, режими заряджання та службові повідомлення електронних систем. Разом із тим підкреслено, що такий засіб діагностики має певні обмеження, пов'язані з універсальністю адаптера та особливостями доступу до даних конкретного транспортного засобу.

Отже, застосування Car Scanner ELM OBD2 є доцільним для первинної комп'ютерної діагностики електромобілів, проведення навчальних досліджень і контролю основних параметрів технічного стану транспортного засобу.

Література

1. Kuņicina, N., Zabašta, A., Romānovs, A., Pečerska, J., Ribickis, L., Hnatov, A., Shchasiana, A., Dziubenko, O., Rudenko, N., Borodenko, Y., Danylenko, K., Morkun, N., Zavsiehdashnia, I., Sistuk, V., Monastyrskyi, Y., Ruban, S., Tron, V., Peuteman, J.: підручник/ Cyber-Physical Systems for Clean Transportation. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 366 p. ISBN 978-9934-22-676-2.
2. Гнатів А. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 2 / А. В. Гнатів, Щ. В. Аргун // - Харків : Вісник ХНАДУ. – 2017. – № 78. – С. 116–124.
3. Гнатів А. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 1 / А. В. Гнатів, Щ. В. Аргун // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - Харьков : ХНАДУ, 2017. – №. 77. – С. 68–74.
4. Гнатів, А. В. Енергозберігаючі технології на транспорті : конспект лекцій [Електронний ресурс] / А. В. Гнатів, Щ. В. Аргун ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. - Харків, 2021. - 142 с.
5. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / [А.В. Гнатів, Щ.В. Аргун, І.С. Трунова]. – Х.: ХНАДУ, 2016 – 292 с.
6. Гнатів, А. В. Теорія електроприводу : конспект лекцій [Електронний ресурс] / А. В. Гнатів ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. - Харків, 2020. - 144 с. Ч. 1 : Механічні характеристики електропривода постійного та змінного струму.
7. Гнатів А. В., Аргун Щ. В., Гнатова Г. А., Сохін П. А. Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 21. – С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.21.0.1>.
8. Zabasta, A., Peuteman, J., Kunicina, N., Kazymyr, V., Hvesenya, S., Hnatov, A., ... & Ribickis, L. (2020). Research on cross-domain study curricula in cyber-physical systems: A case study of Belarusian and Ukrainian Universities. Education Sciences, 10(10), 282.
9. Patlins, A., Hnatov, A., Kunicina, N., Arhun, S., Zabasta, A., & Ribickis, L. (2018, July). Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy. In 2018 Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE) (pp. 1-2). IEEE.
10. Arhun, S., Borodenko, Y., Hnatov, A., Popova, A., Hnatova, H., Kunicina, N., ... & Ribickis, L. (2020). Choice of parameters for the electrodrive diagnostic system of hybrid vehicle traction. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 57(4), 3-11.
11. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Ponikarovska, S., Hnatova, H., & Novichonok, S. (2020). Determining the Quality of Electric Motors by Vibro-Diagnostic Characteristics. EAI Endorsed Trans. Energy Web, 7(29), e6.

12. Arhun, S., Hnatov, A., Hnatova, H., Patlins, A., & Kunicina, N. (2020, November). Problems that have arisen in universities in connection with COVID-19 on the example of the Double Degree Master's Program "Electric Vehicles and Energy-Saving Technologies". In 2020 IEEE 61th international scientific conference on power and electrical engineering of Riga Technical university (RTUCON) (pp. 1-6). IEEE.
13. Аргун І.В. Екологічний та енергоефективний автомобільний транспорті його інфраструктура / І. В. Аргун, А. В. Гнатов, О.А. Ульянець // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2016. – № 2 (77). – С. 18–27.
14. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., & Saraiev, O. (2022, May). Features of converting a car with an internal combustion engine into an electric car. In 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON) (pp. 1-6). IEEE.
15. Borodenko, Y., Ribickis, L., Zabasta, A., Arhun, S., Kunicina, N., Zhiravetska, A., ... & Kunicins, K. (2020). Using the method of the spectral analysis in diagnostics of electrical process of propulsion systems power supply in electric car. *Przeglad Elektrotechniczny*, 96(10), 47-50.
16. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Hnatova, H., & Ulyanets, O. (2020). System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. *EAI Endorsed Transactions on the Energy Web*, 7(26).
17. Гнатов А. В. Електромобілі – майбутнє, яке вже настало / А. В. Гнатов, І. В. Аргун, О. А. Ульянець // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 11. – С. 24-28.
18. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Patlins, A. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink //2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). – IEEE, 2019. – С. 1-6. DOI: 10.1109 / RTUCON48111.2019.8982352.
19. Trunova, I., Arhun, S., Hnatov, A., Apse-Apsitis, P., Kunicina, N., & Myhal, V. (2023). Sustainable approach development for education of electrical engineers in Long-Term online education conditions. *Sustainability*, 15(18), 13289.
20. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53). P.37-50. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05
21. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S. Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways. In: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference, Lithuania, Trakai, 3-5 October, 2018*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2018, pp.574-579.
22. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Автомобільний транспорт*, Вип. 49, 2021, С. 71-78.

23. Мигаль, В. Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. 72–80. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.5>.
24. Gnatov, A., Argun, S., & Ulyanets, O. (2017, May). Joint innovative double degree master program «Energy-saving technologies in transport». In 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 1203-1207). IEEE.
25. Gnatov, A., Argun, S., & Rudenko, N. (2017, May). Smart road as a complex system of electric power generation. In 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 457-461). IEEE.
26. Hnatov, A., Patlins, A., Arhun, S., Kunicina, N., Hnatova, H., Ulianets, O., & Romanovs, A. (2020, September). Development of an unified energy-efficient system for urban transport. In 2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon) (pp. 248-253). IEEE.
27. Migal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., & Ponikarovska, S. (2019). Substantiating the criteria for assessing the quality of asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars. Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 36(10), 989-999.
28. Hnatov, A., Arhun, S., Ulyanets, O., & Ponikarovska, S. (2018, April). Ultracapacitors electrobus for urban transport. In 2018 IEEE 38th international conference on electronics and nanotechnology (ELNANO) (pp. 539-543). IEEE.
29. Bogajevskiy, A., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., Kunicina, N., & Patlins, A. (2019, October). Selection of methods for modernizing the regulator of the rotation frequency of locomotive diesels. In 2019 IEEE 60th international scientific conference on power and electrical engineering of Riga technical university (RTUCON) (pp. 1-6). IEEE.

Науковий консультант: д.т.н., проф. Гнатов А.В., зав. каф. Автомобільної електроніки.

Журавльов Євген Ігорович, ст. гр. АЕ-46-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
evgeniy.zhuravlev2312@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО БОРТОВОГО ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Так звані, інтегровані зарядні пристрої використовують існуючі компоненти енергетичної установки електромобіля (електродвигун та інвертор) у системі заряду тягового акумулятора замість окремого зарядного кола. При цьому обмотки двигуна використовуються як індуктивності фільтрів та/або як обмотки трансформатора, який забезпечує гальванічну розв'язку. Силові

вентилі тягового інвертора використовуються як ключові елементи двонаправленого перетворювача напруги (струму).

Ефективність інтегрованих зарядних пристроїв обумовлюється деякими технічними вимогами, які включають зменшення кількості перекомутуючих елементів, виключення виникнення крутного моменту двигуна, забезпечення якості напруги на вході та виході системи. Задоволення цих вимог значною мірою залежатиме від типу двигуна, кількості фаз та використовуваного перетворювача.

Запропонована схема інтегрованого бортового зарядного пристрою наведена на рисунку 1. Дана схема повторює схему енергетичної установки електромобіля, при цьому на ній вказано призначення окремих груп вентилів як складових бортового зарядного пристрою. Також схема доповнена високочастотним трансформатором (T) та індуктивністю L перетворювача постійного струму DC/DC. Перемикачі K_1 та K_2 призначені для перекомутації схеми при переводі силової електроніки у режим заряду.

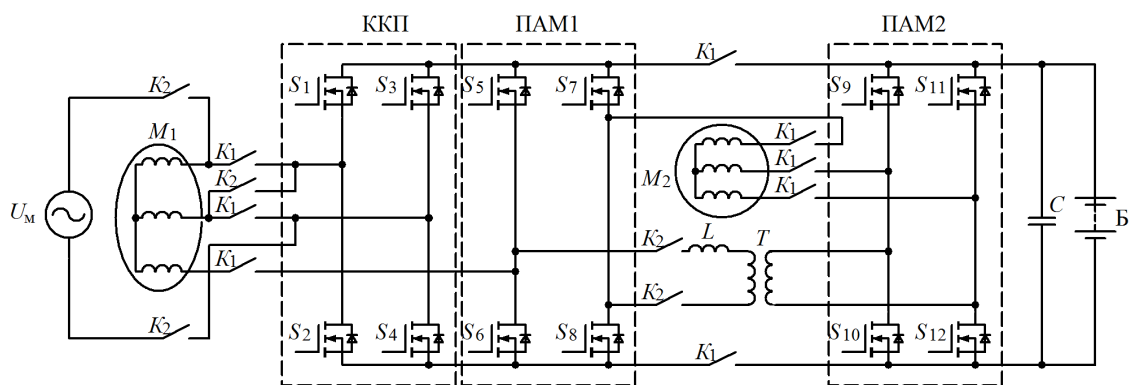


Рисунок 1 – Схема гібридна силової електроніки

Традиційно перетворювачі зі складу зарядної системи електромобіля будуються на основі IGBT-транзисторів, тоді як тяговий інвертор будується на основі потужних MOSFET-транзисторів. Крім того, система керування цих окремих перетворювачів ґрунтується на різних робочих частотах. В такому разі як задачу дослідження сформульовано порівняння характеристик роботи різних силових вентилів у складі напівпровідникового перетворювача.

Дослідження проведено у програмному середовищі MATLAB/SIMULINK. Для проведення досліду створена простіша модель на основі блоку Converter. Схема моделі наведена на рисунку 2.

Основним елементом моделі є блок Converter, який було обрано через можливість програмної заміни у ньому типу силового напівпровідникового ключового елементу.

У дослідженні поставлена задача порівняння напівпровідникових перетворювачів напруги на базі різних силових вентилів. Блок Converter дозволяє шляхом перемикання здійснювати відповідні заміни.

Також центральною підсистемою створеної моделі є система керування вентилями Control. Підсистема містить блоки DC-DC Voltage Controller та PWM Generator з бібліотеки елементів SIMULINK.

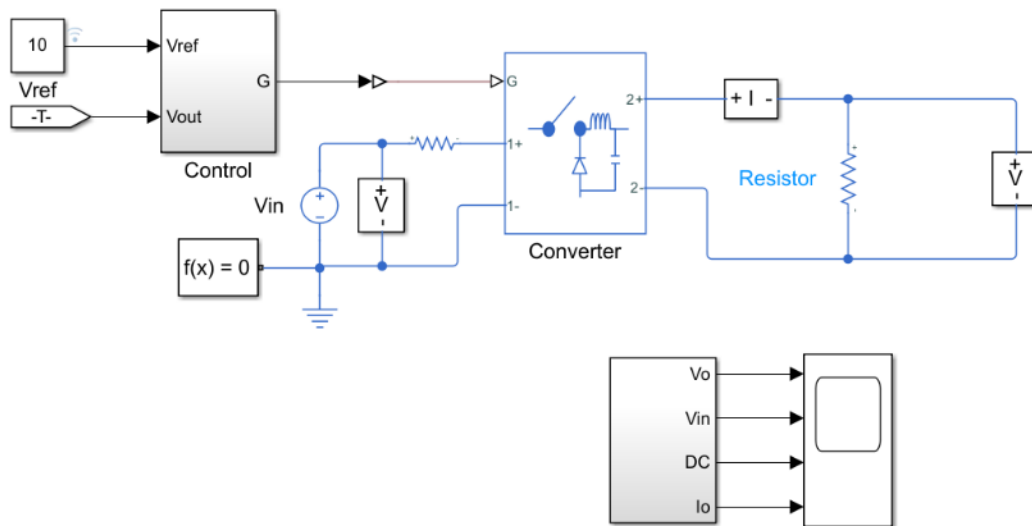


Рисунок 2 – Схема дослідної моделі у програмному середовищі MATLAB/SIMULINK

Методика дослідження полягала у визначенні впливу величини коефіцієнта перетворення на перехідний процес вмикання перетворювача на навантаження до виходу на номінальний режим роботи для коефіцієнтів перетворення 0,9, 0,5 та 0,1, а також визначенні впливу несучої частоти системи керування при зменшеній, номінальній та збільшеній частоті. Досліди були проведені для перетворювача на основі IGBT-транзисторів у традиційному виконанні та для перетворювача на основі MOSFET-транзисторів у випадку їх використання для системи заряду електромобіля.

Результати досліджень наведено у вигляді осцилограм напруги, наведених на рисунках 3 – 4.

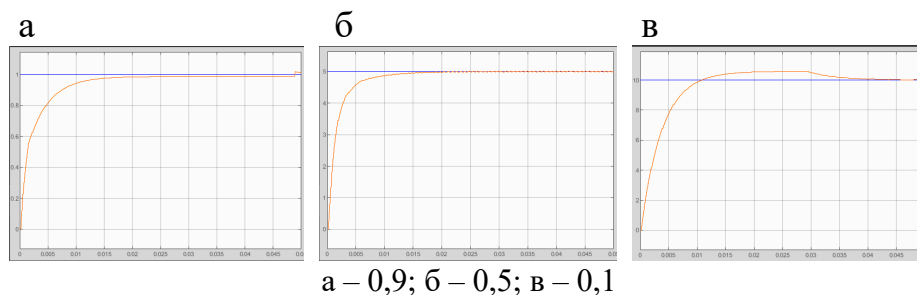
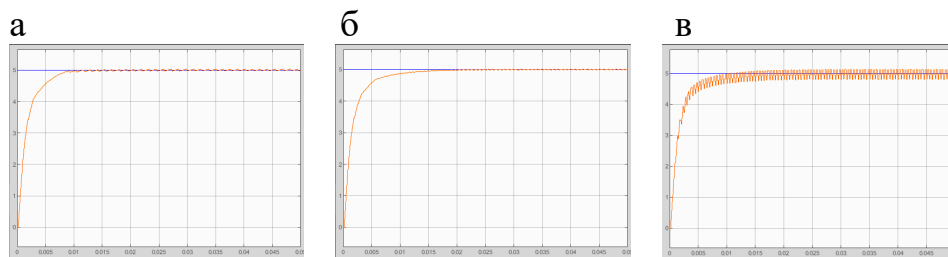


Рисунок 3 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі IGBT при різних коефіцієнтах перетворення

З рисунку 3 видно, що кращий перехідний процес має місце при коефіцієнті перетворення 0,5. При більших значеннях перехідний процес затягується у часі, а при менших – має місце пере регулювання та ще більше затягування перехідного процесу.



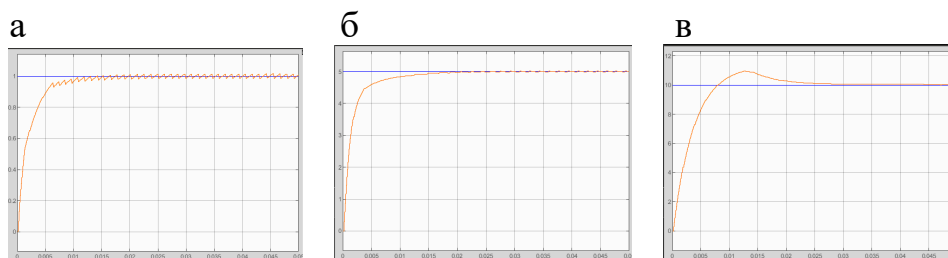
а – вища; б – номінальна; в – нижча

Рисунок 4 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі IGBT при різних величинах несучої частоти

З рисунку 4 видно, що кращий перехідний процес має місце при завищеній несучій частоті, при цьому час перехідного процесу скорочується. При заниженій частоті – спостерігається погіршення якості напруги як у ході перехідного процесу, так і після його завершення.

Як проміжний висновок можна відмітити, що вищу якість напруги перетворювач на основі IGBT-транзисторів має при коефіцієнтах перетворення близьких до 0,5. Покращити властивості перетворювача можна шляхом збільшення несучої частоти.

Аналогічні дослідження для перетворювача на основі MOSFET-транзисторів наведені на рисунках 5 – 6.



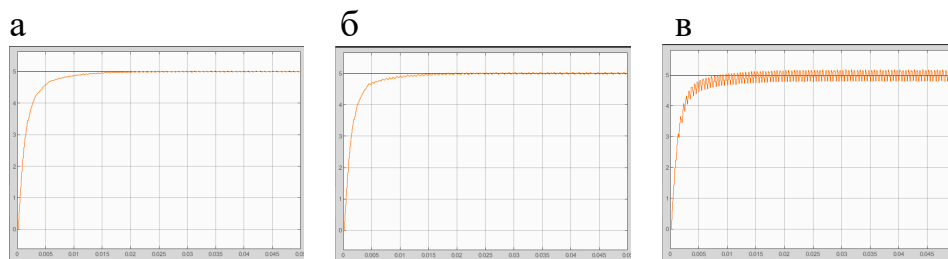
а – 0,9; б – 0,5; в – 0,1

Рисунок 5 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі MOSFET при різних коефіцієнтах перетворення

Як і для перетворювача на основі IGBT-транзисторів можна зробити проміжний висновок. Вищу якість напруги перетворювач забезпечує при коефіцієнтах перетворення близьких до 0,5, при вищих коефіцієнтах якість напруги погіршується, а при нижчих – настає пере регулювання, і подовження перехідного процесу. Покращити властивості перетворювача можна шляхом збільшення несучої частоти ШІМ-регулятора.

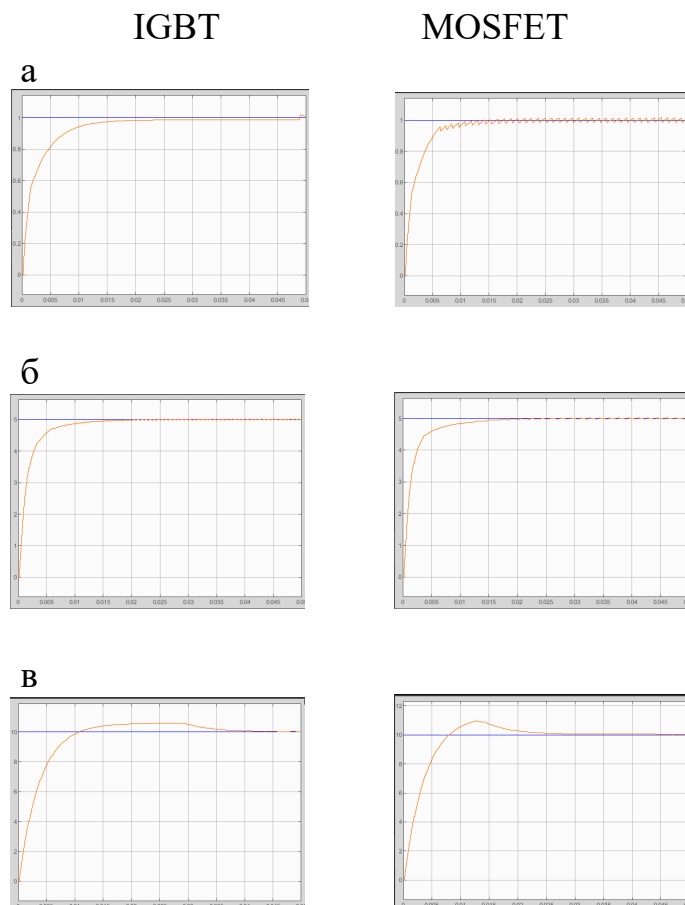
Порівняння властивостей перетворювачів наведено на рисунку 7 та рисунку 8.

З рисунку 7 видно, що перетворювач на базі MOSFET-транзисторів поступається перетворювачу на базі IGBT-транзисторів як за якістю вихідної напруги, так і за тривалістю перехідного процесу, за виключенням випадку роботи з малими коефіцієнтами перетворення.



а – вища; б – номінальна; в – нижча

Рисунок 5 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі MOSFET при різних величинах несучої частоти



а – 0,9; б – 0,5; в – 0,1

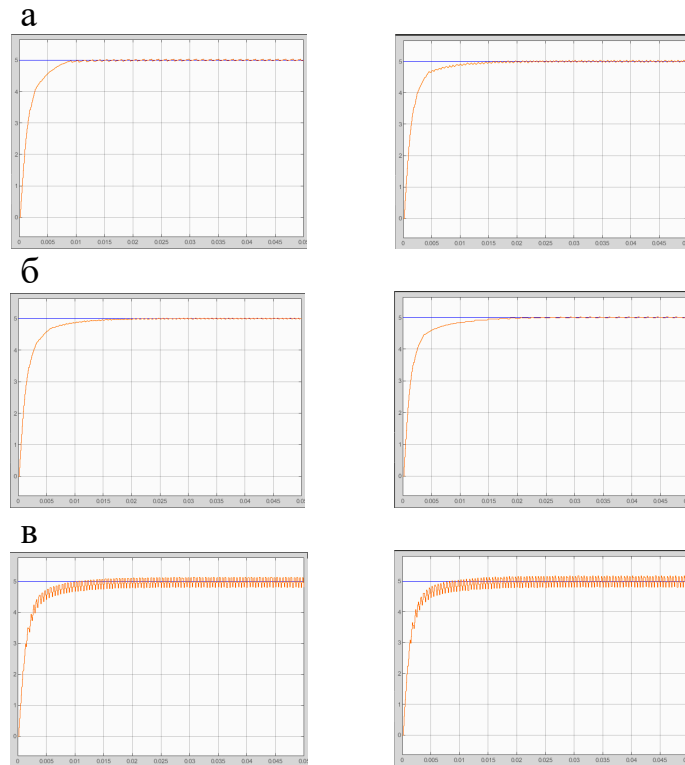
Рисунок 7 – Перехідний процес вмикання перетворювачів при різних коефіцієнтах перетворення

З рисунку 8 видно, що перетворювач на базі MOSFET-транзисторів поступається перетворювачу на базі IGBT-транзисторів як за тривалістю перехідного процесу, так і за якістю вихідної напруги.

Тобто переведення напівпровідникового перетворювача на іншу елементну базу повинне супроводжуватися як зміною параметрів системи фільтрації напруги, так і зміною параметрів системи керування.

IGBT

MOSFET



а – вища; б – номінальна; в – нижча

Рисунок 8 – Перехідний процес вмикання перетворювачів при різних величинах несучої частоти

Висновки

Впровадження та технічна реалізація інтегрованого зарядного пристрою електромобіля передбачає введення у систему додаткових комутуючих елементів, а також ускладнення системи керування.

Різні типи напівпровідникових ключів мають різний вплив на параметри перехідних процесів, які відбуваються при зміні режимів роботи напівпровідникових перетворювальних пристроїв, а також на параметри якості напруги на виході перетворювача.

Для компенсації відхилень у роботі перетворювача у різних функціональних за стосунках потрібні як корегування у налаштуваннях системи керування, так і застосування додаткових фільтруючих елементів. Остаточні висновки щодо запропонованих технічних рішень повинні ґрунтуватися не тільки на імітаційному математичному моделюванні, а також на результатах дослідження макетів та дослідних зразків електронної частини силової установки електромобіля.

Література

1. Бороденко, Ю. М. Мехатронні системи автомобіля : підручник / Ю. М. Бороденко, А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2023. – Ч. 1 : Силовий привід. – 300 с.

2. Metwly, Mohamed & Abdel-majeed, Mahmoud & Abdel-Khalik, Ayman & Hamdy, Ragi & Hamad, Mostafa & Ahmed, Shehab. (2020). A Review of Integrated On-Board EV Battery Chargers: Advanced Topologies, Recent Developments and Optimal Selection of FSCW Slot/Pole Combination. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.2992741.

3. Valente, Mauro & Wijekoon, Thiwanka & Freijedo, Francisco & Pescetto, Paolo & Pellegrino, Gianmario & Bojoi, Radu. (2021). Integrated On-Board EV Battery Chargers: New Perspectives and Challenges for Safety Improvement. 349-356. 10.1109/WEMDCD51469.2021.9425666.

4. Kougioulis, Ioannis & Pal, Anirban & Wheeler, Patrick & Ahmed, Md. (2023). An Isolated Multiport DC-DC Converter for Integrated Electric Vehicle On-board Charger. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. PP. 1-1. 10.1109/JESTPE.2023.3276048.

5. Mukherjee, Subhajyoti & Rallabandi, Vandana & Chowdhury, Shajjad & Onar, Omer. (2025). Integrated On-Board Charger for Dual Motor Based Electric Vehicle Power Train. 1-5. 10.1109/ITEC63604.2025.11098117.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Іванов Артем Геннадійович, студент гр. АЕ-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КООПЕРАТИВНОГО АДАПТИВНОГО КРУЇЗ-КОНТРОЛЯ ДЛЯ ГРУПИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Сучасні удосконалені та інтелектуальні системи допомоги водієві ADAS (англ. Advanced Driving Assistance Systems, ADAS) підвищують безпеку та мобільність транспорту, а також зменшують вплив на навколишнє середовище та економічні витрати завдяки зменшенню помилок водія. Однією з головних систем безпеки ADAS є система круїз-контроля, яка підтримує бажану швидкість транспортного засобу без втручання водія.

Системи адаптивного круїз-контроля ACC (англ. Adaptive Cruise Control, ACC) регулюють швидкість автомобіля, щоб підтримувати безпечну дистанцію до автомобіля попереду. Впровадження зв'язку між транспортними засобами та між транспортним засобом та інфраструктурою V2X (англ. Vehicle-to-Everything, V2X) [1] до систем адаптивного круїз-контроля ACC групи транспортних засобів призводить до створення систем кооперативного адаптивного круїз-контроля CACC (англ. Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC), де кожен транспортний засіб має дані про траєкторію всіх інших транспортних засобів на тій самій смузі. Системи кооперативного адаптивного круїз-контроля CACC пропонують переваги над звичайними системами адаптивного круїз-контроля ACC у збільшенні пропускної здатності та середньої швидкості.

Принцип роботи адаптивного круїз-контроля наведений на рисунку 1 [2].

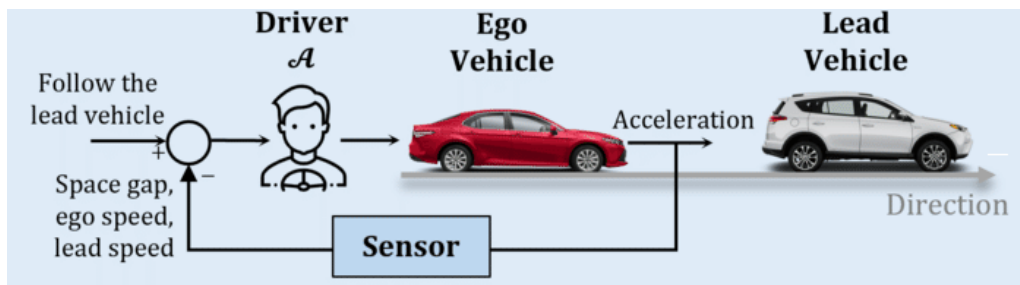


Рисунок 1 – Принцип роботи адаптивного круїз-контроля [2]

Пристрої технічного зору, такі як радары (англ. Radar), лідари (англ. LIDAR), ультразвукові датчики (англ. ultrasound), інфрачервоні далекоміри та оптичні камери, широко застосовуються для забезпечення автоматизованого управління транспортними засобами. Завдяки цим технологіям можна визначати відносні параметри руху як самого автомобіля, так і навколишніх об'єктів, а також своєчасно виявляти перешкоди на шляху.

Як об'єкт дослідження кооперативний адаптивний круїз-контроль САСС визначається як вдосконалена система поздовжнього контролю, яка покращує стандартний адаптивний круїз-контроль АСС, додаючи зв'язок між автомобілями V2V (англ. Vehicle-to-Vehicle, V2V) та зв'язок між автомобілями та всіма пристроями V2X. У той час як стандартний адаптивний круїз-контроль АСС покладається виключно на бортові датчики (радар/лідар) для відстеження транспортного засобу безпосередньо попереду, кооперативний адаптивний круїз-контроль САСС дозволяє транспортним засобам обмінюватися даними в режимі реального часу, такими як швидкість, прискорення та місцезнаходження, рисунок 2 [3].

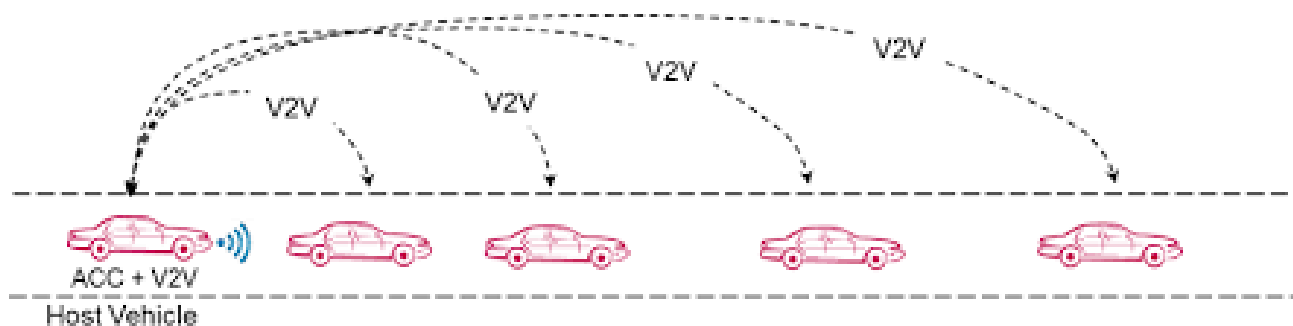


Рисунок 2 – Візуалізація роботи кооперативного адаптивного круїз-контроля [3]

Обмінюючись даними в режимі реального часу, такими як швидкість, прискорення та місцезнаходження, безпосередньо між транспортними засобами V2V, кооперативний адаптивний круїз-контроль САСС дозволяє автомобілям набагато точніше слідувати один за одним та реагувати швидше, ніж водії-люди чи стандартні системи АСС.

Проведемо аналіз основних відмінностей між кооперативним адаптивним круїз-контролем САСС та звичайним адаптивним круїз-контролем АСС:

- у кооперативного адаптивного круїз-контроля САСС додається нове

джерело інформації від комунікації «транспортний засіб-транспортний засіб», в той час як звичайний адаптивний круїз-контроль АСС використовує данні виключно з власних бортових датчиків (радар, лідар, камери);

- у кооперативного адаптивного круїз-контроля САСС підвищується час реакції на дії лідируючого транспортного засобу, тому що за допомогою технології V2V він заздалегідь знає, що автомобіль попереду гальмує, замість того, щоб чекати, як у звичайному адаптивному круїз-контролі АСС, поки радар або лідар виявить гальмування, обробить інформацію у системі керування та прийме відповідне рішення щодо гальмування власного транспортного засобу;

- кооперативний адаптивний круїз-контроль САСС за допомогою технології V2V має постійний онлайн зв'язок не тільки з попереднім лідируючим транспортним засобом, але і з автомобілями у колонні, що рухаються попереду (дивись рисунок 2), що значно збільшує пропускну здатність автомагістралі та зменшує затори.

Проведемо аналіз основних переваг кооперативного адаптивного круїз-контроля САСС над звичайним адаптивним круїз-контролем:

- збільшення пропускну здатності дороги за рахунок того, що транспортні засоби, які оснащені кооперативним адаптивним круїз-контролем САСС, можуть рухатися щільними «нитками», розміщуючи більше автомобілів на одній смузі без шкоди для безпеки;

- підвищення паливної ефективності (для автомобілів з ДВЗ) та енергетичної економичності (для електромобілів) за рахунок того, що транспортні засоби, які оснащені кооперативним адаптивним круїз-контролем САСС, зменшують дистанцію між автомобілями, що значно зменшує аеродинамічний опір, особливо для важких вантажівок. Також одночасно збільшується середня швидкість колони транспортних засобів, що зменшує час у дорозі та сприяє швидшій доставці товарів;

- підвищення стабільності руху та практичне виключення «фантомних заторів», що виникають без видимих причин (аварій, звуження дороги чи ремонтних робіт). «Фантомні затори» утворюються, коли один водій різко гальмує, створюючи хвилю, яка поширюється назад, змушуючи інших водіїв гальмувати ще сильніше, що призводить до повної зупинки руху та аварій типу «гармошка». А при використанні САСС вся колонна транспортних засобів може плавно та синхронно сповільнюватися, якщо це вимагає дорожня ситуація;

- підвищення безпеки руху за рахунок того, що керування колони транспортних засобів кооперативним адаптивним круїз-контролем САСС пом'якшує наслідки зіткнень ззаду, забезпечуючи швидшу та точнішу реакцію на раптові зміни швидкості автомобілів, що рухаються попереду.

Література

1. V2X in the Connected Car of the Future - Qorvo. Qorvo - Qorvo. URL: <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/v2x-in-the-connected-car-of-the-future> (date of access: 09.03.2026).

2. Personalized Car Following for Autonomous Driving with Inverse Reinforcement Learning / Z. Zhao et al. 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Philadelphia, PA, USA, 23–27 May 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/icra46639.2022.9812446> (date of access: 19.02.2026).

3. Mitigating traffic oscillations through connected and automated vehicle control: a platoon-level cooperative adaptive cruise control strategy with optimal sub-platoon formation / Z. Zhou et al. Applied Mathematical Modelling. 2025. P. 116681. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2025.116681> (date of access: 05.03.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

Ісаєнко Олександр Леонідович, студент гр. АЕ-46-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПЕРЕДОВИХ СИСТЕМАХ ДОПОМОГИ ВОДІЄВІ

Штучний інтелект (Artificial Intelligence (AI)) являє собою імітацію людського інтелекту машинами, які здатні думати та навчатися за принципом, схожим на людський. Одним із прикладів успішного впровадження AI є передові системи допомоги водієві (Advanced Driver Assistance System (ADAS)). Штучний інтелект значно підвищив ефективність ADAS через навчання алгоритмів обробки величезних обсягів сенсорних даних. Завдяки використанню технологій штучного інтелекту ADAS здатна приймати критично важливі рішення в режимі реального часу, спрямовані на забезпечення безпечного та комфортного керування автомобілем [1].

Ефективність ADAS залежить від глибокого розуміння методів машинного навчання та їх адаптації для оптимального розвитку систем. Наприклад, згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Network (CNN)) відзначаються високою ефективністю при розпізнаванні зображень та виявленні об'єктів. Це робить їх ключовим інструментом у застосуванні ADAS для задач у реальному часі, таких як визначення пішоходів чи підтримання автомобіля в межах смуги руху. Проте CNN іноді не здатні враховувати довгострокові залежності, що є критичними для таких задач, як прогнозування поведінки водія.

На противагу цьому, рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks (RNN)) показують велику ефективність у роботі з послідовними даними, оскільки добре справляються з обробкою часових залежностей. Глибоке розуміння сильних та слабких сторін CNN і RNN дає змогу вдосконалити інтеграцію штучного інтелекту в ADAS, підвищуючи їхню функціональність і сприяючи підвищенню безпеки дорожнього руху.

Застосування штучного інтелекту перетворює звичайні автомобілі на підключені та автономні транспортні засоби. Завдяки здатності автомобілів самостійно сприймати, аналізувати оточення та приймати рішення

покращується якість комунікації, безпека руху та загальна ефективність дорожньої мережі. Особливо це стосується середовища VANET (Vehicular Ad-hoc Network), де транспортні засоби формують спеціальні мережі для обміну даними, що сприяє безперебійному й гармонійному трафіку [2].

Типові методи штучного інтелекту, що знаходять застосування у передових системах допомоги водієві ADAS, охоплюють широкий спектр технологій і підходів. Основні з них включають:

- машинне навчання (Machine Learning (ML)) використовується для виявлення аномалій у поведінці транспортних засобів, оптимізації маршрутів, а також для прогнозування трафіку;
- навчання з підкріпленням (Reinforcement learning (RL)) застосовується для динамічного планування оптимальних маршрутів і адаптивного управління дорожнім рухом;
- штучні нейронні мережі (Artificial neural networks (ANN)) призначені для завдань ідентифікації та класифікації об'єктів, а також для передачі інформації між транспортними засобами;
- нечітка логіка (Fuzzy logic) використовується для прийняття критично важливих рішень, наприклад, у ситуаціях, що вимагають екстреного гальмування;
- генетичні алгоритми (Genetic Algorithms (GA)) забезпечують покращення мережевого зв'язку та підвищення енергоефективності систем;
- ройовий інтелект (Swarm intelligence) застосовується для формування взаємодій між групами транспортних засобів з метою покращення спільної комунікації;
- обробка природної мови (Natural language processing (NLP)) забезпечує безконтактну взаємодію водія з транспортним засобом через голосові команди та інші види комунікації.

На рисунку 1 представлено графічну ілюстрацію типових методів штучного інтелекту, що активно впроваджуються в системи допомоги водієві ADAS.



Рисунок 1 – Графічне представлення методів штучного інтелекту, що застосовуються в передових системах допомоги водієві ADAS [3]

Машинне навчання спирається на статистичні моделі та алгоритми, щоб дозволити комп'ютерам вивчати закономірності даних і удосконалювати свої функції без традиційного програмування. Це є ключовим компонентом у

створенні та управлінні автономними транспортними засобами. Завдяки машинному навчанню автомобілі отримують здатність аналізувати та інтерпретувати навколишнє середовище, приймати обґрунтовані рішення й оперативно взаємодіяти з ним.

Вирішальну роль у функціонуванні автономних автомобілів відіграють штучні нейронні мережі, що забезпечують їх здатність обробляти дані з камер, лідарів і радарів. Ці мережі дозволяють транспортним засобам розпізнавати об'єкти, прогнозувати поведінку інших учасників руху та планувати маневри для безпечної навігації. Використовуючи величезні обсяги даних, вони можуть навчатися вирішувати складні дорожні ситуації, які неможливо запрограмувати за допомогою традиційних регламентованих рішень. Нейронні мережі також оптимізують процес передбачення й адаптації до мінливих умов, у тому числі прогнозування дій водіїв інших автомобілів.

Навчання з підкріпленням дозволяє агентам вдосконалювати свої рішення на основі винагород, отриманих у заданому середовищі. У контексті автономних транспортних засобів цей метод сприяє адаптації стилю водіння, враховуючи такі фактори, як дорожній рух, погодні умови й динамічні зміни оточення.

Нечітка логіка допомагає автономним транспортним засобам справлятися з неповною або нечіткою інформацією для прийняття рішень. Наприклад, автомобіль може аналізувати різноманітні змінні — дорожню ситуацію, сигнали світлофорів, швидкість і місцезоположення інших транспортних засобів — і на основі цього визначати оптимальну дію: гальмувати, прискорюватися чи здійснити поворот.

Генетичні алгоритми також є потужними інструментами оптимізації. Їхній принцип базується на моделі природного відбору та еволюції, використовуючи процедури відбору, схрещування й мутації для пошуку найкращих рішень при вирішенні завдань маршрутизації та керування рухом. Це дозволяє ефективно вирішувати складні задачі планування траєкторії й вибору загального маршруту.

Ройовий інтелект бере за основу поведінку соціальних тварин, таких як мурахи чи бджоли, і застосовується для колективної оптимізації й взаємодії між простими агентами. У випадку автономного транспорту він забезпечує координацію групи машин для досягнення спільної мети, як-от покращення дорожнього потоку або синхронізація маневрів у транспортному колоні. Регулюючи швидкість і дистанцію між автомобілями, група може оптимізувати рух на дорозі й забезпечувати безперебійну навігацію.

Обробка природної мови сприяє інтерактивності між комп'ютерами й людськими мовами. Завдяки її інтеграції в автономні транспортні засоби автомобілі можуть розуміти команди пасажирів і спілкуватися з ними зрозумілим і легким способом.

Література

4. Alsajri A. K. S., Hacimahmud A. V. Review of deep learning: Convolutional Neural Network Algorithm. Babylonian Journal of Machine Learning.

2023. Vol. 2023. P. 19–25. URL: <https://doi.org/10.58496/bjml/2023/004> (date of access: 14.04.2026).

5. Connected and Automated Vehicles: Infrastructure, Applications, Security, Critical Challenges, and Future Aspects / M. Sadaf et al. Technologies. 2023. Vol. 11, no. 5. P. 117. URL: <https://doi.org/10.3390/technologies11050117> (date of access: 14.04.2026).

6. Revolutionizing Parking with Augmented Reality: The Future of Finding Parking Spots. Parking Network. URL: <https://www.parking.net/parking-industry-blog/parking-network/revolutionizing-parking-with-augmented-reality-ar> (date of access: 14.04.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

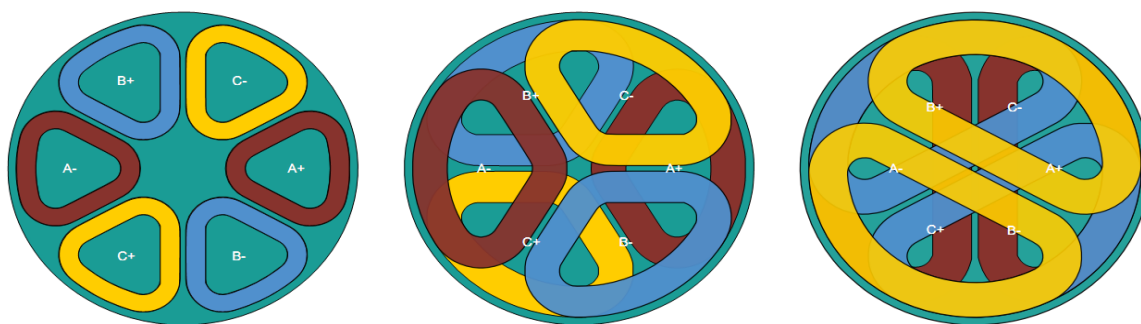
Корощенко Андрій Юрійович, ст. гр. АЕ-41-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
andreykoroshchenko18@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОФАЗНОЇ БЕЗДРОТОВОЇ СИСТЕМИ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Незважаючи на високу енергоефективність та екологічні переваги електромобілів (EV), темпи їх впровадження зростають відносно повільними темпами, головним чином через обмежений запас ходу електромобілів та тривалий час заряду. Щоб скоротити час заряду електромобілів до рівня, порівнянного з часом заправки звичайних транспортних засобів, потрібні надзвичайно швидкі системи заряду [1]. Такі системи зменшать занепокоєння водіїв щодо запасу ходу та дозволять подорожувати на далекі відстані.

Бездротові системи передачі енергії для заряду електромобілів є гнучкими, зручними та високоефективними, а також дозволяють автоматизувати процес заряду. Дана робота присвячена дослідженню поліфазних бездротових систем передачі енергії для потужних бездротових зарядних систем.

У [2] представлено три варіанти побудови біполярної трифазної системи котушок, розроблених та запатентованих авторами, ці варіанти наведено на рисунку 1. Системи котушок побудовані на основі трьох пар котушок, які належать різним фазам трифазної системи. Окремі обмотки, які складають кожну пару, намотані таким чином щоб створювати магнітне поле протилежної полярності. Система є біполярною у тому сенсі, що потік, який створюється однією котушкою пари, має природний зворотний шлях через свою парну котушку.

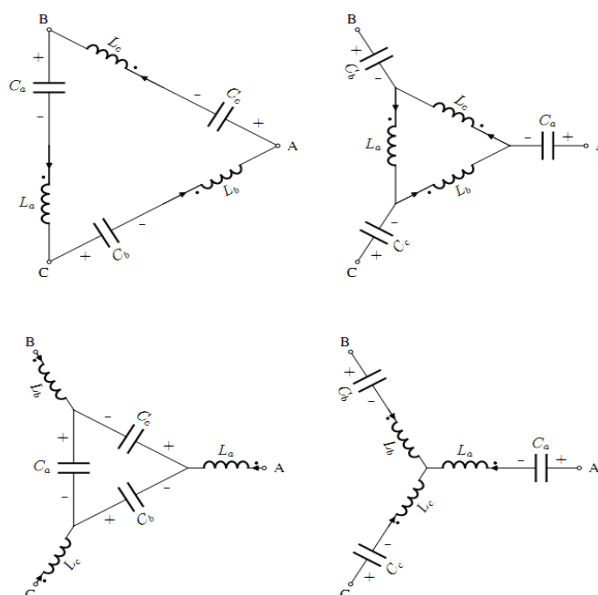


а – одношарова; б – двошарова; в - тришарова
Рисунок 1 – Системи біполярних трифазних котушок

Структурно системи котушок відрізняються двома аспектами: кроком між витками та кількістю шарів. Якщо кількість шарів дорівнює n , то крок котушок має бути меншим за $n \cdot 60^\circ$. Отже, максимальний крок котушок для одно-, дво- та тришарових систем становить 60° , 120° та 180° відповідно. Оскільки кожен шар знаходиться на різній відстані від магнітного екрану, обмотки на різних шарах матимуть різну власну індуктивність. Аналогічно, взаємна індуктивність між будь-якими двома фазними обмотками залежатиме від шару кожної пари.

Оскільки магнітний зв'язок між котушками БПЕ з великим повітряним зазором низький, робочий коефіцієнт потужності без будь-якої ємнісної компенсації буде досить слабим. Резонансне налаштування використовується для досягнення незалежного від навантаження коефіцієнта потужності, що підвищує ефективність системи.

На рисунку 2 наведено чотири різні трифазні послідовні резонансні компенсаційні схеми.



а – DC-DL; б – YC-DL; в – DC-YL; г – YC-YL

Рисунок 2 – Трифазні послідовні резонансні компенсаційні схеми

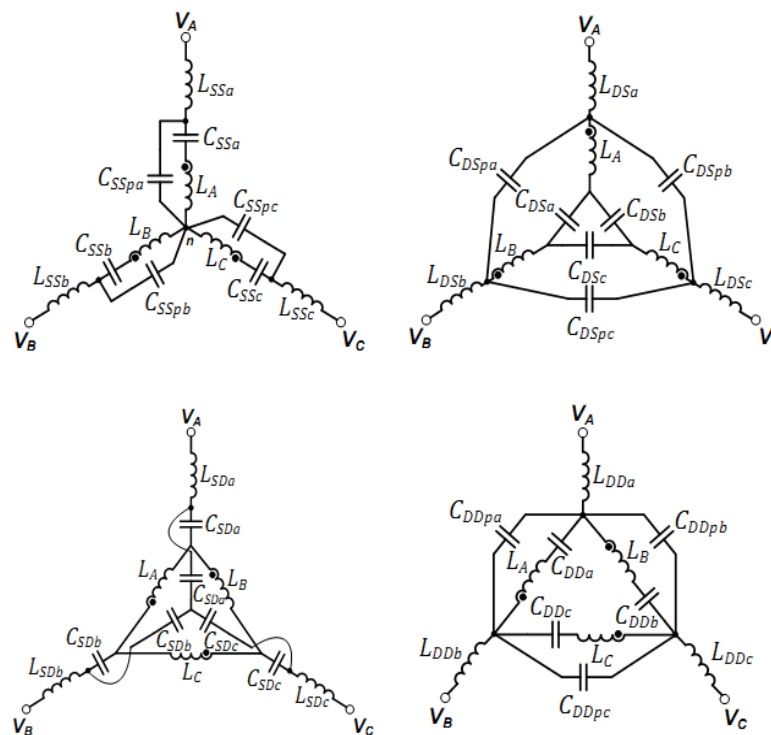
Видно, що на рисунку 2, а та г конденсатори послідовно з'єднані з

індуктивностями, єдина відмінність полягає в тому, що послідовні компенсаційні гілки з'єднані зіркою або трикутником. Якщо перетворення трикутник-зірка застосовується до контурів на рисунку 2, б та в, ці схеми також можна розглядати як частину послідовного компенсаційного контуру.

Схеми трифазних LLC компенсаційних схем наведено для трифазних з'єднань зірка та трикутник на рисунку 3.

Слід зазначити, що передаюча сторона системи може мати одну зі схем наведених на рисунках 2 та 3, сторона приймача може мати таку ж або іншу схему. Це говорить про існування 48 композицій резонансної компенсаційної схеми, при цьому вибір оптимальної композиції можна вважати інженерною задачею.

Загальна схема трифазної системи БПТ з входом та виходом постійного струму показано на рисунку 4.



а – Y-Y; б – Y-D; в – D-Y; г – D-D

Рисунок 3 – Трифазні LLC резонансні компенсаційні схеми

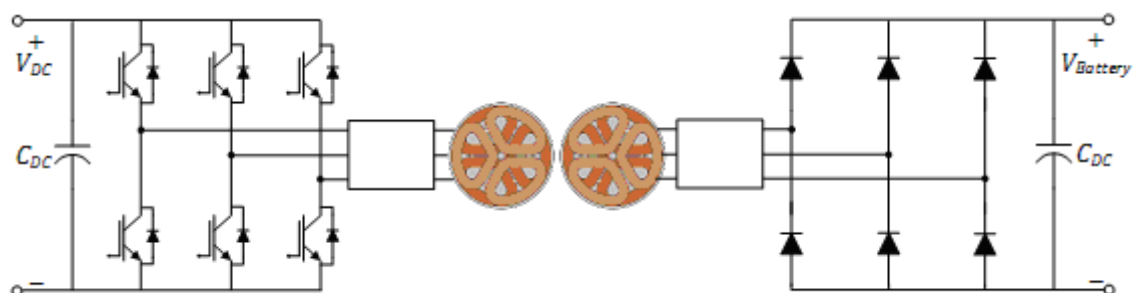


Рисунок 4 – Загальна схема трифазної системи БПТ

На схемі позначено: І – інвертор; В – випрямляч; Т – трансформатор у вигляді біполярної трифазної системи котушок; РК1 та РК2 – відповідно резонансні контури первинної та вторинної сторони БПТ.

Висновки

Використання біполярної трифазної системи котушок у бездротовій системі передачі потужності дозволяє підвищити густину магнітного потоку. Застосування трифазних резонансних компенсаційних пристроїв розширює можливості налаштування системи бездротової передачі енергії.

Наведені математичні моделі дозволяють визначити параметри компонентів електричної схеми бездротової зарядної системи на етапі проектування. Основними елементами, параметри яких визначаються при моделюванні є елементи резонансних контурів та параметрів біполярної трифазної системи індуктивних котушок.

Рекомендації щодо застосування запропонованих технічних рішень потребують уточнення в ході математичного моделювання та дослідження прототипів системи.

Література

1. Colak, Kerim & Onar, Omer & Mohammad, Mostak & Galigekere, Veda & Su, Gui-Jia & Ozpineci, Burak. (2024). Overview of High-Power Wireless Charging Systems and Analysis of Polyphase Wireless Charging System Phase Winding and Resonant Tuning Network Connection Configurations. IEEE Transactions on Transportation Electrification. PP. 1-1. 10.1109/TTE.2024.3514841.
2. Wu, Yanxia & Nie, Pengqiang & Wang, Zhenlin & Wang, Lijuan & Kawaguchi, Takahiro. (2026). A Comprehensive Review of Magnetic Coupling Mechanisms, Compensation Networks, and Control Strategies for Electric Vehicle Wireless Power Transfer Systems. Processes. 14. 287. 10.3390/pr14020287.
3. Rana, Mohammed Masud & Alam, S. M. Mahfuz & Rafi, Faiaz Allahma & Deb, Swarup Bashu & Agili, Boker & He, Miao & Ali, Mohd Hasan. (2025). Comprehensive Review on the Charging Technologies of Electric Vehicles EV and Their Impact on Power Grid. IEEE Access. PP. 10.1109/ACCESS.2025.3538663.
4. Ramadoss, Venugopal & Chandrasekar, Balaji & Ahmed, Professor & Savio a, Dominic & Rajamanickam, Narayanamoorthi & Alghamdi, Thamer A. H. (2024). Research Insights on Recent Power Converter Topologies and Control Strategies for Wireless EV Chargers: A Comprehensive Study. IEEE Open Journal of Power Electronics. PP. 1-18. 10.1109/OJPEL.2024.3474707.
5. Kumar, Jalaj & Gupta, Ritesh & Pandey, Avanish & Samanta, Suwendu & Rathore, Akshay. (2025). Design and Control Methods for Electric Vehicle Charging in Wireless Power Transfer Topologies. IEEE Journal of Industry Applications. 14. 10.1541/ieejia.24010874.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ ДРОТОВОЇ/БЕЗДРОТОВОЇ СИСТЕМИ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Електромобілі завойовують дедалі більше визнання серед користувачів завдяки економічній ефективності та екологічності. Наразі більшість електромобілів використовують дротовий заряд тягових акумуляторних батарей. Індуктивний заряд, який є альтернативною технологією, яка має вищу зручність та безпеку для користувача. Прогнозується, що найближчим часом обидва типи заряду будуть використовуватися одночасно. Отже, електромобілі повинні мати можливість використовувати обидва методи заряду. На теперішній час у літературі описано досить невелику кількість технічних рішень, які використовують обидва методи заряду у одному транспортному засобі.

Робота присвячена дослідженню комбінованої дротової/бездротової бортової зарядної системи електромобіля у її гібридному виконанні, коли одні й ті ж компоненти використовуються у різних режимах роботи. Це дозволяє зменшити кількість компонентів, що забезпечує зниження вартості бортового зарядного пристрою, зменшення його ваги та габаритів.

Пропонується комбінована зарядна система, у якій дротова та бездротова системи заряду інтегровані одна в одну. Слід зазначити, що дротовий та бездротовий режими заряду не є одночасними, режим визначається на підставі початкової ініціалізації електромобіля.

Основним елементом пропонованої комбінованої зарядної системи є система з трьох котушок індуктивності: однієї зовнішньої (K1) та двох бортових (K2, K3) (рисунок 1). У дротовому режимі заряду вбудовані котушки K2 та K3 діють як первинна та вторинна обмотки високочастотного трансформатора DC/DC перетворювача дротової системи заряду. Зовнішня котушка K1 при цьому не використовується.

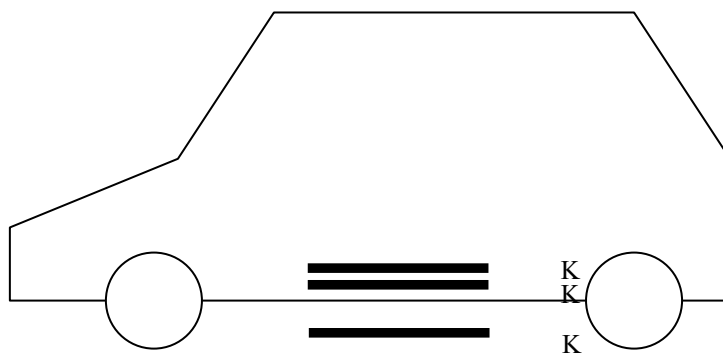


Рисунок 1 – Система індуктивних котушок комбінованої зарядної системи

У режимі бездротового заряду зовнішня котушка K1 виступає як джерело

електромагнітного поля передавальної підсистеми заряду, а бортові котушки $K2$ та $K3$ є приймачами підсистеми заряду. Тобто електромагнітні компоненти обох типів заряду (дротового та бездротового) спільні.

При цьому, планується спільне використання елементів силових електронних перетворювачів.

На рисунку 2 представлена електрична схема пропонованої системи комбінованого зарядного пристрою для електромобілів, на якій наведено лише каскад постійного струму, який сумісний як з дротовим, так і з бездротовим методами заряду.

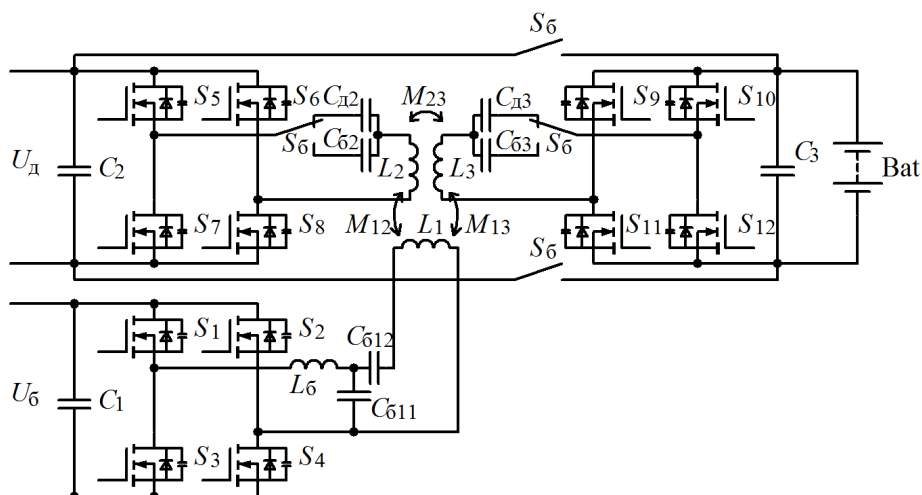


Рисунок 2 – Схема електрична комбінованої системи заряду

Бортова частина силової електроніки електромобіля включає інвертор на основі керованих напівпровідникових ключів $S_5 - S_8$, котушки високочастотного трансформатора L_2 та L_3 , конденсатори резонансного контуру $C_{д2}$ та $C_{д3}$, керований випрямляч на основі керованих напівпровідникових ключів $S_9 - S_{12}$ та конденсатори фільтрів вхідного C_2 та вихідного C_3 . Зовнішня (позабортова) частина зарядного пристрою складається з зовнішнього інвертора на основі керованих напівпровідникових ключів $S_1 - S_4$, котушки L_1 , резонансного контуру LCC (L_6 , $C_{б11}$ та $C_{б12}$) та конденсатора фільтру C_1 .

U_d та $U_б$ – вхідні напруги постійного струму для режиму дротового та бездротового заряду відповідно.

Контактор S_6 визначає режим заряду: д – дротовий, б – бездротовий. Тому, за допомогою цього контактора можлива не тільки перекомутація котушок та силових перетворювачів, а й резонансних конденсаторів $C_{д2}$, $C_{д3}$ дротової системи заряду та $C_{б2}$, $C_{б3}$ бездротової системи заряду.

На рисунку 3 наведено еквівалентну схему зарядної системи у дротовому режимі заряду, яка побудована на основі рисунку 2.

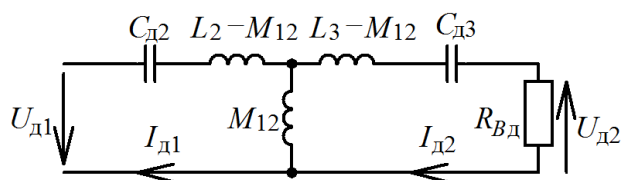


Рисунок 3 – Схема еквівалентна зарядної системи у дротовому режимі заряду

Еквівалентна схема зарядної системи у бездротовому режимі наведена на рисунку 4.

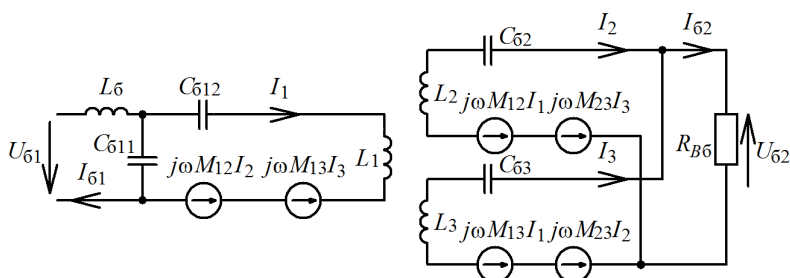


Рисунок 4 – Схема еквівалентна зарядної системи у бездротовому режимі

Висновки

Застосування запропонованої комбінованої дротової/бездротової бортової зарядної системи дозволить майбутнім власникам електромобілів використовувати як дротові так і бездротові зарядні станції. Це підвищує привабливість електромобіля порівняно з можливістю використання тільки певного типу зарядних станцій.

Наведені математичні моделі дозволяють визначити параметри компонентів електричної схеми бортової зарядної системи на етапі проектування. Основними елементами, параметри яких визначаються при моделюванні є елементи резонансних контурів перетворювача напруги постійного струму дротової системи заряду та елементи резонансних контурів індуктивної системи заряду. Також наведені математичні моделі дозволяють визначити параметри котушок індуктивності обмоток височастотного трансформатора дротової системи заряду, які у бездротовій системі відіграють роль приймача індуктивної системи заряду.

Література

1. Mahesh, Aganti & Bharatiraja, C. & MIHET-POPA, Lucian. (2021). Review on Inductive Wireless Power Transfer Charging for Electric vehicles – A Review. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3116678.
2. Naick, J & Aishwarya, M & Teja, R & Reddy, K & Yadav, Y & Veerendra, & Editor, Editor. (2025). Hybrid Integration of Onboard Charger and Wireless Power Transfer for EVs with Shared Coupler, Compensation, and Rectifier in a Grid-Connected Solar PV System for Optimized Fast Charging. International Journal for Modern Trends in Science and Technology. 11. 228-238. 10.5281/zenodo.18133859.
3. Vu, Binh & Gonzalez-Gonzalez, Jose & Pickert, Volker & Dahidah, Mohamed & Triviño, Alicia. (2020). A Hybrid Charger of Conductive and Inductive

Modes for Electric Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 68. 10.1109/TIE.2020.3042162.

4. Basu, Arka & Mukherjee, Subhajyoti. (2021). Analysis and Design of a Multiport Converter based Integrated On-board Charger for Electric Vehicle Powertrains. 1661-1668. 10.1109/ECCE47101.2021.9595435.

5. Mukherjee, Subhajyoti & Rallabandi, Vandana. (2025). Integrated Multiport Conductive and Wireless Architecture for Electric Vehicle Charging. 1-6. 10.1109/ITEC63604.2025.11098068.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Кушнарєнко Максим Євгєнович, ст. гр. АЕ-42-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
astral2057@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕІЗОЛЬОВАНОГО ДВОНАПРАВЛєНОГО ПєРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ СИСТЕМИ V2X

У зв'язку з швидким поширенням електромобілів та розвитком технологій у їх виробництві до систем їх заряду ставляться все більш суворі вимоги, однією з яких є забезпечення можливості їх роботи за технологією V2X. Основним елементом зарядної системи електромобіля є перетворювач постійного струму (DC-DC). Доступні публікації щодо досліджень схемних рішень двонаправлєних перетворювачів постійного струму залишаються відносно обмеженими. Зокрема, досліджень, що стосуються вторинно-підвищувальних та гібридних двонаправлєних перетворювачів постійного струму досить мало, що свідчить про значні можливості для подальших досліджень у цій галузі.

Серед сучасних схемних рішень неізованих двонаправлєних перетворювачів постійного струму розрізняють чотири схеми, які вважаються класичними, та чотири схеми, які відносять до новітніх. Кожна з цих схем має унікальні характеристики, які задовольняють вимоги різних галузей застосування. Однак їх практична реалізація супроводжується проблемами, пов'язаними з ефективністю, щільністю потужності, вартістю та адаптивністю.

У таблиці 1 наведено порівняння різних типів неізованих двонаправлєних перетворювачів постійного струму.

Методи керування двонаправлєних перетворювачів постійного струму:

- керування фазовим зсувом (PSC);
- розширене керування фазовим зсувом (EPSC);
- потрійне керування фазовим зсувом (TPSC);
- керування реактивною потужністю;
- модельно-прогнозуюче керування (MPC);
- керування у режимі максимального струму (PCMC);
- керування у режимі ковзання (SMC);

- перемикання при нульовій напрузі (ZVS);
- перемикання при нульовому струмі (ZCS);
- просторова векторна модуляція (SVM);
- частотна модуляція.

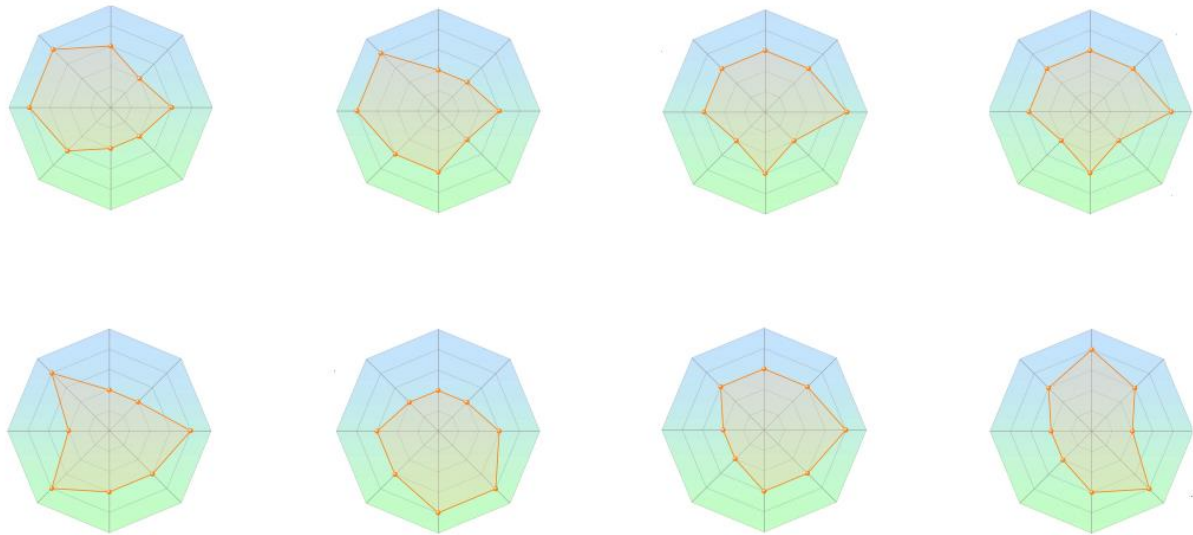
Критерії оцінки двонаправлених перетворювачів служать орієнтирами для оцінки переваг та недоліків різних схем, особливо у гібридних системах. Ці системи висувають суворі вимоги до продуктивності двонаправлених перетворювачів, причому показники оцінки охоплюють кілька аспектів, включаючи теплові характеристики, швидкість динамічної реакції, коефіцієнт перетворення напруги, пульсації вхідного струму, навантаження елементів схеми по напрузі та по струму, ефективність перетворення, щільність потужності, кількість елементів, коефіцієнт перетворення напруги та наявність спільної точки заземлення.

Таблиця 1.2 – Порівняння неізовольованих двонаправлених перетворювачів постійного струму

Схема	Коефіцієнт передачі	Індуктивності	Конденсатори	Вентилі	Особливості
Buck & Boost	$1/(1-d)$	1	2	2	Проста конструкція та експлуатація; Переривчастий вхідний струм
Buck-Boost	$-d/(1-d)$	2	2	2	Забезпечує як підвищення, так і пониження напруги; Створює інвертовану вихідну напругу
Ćuk	$-d/(1-d)$	2	3	4	Згладжує вхідний та вихідний струм; Зменшує пульсації
SEPIC/Zeta	$d/(1-d)$	2	3	2	Неінвертована вихідна напруга; Мінімізує пульсації вхідного та вихідного струму
Interleaved	$1/(1-d) \ n=2$	n	2	$2n=4$	Зменшує пульсації струму та струмове навантаження на елементи; Підходить для застосувань з високою потужністю
Three-Level	$2/(1-d)$	1	3	4	Компактна конструкція без індуктивностей; Забезпечує власне балансування напруги
Cascaded	$1/(1-d)$	1	2	4	Високий коефіцієнт посилення напруги; Зниження струмового навантаження на елементи
Switched-Capacitor	2	0	3	4	Компактний та легкий; Потребує точного керування зарядом конденсатора

Ці показники не лише відображають практичні експлуатаційні характеристики перетворювачів, але й безпосередньо впливають на стабільність, ефективність та надійність системи. На основі цих критеріїв оцінки обрано вісім найбільш впливових факторів для комплексної оцінки продуктивності різних схемних рішень у практичних застосуваннях, що визначає основу для проектування та вибору двонаправлених перетворювачів у гібридних системах. Важливо підкреслити, що переваги та недоліки різних схемних рішень є відносними – жодна схема не має найвищих значень всіх

показників оцінювання. Радарні діаграми, наведені на рисунку 1 відображають властивості восьми типів неізолюваних двонаправлених перетворювачів постійного струму за відповідними критеріями оцінки.



1 – напруга; 2 – струмове навантаження; 3 – ефективність перетворення;
 4 – щільність потужності; 5 – діапазон підсилення напруги; 6 – частота перемикавання;
 7 – кількість компонентів; 8 – наявність спільного заземлення;
 а – Buck & Boost; б – Buck-Boost; в – Ćuk; г – SEPIC/Zeta; д – Interleaved; е – Three-Level;
 ж – Cascaded; з – Switched-Capacitor

Рисунок 1 – Радарні діаграми властивостей неізолюваних двонаправлених перетворювачів постійного струму

Висновки

Проведено аналіз двонаправлених неізолюваних DC-DC-перетворювачів для систем заряду електромобілів з реалізацією технології V2X.

Проведено аналіз сучасних методів керування двонаправленими неізолюваними DC-DC-перетворювачами. Наведено перелік методів та пояснення доцільності їх застосування для різних схем перетворювачів.

Застосування наведеної інформації дозволяє окреслити основні напрямки роботи щодо проектування двонаправлених неізолюваних DC-DC-перетворювачів для систем заряду електромобілів з реалізацією технології V2X.

Література

1. Tong, Y., Salhi, I., Wang, Q., Lu, G., & Wu, S. (2025). Bidirectional DC-DC Converter Topologies for Hybrid Energy Storage Systems in Electric Vehicles: A Comprehensive Review. *Energies*, 18(9), 2312. <https://doi.org/10.3390/en18092312>.
2. Sharma, Piyush & Palwalia, Dheeraj & Sharma, Ashok. (2024). A REVIEW: BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER TOPOLOGIES. *International*

3. Farajdadian, Shahriar & Hajizadeh, Amin & Soltani, Mohsen. (2024). Recent developments of multiport DC/DC converter topologies, control strategies, and applications: A comparative review and analysis. Energy Reports. 11. 10.1016/j.egy.2023.12.054.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Лосєв Владислав Сергійович, студент гр. АЕ-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Концепція Інтернету акумуляторних батарей IoB (від англ. Internet-of-batteries (IoB)) для електромобілів нещодавно з'явилася та пропонує великий потенціал для контролю та оптимізації використання акумуляторних батарей в електромобілях. Ця концепція, яка поєднує аспекти Інтернету речей IoT (від англ. Internet of Things (IoT)) та штучного інтелекту, з найновішими досягненнями в технологіях акумуляторів та хмарних обчисленнях, може надати безліч нової інформації про стан та ефективність акумуляторних батарей електромобілів. Цю інформацію можна використовувати для покращення управління акумуляторами кількома способами, включаючи безперервний прогноз стану акумуляторів в батареї та покращене управління.

Інтернет акумуляторних батарей IoB здійснює збір даних у режимі реального часу з акумуляторів електромобілів, таких як напруга, струм та температура. Потім ці дані передаються на хмарний сервер, де використовуються передові хмарні обчислення та машинне навчання для:

- оцінки стану та аналіз фізико-технічного стану батарей, включаючи визначення рівня заряду SOC (від англ. State of Charge (SOC)), залишкової енергії SOE (від англ. State of Energy (SOE)), загального технічного стану SOH (від англ. State of Health (SOH)), доступної потужності SOAP (від англ. State of Available Power (SOAP)) тощо;

- прогнозування залишкового терміну служби RUL (від англ. Remaining Useful Life (RUL)) акумулятора та виявлення моделей деградації [1], перш ніж вони призведуть до його виходу з ладу та інша прогнозна аналітика;

- діагностики несправностей [2] акумуляторних батарей електромобілів, тому що раннє виявлення потенційних ризиків для безпеки, таких як тепловий вихор або внутрішні короткі замикання є критично важливою проблемою;

- інтелектуального управління та оптимізації протоколів заряджання та розряджання для подовження загального терміну служби та ефективності акумуляторної батареї.

У статті [3] детально розглянули базову структуру Інтернету акумуляторів IoV для електромобілів на основі багатьох існуючих досліджень. Проведено дослідження потенційних переваг цього нового підходу, такі як безперервний прогноз стану акумуляторної батареї та покращене управління акумулятором при експлуатації електричного транспортного засобу. Архітектура Інтернету акумуляторних батарей IoV зазвичай складається з трьох основних компонентів: самих систем акумуляторів електромобіля, шлюзів Інтернету речей для передачі даних та хмарної платформи для високорівневої обробки.

Архітектура Інтернету акумуляторних батарей IoV електромобілів проілюстрована на рисунку 1 [3].



Рисунок 1 – Архітектура Інтернету акумуляторних батарей електромобілів [3]

Архітектура Інтернету акумуляторних батарей електромобілів складається з трьох основних компонентів:

- системи акумуляторних батарей електромобілів, в яку інтегровані система управління батареями BMS (від англ. Battery Management System (BMS)) та бездротовий модуль зв'язку з Інтернетом;
- шлюзу Інтернету речей;
- хмарної платформи, а також двох додаткових компонентів, тобто BMS та бездротового модуля, які інтегровані в системи акумуляторів.

Під час підключення електромобіля до стаціонарної електричної мережі за допомогою технології V2G (від англ. Vehicle-to-Grid (V2G)) система керування дозволяє виконувати такі дії:

- дистанційно контролювати стан та режими роботи акумуляторної батареї через смартфон;
- налаштовувати оптимальний часовий інтервал для зарядки та розрядки акумуляторної батареї;
- відстежувати енергоспоживання та економічну вигоду;
- інтегруватися в систему «розумного дому», що підтримує постійний зв'язок із «розумними мережами» та «розумним містом» через Інтернету речей

Переваги використання Інтернету акумуляторних батарей IoV полягають у

підвищенні ефективності експлуатації акумуляторних батарей електромобілів при підключенні до зарядних станцій та електромережі. Рациональні стратегії заряджання та розряджання з урахуванням різних часових інтервалів сприяють підтримці мережі в періоди пікового навантаження, знижують витрати на електроенергію споживачів, а також добре інтегруються в екосистему «розумного будинку» та «розумного міста».

На рисунку 2 наведений приклад екосистеми «розумного міста», що використовує Інтернет акумуляторних батарей складається з автопарків електромобілів, підключених до зарядних станцій та електричної мережі за технологію V2G, до будинків за технологію V2B (від англ. Vehicle-to-Building (V2B)), до інфраструктури інтелектуальної транспортної системи розумного міста за технологію V2I (від англ. Vehicle-to-Infrastructure (V2I)) [4].

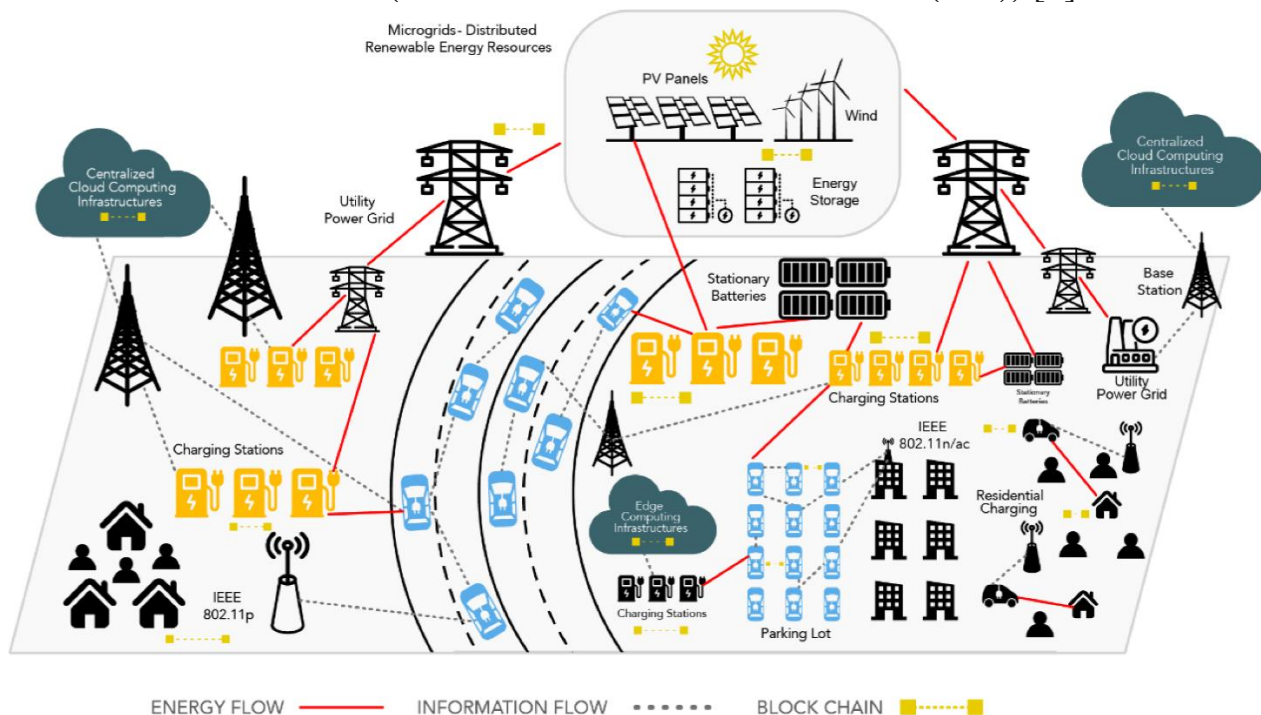


Рисунок 2 – Приклад екосистеми «розумного міста», що використовує Інтернет акумуляторних батарей [4]

Таким чином, використання Інтернету акумуляторних батарей для електромобілів пропонує багато переваг. Безперервний моніторинг стану акумуляторних батарей є однією з його ключових плюсів. Це дозволяє на ранній стадії виявляти закономірності деградації та потенційні відмови акумулятора. Такий проактивний підхід підвищує безпеку, продовжує термін служби акумулятора та покращує загальну надійність електромобіля.

Незважаючи на потенційні переваги, що пропонує Інтернет акумуляторних батарей, впровадження цієї концепції в електромобілі створює унікальний набір проблем. Однією з основних проблем є питання безпеки даних, враховуючи, що IoV передбачає обмін конфіденційною інформацією про акумуляторну батарею електромобіля. Для захисту від несанкціонованого доступу або маніпуляцій з цими даними важливим є впровадження надійних методів шифрування та безпечних протоколів зв'язку. Крім того, ще одним викликом є забезпечення

сумісності між різними системами та протоколами зв'язку, що використовуються різними виробниками акумуляторних батарей та транспортних засобів.

Використання Інтернету акумуляторних батарей в інженерії електромобілів має багато переваг. Ось деякі з них:

- покращений моніторинг стану акумулятора (температуру, струм, напруга, стан заряду). Постійний моніторинг параметрів акумулятора допомагає своєчасно виявляти проблеми;

- оптимізація управління енергією. Акумуляторні батареї електромобілів взаємодіють із системами управління енергією. Це дозволяє динамічно коригувати споживання енергії залежно від попиту;

- покращене усунення несправностей. Використання Інтернету акумуляторних батарей спрощує дистанційний моніторинг та діагностику;

- менша вага та витрати. Багато непотрібних проводів видаляється. Це допомагає знизити вагу та витрати. Виробники можуть ще більше знизити витрати та підвищити ефективність, визначивши області для покращення;

- масштабованість. Інтернет акумуляторних батарей може підтримувати інтеграцію акумуляторів різних виробників. Це дозволяє створити масштабовану та сумісну екосистему накопичення енергії. Це також спрощує інтеграцію нових технологій та розширення систем накопичення енергії за потреби;

- міжплатформний обмін даними. Різні платформи та пристрої можуть безперешкодно обмінюватися даними. Але для цього необхідні стандартні протоколи. Ця сумісність є важливою для створення комплексних енергетичних екосистем. Для досягнення цього акумулятори повинні взаємодіяти з різними пристроями та системами.

Таким чином, Інтернет акумуляторних батарей IoV дозволяє моніторити, оптимізувати та контролювати акумуляторні системи в режимі реального часу. Він постійно збирає дані про стан акумулятора, ефективність та режими використання. Він також дозволяє використовувати проактивні стратегії технічного обслуговування та оптимізації. Це може призвести до збільшення терміну служби акумулятора, підвищення енергоефективності та економії коштів на електромобілі.

Література

1. Смирнов, О., & Борисенко, А. (2025). Розробка прогностичної моделі деградації ємності літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (27), 110–122. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.27.0.1>

2. Смирнов О.П. Діагностика високовольної акумуляторної батареї електромобіля NISSAN LEAF / О.П. Смирнов, А.О. Борисенко, А.В. Марченко // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2019. – № 16. – с. 19-25. – Режим доступу: <http://veit.khadi.kharkov.ua/issue/view/11327>

3. Li, H., Bin Kaleem, M., Liu, Z., Wu, Y., Liu, W., & Huang, Z. (2023). IoB: Internet-of-Batteries for Electric Vehicles—Architectures, Opportunities, and Challenges. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2023.100128>

4. Emodi, N. V., Akuru, U. B., Dioha, M. O., Adoba, P., Kuhudzai, R. J., & Bamisile, O. (2023). The Role of Internet of Things on Electric Vehicle Charging Infrastructure and Consumer Experience. *Energies*, 16(10), 4248. <https://doi.org/10.3390/en16104248>

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

Нарижний Олег Анатолійович, студент групи АЕ-42-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Вступ

Стрімкий розвиток електромобільного транспорту є однією з найбільш характерних тенденцій сучасного етапу розвитку автомобільної галузі. Поширення електромобілів зумовлене необхідністю зниження викидів шкідливих речовин, підвищення енергоефективності транспортних засобів та переходу до більш екологічних видів транспорту. Водночас активне впровадження електромобілів ставить нові вимоги до їх технічного обслуговування, контролю стану та забезпечення надійної експлуатації. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання розвитку технічної діагностики електромобілів [1-3].

На відміну від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, електромобілі мають іншу структуру силової установки, що включає високовольтні акумуляторні батареї, тягові електродвигуни, силову електроніку, системи керування, рекуперативного гальмування та зарядну інфраструктуру. Така конструктивна специфіка обумовлює необхідність застосування нових підходів до оцінювання технічного стану транспортного засобу, виявлення несправностей та прогнозування відмов. Особливої уваги потребують діагностування стану акумуляторної батареї, контроль параметрів електричних і електронних компонентів, оцінювання працездатності систем терморегулювання та моніторинг режимів роботи тягового електроприводу [4].

Розвиток технічної діагностики електромобілів відбувається в умовах швидкого вдосконалення як самих транспортних засобів, так і цифрових технологій контролю, збору та обробки даних. У сучасних електромобілях дедалі ширше використовуються вбудовані системи самодіагностики, сенсорні мережі, телематичні засоби передавання інформації, алгоритми інтелектуального аналізу даних та елементи прогнозової діагностики. Це дає

змогу перейти від традиційного підходу, орієнтованого переважно на фіксацію вже наявних несправностей, до систем безперервного моніторингу та попереджувального виявлення деградаційних процесів [5-11].

Разом із тим розвиток технічної діагностики електромобілів супроводжується низкою проблем. До них належать відсутність уніфікованих підходів до оцінювання технічного стану окремих вузлів, складність діагностування високовольтних систем, необхідність адаптації діагностичного обладнання до нових типів транспортних засобів, а також потреба у підготовці фахівців, здатних працювати з електротехнічними, електронними та програмно-апаратними системами електромобілів. Усе це свідчить про необхідність наукового аналізу особливостей розвитку технічної діагностики електромобілів і визначення перспективних напрямів її подальшого вдосконалення.

Таким чином, дослідження особливостей розвитку технічної діагностики електромобілів є важливим як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки сприяє підвищенню надійності, безпеки та ефективності експлуатації електричного транспорту.

Загальні тенденції розвитку електромобілів

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується активним упровадженням електромобілів як альтернативи традиційним транспортним засобам з двигунами внутрішнього згоряння. Це пов'язано з необхідністю зниження шкідливих викидів в атмосферу, підвищення енергоефективності транспортних систем, зменшення залежності від викопного палива та переходу до більш екологічних видів транспорту. Електромобілі дедалі ширше використовуються як у приватному, так і в комерційному секторі, що зумовлює потребу у вдосконаленні підходів до їх експлуатації, технічного обслуговування та діагностики [4-7, 10-17].

На відміну від звичайних автомобілів, електромобілі мають іншу архітектуру силової установки, рисунок 1. Основними елементами їхньої конструкції є тяговий електродвигун, високовольтна акумуляторна батарея, інвертор, система рекуперації енергії, зарядний пристрій, електронні блоки керування та система контролю стану батареї. Робота цих вузлів тісно пов'язана з використанням електронних систем керування, датчиків, програмного забезпечення та засобів цифрового моніторингу.

Зростання кількості електромобілів обумовлює необхідність створення нових підходів до оцінювання їх технічного стану. Якщо для автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння основна увага традиційно приділялася механічним несправностям двигуна, системи живлення, запалювання або вихлопу, то для електромобілів важливими стають контроль параметрів батареї, стану електронних систем, якості електричних з'єднань, роботи силової електроніки та програмних модулів керування.

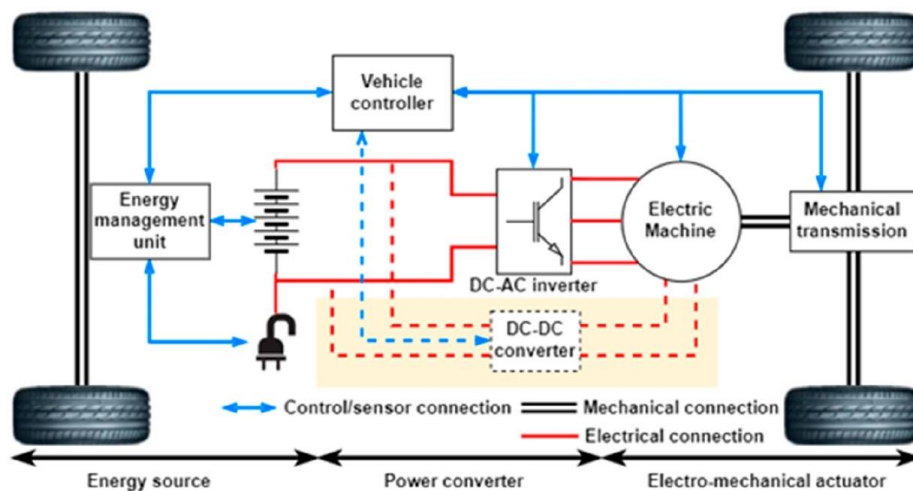


Рисунок.1 – Архітектура силової установки EV

Саме тому технічна діагностика електромобілів є одним із ключових напрямів розвитку сучасного автомобільного сервісу. Вона дозволяє не лише виявляти несправності, а й запобігати їх виникненню, прогнозувати ресурс основних вузлів і забезпечувати безпечну та ефективну експлуатацію транспортного засобу

Поняття та значення технічної діагностики електромобілів

Технічна діагностика є сукупністю методів, засобів і процедур, спрямованих на визначення технічного стану об'єкта без його повного розбирання, а також на виявлення несправностей, відхилень від норми та оцінку працездатності окремих систем. У випадку електромобілів технічна діагностика набуває особливого значення через складність їхньої електронної та електротехнічної структури.

Діагностика електромобіля виконує кілька важливих функцій. По-перше, вона дозволяє оперативно виявити несправності в роботі високовольтної батареї, електродвигуна, силових перетворювачів і систем допоміжного живлення. По-друге, вона забезпечує контроль за роботою електронних блоків керування, які координують функціонування майже всіх основних систем транспортного засобу, рис. 2. По-третє, діагностика дозволяє визначати тенденції зміни параметрів та здійснювати профілактичне обслуговування до моменту виникнення серйозної відмови.

Особливість технічної діагностики електромобілів полягає в тому, що багато процесів у них неможливо оцінити лише візуально або за зовнішніми ознаками. Значна частина важливої інформації доступна лише через електронні інтерфейси та спеціалізовані програмні засоби. Саме тому цифрові сканери, діагностичні адаптери та програмне забезпечення стали невід'ємною частиною сучасного технічного контролю електромобілів [8-12].

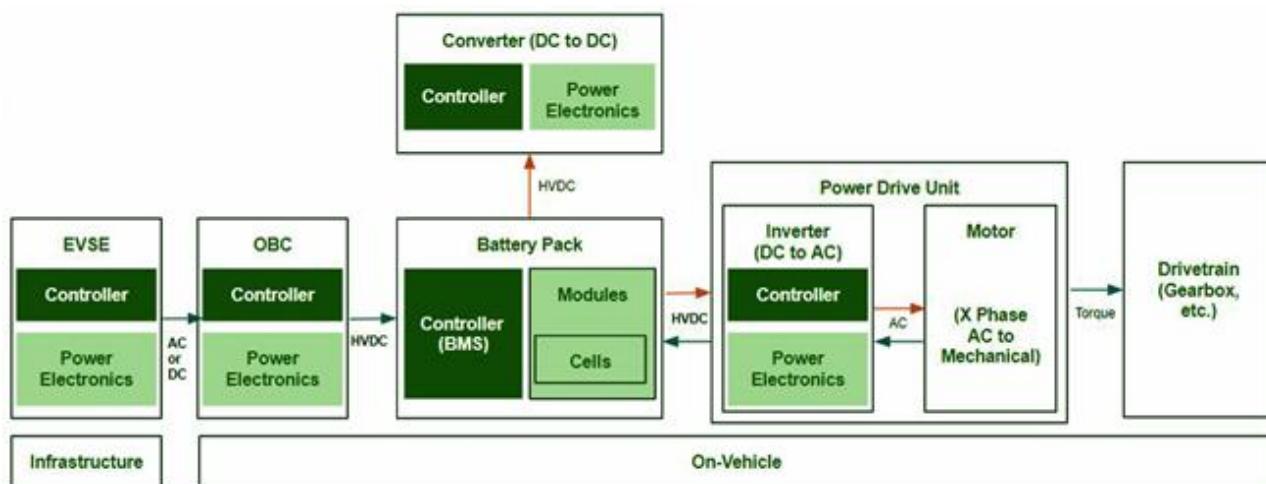


Рисунок 2 – Електронні блоки керування при діагностики EV

Крім того, своєчасна діагностика безпосередньо впливає на безпеку. Виявлення перегріву батареї, порушення балансу комірок, відхилень у параметрах заряджання або помилок у роботі електронних блоків дає змогу уникнути аварійних режимів, погіршення технічного стану та зниження експлуатаційних характеристик транспортного засобу, рис. 3.

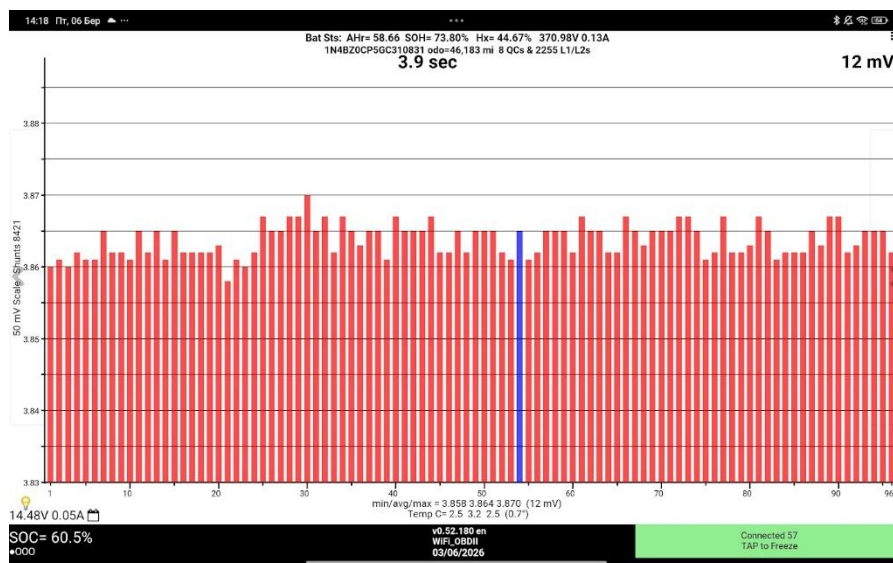


Рисунок 3 – Діагностика комірок високовольтної батареї електромобіля Nissan Leaf

Основні об'єкти діагностики в електромобілях

На відміну від традиційних автомобілів, в електромобілях основними об'єктами технічної діагностики є електротехнічні, електронні та програмно-керовані системи. Кожна з них має свої особливості та потребує окремого підходу до контролю [18-24].

Одним із головних об'єктів діагностики є високовольтна акумуляторна батарея. Саме вона визначає запас ходу електромобіля, його енергоефективність та стабільність роботи. Під час діагностики батареї оцінюють рівень заряду, напругу окремих елементів, температуру, внутрішній

опір, ступінь деградації та стан балансування комірок. Будь-які відхилення цих параметрів можуть свідчити про зниження ресурсу батареї або виникнення потенційно небезпечних режимів роботи.

Наступним важливим об'єктом є тяговий електродвигун. Під час його діагностики контролюють режими навантаження, частоту обертання, температуру, електричні параметри, а також коректність взаємодії з інвертором та системою керування. Важливе значення має і діагностика силової електроніки, зокрема інверторів та перетворювачів, які забезпечують передачу й перетворення електричної енергії.

Окремої уваги потребує система керування батареєю (BMS), яка здійснює контроль заряду, температури, напруги елементів, балансування та захист від небезпечних режимів, рис. 4. Несправності в цій системі можуть призвести до некоректної роботи всієї високовольтної системи.

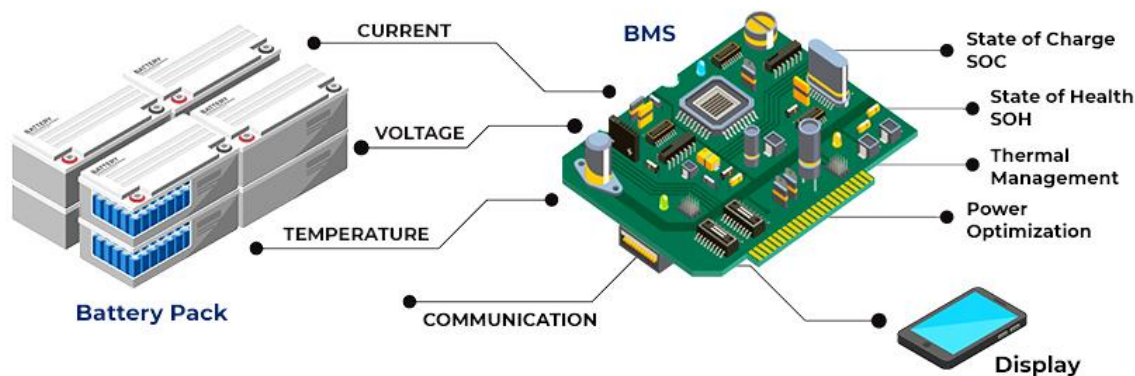


Рисунок 4 – Система керування акумуляторами (BMS) для EV

Також важливими об'єктами діагностики є:

- система заряджання;
- електронні блоки керування;
- система рекуперації енергії;
- низьковольтна бортова мережа;
- датчики температури, струму, напруги та положення;
- системи безпеки та допоміжні системи автомобіля.

Усі ці вузли працюють як єдиний комплекс, тому ефективна діагностика електромобіля повинна враховувати не лише стан окремих елементів, а й взаємозв'язки між ними.

Етапи розвитку технічної діагностики транспортних засобів

Розвиток технічної діагностики транспортних засобів пройшов кілька послідовних етапів. На початковому етапі оцінювання технічного стану автомобілів базувалося переважно на зовнішніх ознаках несправностей, досвіді механіка, слуховому та візуальному контролю. Такий підхід був характерний для автомобілів з відносно простою конструкцією, де більшість несправностей мали механічний характер [25-27].

Подальший розвиток автомобільної техніки, поява електронних систем керування, датчиків і мікропроцесорних блоків призвели до переходу від традиційних методів контролю до інструментальної діагностики. З'явилися спеціалізовані тестери, осцилографи, сканери та інші прилади, що дозволяли зчитувати сигнали й коди несправностей.

Важливим етапом став розвиток бортової діагностики. Впровадження стандартів OBD та OBD2 створило можливість отримувати доступ до параметрів роботи основних систем через уніфікований діагностичний роз'єм, рис. 5. Це значно спростило процедуру пошуку несправностей і дало змогу автоматизувати частину діагностичних операцій.

У випадку електромобілів розвиток технічної діагностики вийшов на новий рівень. Основна увага змістилася з механічних вузлів на електронно-керовані системи. Діагностика стала більш цифровою, багаторівневою та програмно орієнтованою. Сучасні електромобілі генерують значну кількість даних про свій технічний стан, що відкриває можливість для моніторингу в реальному часі, прогнозування відмов і побудови інтелектуальних систем обслуговування.

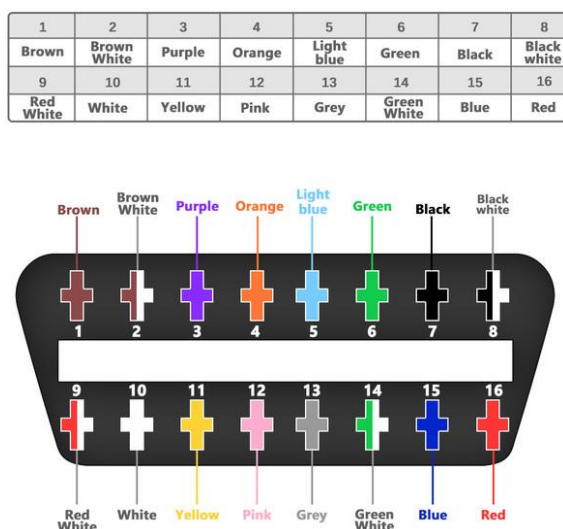


Рисунок 5 – Схема розпіновки OBD2 роз'єм 16 pin

Сьогодні технічна діагностика електромобілів розвивається у напрямі інтеграції мобільних застосунків, бездротових адаптерів, хмарних сервісів та систем аналітики. Це робить процес контролю більш доступним, оперативним і зручним як для професійних сервісних центрів, так і для користувачів транспортних засобів [29].

Сучасні засоби діагностики електромобілів

Сучасні засоби діагностики електромобілів можна умовно поділити на кілька груп: стаціонарні сервісні комплекси, портативні діагностичні пристрої, універсальні OBD2-адаптери, спеціалізоване програмне забезпечення та мобільні застосунки.

Стационарні сервісні системи використовуються переважно на спеціалізованих станціях технічного обслуговування. Вони мають широкий набір функцій, високий рівень точності та доступ до розширених параметрів автомобіля. Однак такі комплекси є дорогими та потребують спеціальної підготовки персоналу.

Більш доступним рішенням є використання ELM327/ELM OBD2-сканерів (рис. 6), які підключаються до діагностичного роз'єму автомобіля та передають дані на смартфон, планшет або комп'ютер. У поєднанні з відповідним програмним забезпеченням такі адаптери дозволяють отримувати інформацію про помилки, параметри роботи систем та інші дані, доступні через бортову діагностику [29].



Рисунок 6 – ELM327/ELM OBD2-сканер

Серед програмних рішень важливе місце займає застосунок Car Scanner ELM OBD2, який забезпечує зчитування кодів несправностей, перегляд поточних параметрів у реальному часі, побудову графіків, збереження історії поїздок та оцінювання окремих показників роботи транспортного засобу. Для навчальних, дослідницьких і практичних цілей це є зручним інструментом, що поєднує простоту використання з достатньо широкими функціональними можливостями.

Разом із перевагами універсальні засоби діагностики мають і певні обмеження. Не всі параметри електромобіля можуть бути доступними через стандартний OBD2-інтерфейс, а набір зчитуваних даних часто залежить від марки, моделі та програмної реалізації електронних систем автомобіля. Тому результати діагностики за допомогою універсальних сканерів потребують правильного тлумачення та, за потреби, доповнення іншими методами контролю.

Використанням OBD2-сканерів в процесі діагностики електромобілів

Застосування OBD2-сканерів у діагностиці електромобілів має свої специфічні особливості. Основною перевагою такого підходу є можливість

швидкого підключення до електронної системи автомобіля та отримання інформації без демонтажу вузлів. Це дозволяє значно скоротити час перевірки та підвищити ефективність виявлення несправностей.

За допомогою OBD2-сканера можна отримати доступ до кодів помилок, поточних параметрів датчиків, напруги, температури, стану заряджання, інформації про допоміжні системи та інших технічних характеристик, рис. 7.

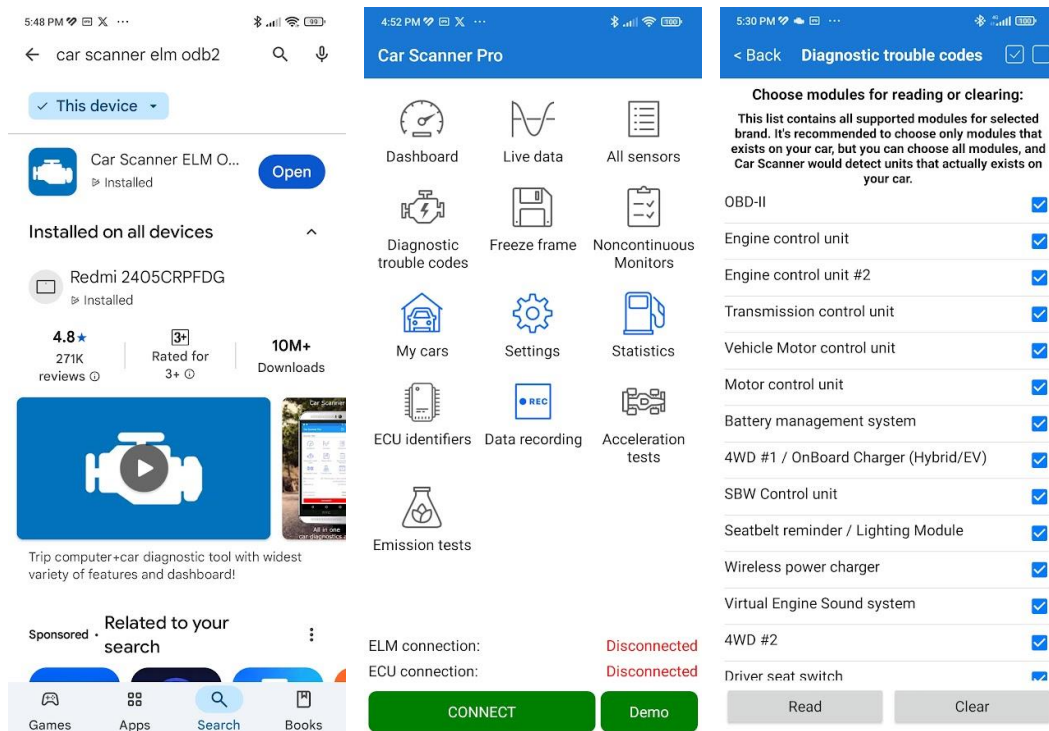


Рисунок 7 – Застосунок Car Scanner ELM OBD2

Для електромобілів особливо цінними є дані про стан батареї, роботу електроприводу, зарядний процес і функціонування систем контролю [22-26].

Проте діагностика електромобілів через OBD2 має й певні обмеження. Частина виробників обмежує доступ до окремих параметрів, або ж реалізує власні протоколи обміну даними. Це означає, що універсальний сканер може надати лише частину інформації. Крім того, сама наявність числових параметрів ще не гарантує правильної оцінки стану системи – необхідно вміти аналізувати дані, порівнювати їх із нормативними значеннями та враховувати умови експлуатації.

Ще однією особливістю є підвищені вимоги до безпеки. Оскільки електромобілі мають високовольтні системи, будь-які діагностичні процедури повинні виконуватися з дотриманням відповідних правил безпеки. Навіть якщо використовується лише програмне зчитування даних, фахівець повинен розуміти структуру системи й потенційні ризики при роботі з електромобілем.

Таким чином, OBD2-діагностика є перспективним і зручним способом первинного контролю технічного стану електромобілів, але її ефективність значною мірою залежить від правильного вибору засобів діагностики, рівня підготовки користувача та особливостей конкретного транспортного засобу.

Висновки

Розглянуто особливості розвитку технічної діагностики електромобілів. Встановлено, що поширення електромобілів зумовлює необхідність удосконалення підходів до технічного контролю, оскільки їх конструкція суттєво відрізняється від конструкції традиційних автомобілів і містить значну кількість електронних та електротехнічних систем.

Показано, що технічна діагностика електромобілів має важливе значення для забезпечення надійності, безпеки та ефективності їх експлуатації. Основними об'єктами діагностики є високовольтна батарея, електродвигун, система керування батареєю, силова електроніка, система заряджання та електронні блоки керування.

Визначено, що сучасний розвиток діагностики пов'язаний із широким використанням цифрових технологій, бортових систем контролю, універсальних OBD2-сканерів і спеціалізованого програмного забезпечення. Особливу увагу приділено можливостям застосування сканерів типу ELM OBD2 та програмного засобу Car Scanner для отримання діагностичної інформації про стан електромобіля.

Отже, технічна діагностика електромобілів є важливим напрямом сучасної автомобільної галузі, а використання доступних цифрових інструментів створює передумови для підвищення якості контролю технічного стану транспортних засобів та розвитку сучасних методів обслуговування

Література

1. Гнатов А. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 2 / А. В. Гнатов, І. В. Аргун // - Харків : Вісник ХНАДУ. – 2017. – № 78. – С. 116–124.
2. Гнатов А. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 1 / А. В. Гнатов, І. В. Аргун // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - Харьков : ХНАДУ, 2017. – №. 77. – С. 68–74.
3. Гнатов, А. В. Енергозберігаючі технології на транспорті : конспект лекцій [Електронний ресурс] / А. В. Гнатов, І. В. Аргун ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. - Харків, 2021. - 142 с.
4. Гнатов, А., Аргун, І., Ульянець, О., & Іванов, В. (2025). Особливості діагностики Hyundai Kona electric з використання мультимарочного сканеру LAUNCH X-431 PRO 3S. Автомобільний транспорт, (57), 11-22.
5. Kuņicina, N., Zabašta, A., Romānovs, A., Pečerska, J., Ribickis, L., Hnatov, A., Shchasiana, A., Dziubenko, O., Rudenko, N., Borodenko, Y., Danylenko, K., Morkun, N., Zavsiehdashnia, I., Sistuk, V., Monastyrskyi, Y., Ruban, S., Tron, V., Peuteman, J.: підручник/ Cyber-Physical Systems for Clean Transportation. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 366 p. ISBN 978-9934-22-676-2.
6. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / [А.В. Гнатов, І.В. Аргун, І.С. Трунова]. – Х.: ХНАДУ, 2016 – 292 с.
7. Гнатов, А. В. Теорія електроприводу : конспект лекцій [Електронний ресурс] / А. В. Гнатов ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. -

- Харків, 2020. - 144 с. Ч. 1 : Механічні характеристики електропривода постійного та змінного струму.
8. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Гнатова Г. А., Сохін П. А. Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 21. – С. 22-30.
 9. Arhun, S., Borodenko, Y., Hnatov, A., Popova, A., Hnatova, H., Kunicina, N., ... & Ribickis, L. (2020). Choice of parameters for the electrodrive diagnostic system of hybrid vehicle traction. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 57(4), 3-11.
 10. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Ponikarovska, S., Hnatova, H., & Novichonok, S. (2020). Determining the Quality of Electric Motors by Vibro-Diagnostic Characteristics. *EAI Endorsed Trans. Energy Web*, 7(29), e6.
 11. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Hnatova, H., & Ulyanets, O. (2020). System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. *EAI Endorsed Transactions on the Energy Web*, 7(26).
 12. Zabasta, A., Peuteman, J., Kunicina, N., Kazymyr, V., Hvesenya, S., Hnatov, A., ... & Ribickis, L. (2020). Research on cross-domain study curricula in cyber-physical systems: A case study of Belarusian and Ukrainian Universities. *Education Sciences*, 10(10), 282.
 13. Patlins, A., Hnatov, A., Kunicina, N., Arhun, S., Zabasta, A., & Ribickis, L. (2018, July). Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy. In *2018 Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)* (pp. 1-2). IEEE.
 14. Arhun, S., Hnatov, A., Hnatova, H., Patlins, A., & Kunicina, N. (2020, November). Problems that have arisen in universities in connection with COVID-19 on the example of the Double Degree Master's Program "Electric Vehicles and Energy-Saving Technologies". In *2020 IEEE 61th international scientific conference on power and electrical engineering of Riga Technical university (RTUCON)* (pp. 1-6). IEEE.
 15. Аргун Щ.В. Екологічний та енергоефективний атомобільний транспорті його інфраструктура / Щ. В. Аргун, А. В. Гнатов, О.А. Ульянец // Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2016. № 2 (77). С. 18–27.
 16. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., & Saraiev, O. (2022, May). Features of converting a car with an internal combustion engine into an electric car. In *2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON)* (pp. 1-6). IEEE.
 17. Borodenko, Y., Ribickis, L., Zabasta, A., Arhun, S., Kunicina, N., Zhiravetska, A., ... & Kunicins, K. (2020). Using the method of the spectral analysis in diagnostics of electrical process of propulsion systems power supply in electric car. *Przeglad Elektrotechniczny*, 96(10), 47-50.
 18. Гнатов А. В. Електромобілі – майбутнє, яке вже настало / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, О. А. Ульянець // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 11. – С. 24-28.

19. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Patlins, A. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink //2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). – IEEE, 2019. – С. 1-6.
20. Trunova, I., Arhun, S., Hnatov, A., Apse-Apsitis, P., Kunicina, N., & Myhal, V. (2023). Sustainable approach development for education of electrical engineers in Long-Term online education conditions. *Sustainability*, 15(18), 13289.
21. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53). P.37-50.
22. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S. Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways. In: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, Lithuania, Trakai, 3-5 October, 2018. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2018, pp.574-579.
23. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Автомобільний транспорт*, Вип. 49, 2021, С. 71-78.
24. Мигаль, В. Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. 72–80.
25. Gnatov, A., Argun, S., & Ulyanets, O. (2017, May). Joint innovative double degree master program «Energy-saving technologies in transport». In *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 1203-1207). IEEE.
26. Gnatov, A., Argun, S., & Rudenko, N. (2017, May). Smart road as a complex system of electric power generation. In *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 457-461). IEEE.
27. Hnatov, A., Patlins, A., Arhun, S., Kunicina, N., Hnatova, H., Ulyanets, O., & Romanovs, A. (2020, September). Development of an unified energy-efficient system for urban transport. In *2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)* (pp. 248-253). IEEE.
28. Migal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., & Ponikarovska, S. (2019). Substantiating the criteria for assessing the quality of asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 36(10), 989-999.
29. Hnatov, A., Arhun, S., Ulyanets, O., & Ponikarovska, S. (2018, April). Ultracapacitors electrobus for urban transport. In *2018 IEEE 38th international conference on electronics and nanotechnology (ELNANO)* (pp. 539-543). IEEE.
30. Leontiev D., Klymenko V., Frolov A. (2025). Regarding the efficiency of using solar panels of low power to obtain maximum charging current for batteries vehicle. *AIP Conf. Proc.* 3238 (1): 050009. <https://doi.org/10.1063/5.0248928>
31. Дзюбенко, О. А., Двадненко, В. Я., Леонтьєв, Д. М., & Михалевич, М. Г. (2025). *Спосіб реалізації технології м'якого гібриду на колісному транспортному засобі* (Патент України № 158154, МПК В60W 10/20). Український інститут інтелектуальної власності.

Науковий консультант: Улянець О.А., ас. каф. Автомобільної електроніки.

ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У сучасну епоху, завдяки технологічній революції в галузі Інтернету речей IoT (Internet of Things (IoT)) та штучного інтелекту, спостерігається швидке та масове зростання та інтенсивне впровадження нових інформаційних технологій в різних сферах життя. Це сприяло виникненню такої галузі як Інтернет транспортних засобів IoV (Internet of Vehicles (IoV)).

Інтернет транспортних засобів IoV – це нова технологія, метою якої є об'єднання транспортних засобів, інфраструктури та інших пристроїв для забезпечення роботи інтелектуальних транспортних систем ITS (Intelligent Transport Systems (ITS)). Одним з ключових завдань Інтернету транспортних засобів IoV є підвищення енергоефективності транспортних засобів, в тому числі електромобілів, та безпеки дорожнього руху за рахунок впровадження безпечного та ефективного зв'язку між транспортними засобами різних типів, дорожнього середовища та можливостей ефективного керування всіма транспортними процесами.

В Інтернеті транспортних засобів IoV бортові електронні пристрої OBU (on-board units (OBU)), встановлені в транспортних засобах, відіграють вирішальну роль в обміні інформації з придорожніми блоками RSU (roadside units (RSU)), розташованими по обидва боки дороги. Придорожні блоки RSU можуть передавати зібрані повідомлення транспортним засобам, що проїжджають повз, для надання інформації про дорожній рух у режимі реального часу. Цей обмін інформацією дозволяє транспортним засобам оперативно виявляти дорожні ситуації та вживати необхідних заходів.

Інтернет транспортних засобів складається з трьох взаємозв'язаних рівнів:

- рівень транспортних засобів та інших учасників дорожнього руху, наприклад, пішоходів;
- рівень дорожнього обладнання, що складається з придорожніх блоків RSU, інтелектуальних світлофорів та іншого оснащення;
- рівень хмарного сервера CS (cloud server (CS)), який відповідає наприклад, за автентифікацію транспортних засобів, проводить швидкі розрахунки щодо дорожньої ситуації [1].

Інтернет транспортних засобів IoV стосується моделей, які ініціюють зв'язок між інтелектуальними транспортними засобами та іншими об'єктами, використовуючи наступні зв'язки:

- «транспортний засіб до всього» V2X (Vehicle-to-Everything (V2X)) ;
- «транспортний засіб-транспортний засіб» V2V (Vehicle-to-Vehicle (V2V));
- «транспортний засіб-дорожнє обладнання» V2R (Vehicle-to-Road (V2R));
- «транспортний засіб-інфраструктура» V2I (Vehicle-to-Infrastructure (V2I));
- «транспортний засіб-датчик» V2S (Vehicle-to-Sensor (V2S));
- «транспортний засіб-пішохід» V2P (Vehicle to Pedestrian (V2P)).

Окремо для електромобілів у Інтернеті транспортних засобів IoV існують наступні технології:

- «транспортний засіб-будинок» V2B (Vehicle-to-Building (V2B));
- «транспортний засіб-електрична мережа» V2G (Vehicle-to-Grid (V2G));
- «транспортний засіб-дім» V2H (Vehicle-to-Home (V2H));
- «транспортний засіб -пристрій» V2D (Vehicle-to-Device (V2D)) [1-5].

В теперішній час впровадження Інтернету транспортних засобів IoV стикається з кількома критичними викликами, які необхідно вирішити для забезпечення безпеки дорожнього руху, цілісності даних та надійності цієї технології у майбутньому. Такі проблеми варіюються від технічних до юридичних обмежень.

Основні проблеми при впровадженні Інтернету транспортних засобів IoV стосуються безпеки та конфіденційності:

- безпека є найбільшою перешкодою, оскільки скомпрометовані системи можуть призвести до смертельних аварій;

- злом та віддалене захоплення даних. Неавторизовані користувачі можуть отримати контроль над цифровими системами транспортного засобу, потенційно маніпулюючи системою гальмування, швидкістю двигуна або функціями системи безпеки;

- маніпулювання даними та неправдива інформація. Зловмисники можуть поширювати оманливу інформацію про дорожній рух, таку як фальшиві дорожньо-транспортні пригоди або небезпеки на дорогах, що призводить до заторів або небезпечних маневрів;

- крадіжка особистих даних та конфіденційності. Збір величезних обсягів даних про переміщення транспортного засобу може призвести до відстеження особи та місцезнаходження користувача, що порушує конфіденційність особистого життя;

- кібератаки Sybil та Replay. Кібератаки Sybil зосереджені на маніпуляції з інформаційними даними в мережі шляхом підробки кількох ідентифікаційних даних, тоді як кібератаки Replay (повторного відтворення) передбачають захоплення та повторне надсилання легітимних даних для обману системи. Зловмисні вузли можуть використовувати підроблені ідентифікаційні дані для заповнення мережі повідомленнями або повторно використовувати старі, недійсні дані для обману інших транспортних засобів. Наприклад, у таких середовищах, як автомобільна спеціальна мережа VANET (з англ. Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)), один транспортний засіб може транслювати інформацію як десятки автомобілів-«привидів», створюючи затор, та змушуючи інші транспортні засоби, що прямують за ним, повертати зі свого напрямку слідування та об'їжджати неіснуючий затор.

На рисунку 1 продемонстровано подібний сценарій кібератаки Sybil в автомобільній спеціальній мережі VANET у якому автомобілі «бачать» затор на дорозі та звертають наліво для його об'їзду, який розглянутий у дослідженні [4]. Зменшення кіберзагроз у системі зв'язку Інтернету транспортних засобів за допомогою надійної кластеризації та маршрутизації наведено у статті [5].

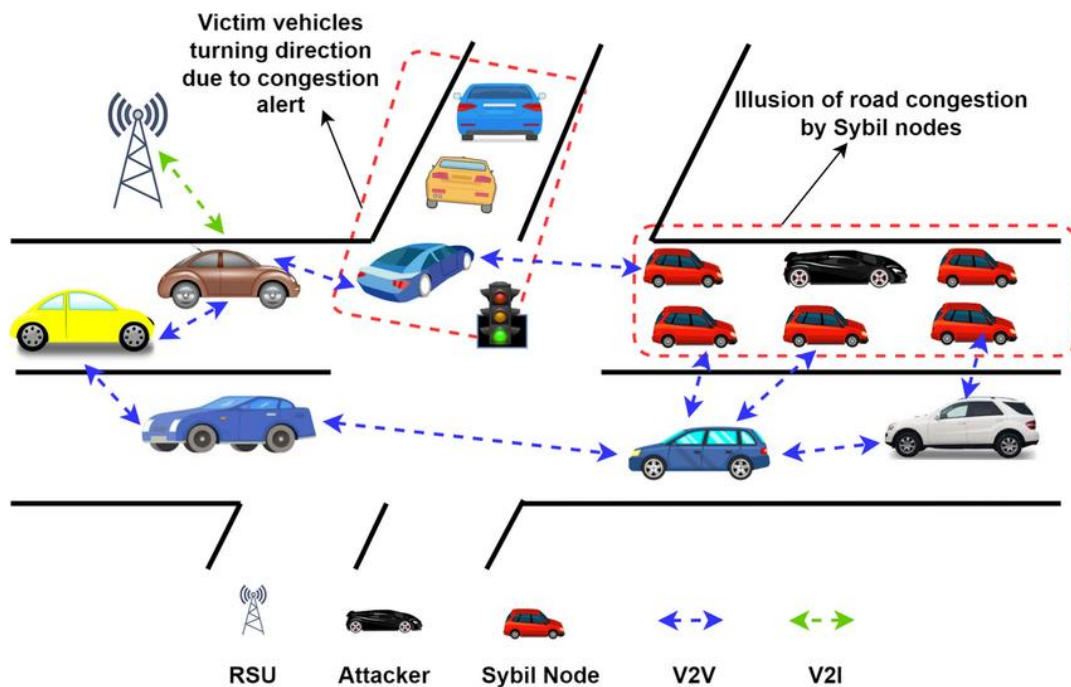


Рисунок 1 – Сценарій кібератаки Sybil у VANET [4]

Проблеми при впровадженні Інтернет транспортних засобів IoV стосуються також зв'язку транспортних засобів з мережею та надійним підключенням до неї. Динамічний характер рухомих транспортних засобів створює унікальні технічні перешкоди для стабільного зв'язку:

- висока мобільність та нестабільне з'єднання. Транспортні засоби, що швидко рухаються, часто в'їжджають та виїжджають із зони дії придорожніх пристроїв, що призводить до періодичних відключень від мережі;
- блокування сигналу. Фізичні перешкоди, такі як висотні будівлі, мости та дерева в міському середовищі, можуть порушувати бездротове з'єднання між транспортними засобами;
- інформаційні витрати. У високощільному трафіку величезний обсяг даних, що передаються, може перевантажити мережу, що призведе до затримок передачі;
- вимоги до затримки. Багато застосувань безпеки вимагають надзвичайно низької затримки (мінімальної затримки) для ефективності. Навіть кілька мс затримки можуть перешкодити своєчасному попередженню про зіткнення.

Широкомасштабному впровадженню Інтернету транспортних засобів IoV ускладнює відсутність єдиної глобальної системи та проблеми, що охоплюють питання технічної реалізації відповідної інфраструктури:

- відсутність взаємодії між різними виробниками, які використовують різні протоколи зв'язку та апаратне забезпечення, що ускладнює безперебійне «спілкування» автомобілів різних марок;
- впровадження IoV вимагає значних інвестицій у розумну придорожню інфраструктуру, таку як придорожні блоки RSU та покриття 5G/6G, встановлення яких є дорогим та трудомістким;
- обробка «великих даних», що генеруються безліччями підключених датчиків, вимагає високоефективної обробки та зберігання, що наразі створює

навантаження на традиційні хмарні архітектури.

Нетехнічні проблеми, які пов'язані з правовими та соціальними засадами також перешкоджають та уповільнюють впровадження технології IoV:

- нормативна та правова складність, наприклад, визначення того, хто несе відповідальність у ДТП за участю підключеного або автономного транспортного засобу — водія, виробника чи розробника програмного забезпечення — залишається серйозною юридичною проблемою;

- етичні дилеми, що пов'язані з розробкою програмного забезпечення для вирішення етичних сценаріїв в аварійних ситуаціях, в яких автоматичної системи курування транспортним засобом доведеться вибирати між двома (або більше) неминучими негативними наслідками аварії;

Таким чином, в сучасних умовах в реальному світі Інтернет транспортних засобів IoV стикається зі значними проблемами, пов'язаними з неоднорідністю транспортних засобів та ризиками зіткнень, які разом впливають на безпеку та ефективність. Ризики зіткнень виникають через непослідовний зв'язок, високу швидкість, змінену поведінку людини, проблеми затримки та проблеми безпеки, що створюють такі загрози, як підвищений ризик аварій та порушення руху транспорту.

Література

5. Wu, T.-Y., Wu, H., Tang, M., Kumari, S., & Chen, C.-M. (2025). CD-AKA-IoV: A Provably Secure Cross-Domain Authentication and Key Agreement Protocol for Internet of Vehicle. *Computers, Materials & Continua*, 1–10. <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.065560>
6. Adnan, I., Umer, T., Arsalan, A., Al Dabel, M. M., Bashir, A. K., & Ansif, A. (2025). Data driven vehicular heterogeneity based intelligent collision avoidance system for Internet of Vehicles (IoV). *Digital Communications and Networks*. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2025.03.010>
7. Mishra, P., & Singh, G. (2025). Internet of Vehicles for Sustainable Smart Cities: Opportunities, Issues, and Challenges. *Smart Cities*, 8(3), 93. <https://doi.org/10.3390/smartcities8030093>
8. Sultana, R., Grover, J., Tripathi, M., Sachdev, M. S., & Taneja, S. (2024). Detecting Sybil Attacks in VANET: Exploring Feature Diversity and Deep Learning Algorithms with Insights into Sybil Node Associations. *Journal of Network and Systems Management*, 32(3). <https://doi.org/10.1007/s10922-024-09827-7>
9. Kadam, M. V., Mahajan, H. B., Uke, N. J., & Futane, P. R. (2023). Cybersecurity Threats Mitigation in Internet of Vehicles Communication System using Reliable Clustering and Routing. *Microprocessors and Microsystems*, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104926>

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ АКУМУЛЯТОРАМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

У системах управління акумуляторами (англ. Battery Management Systems, BMS), що застосовуються в технологіях електромобілів, інтеграція штучного інтелекту (ШІ) постає як революційне рішення, яке значно підвищує ефективність, забезпечує більшу безпеку та сприяє досягненню принципів сталого розвитку. Система BMS є складним електронним комплексом, призначеним для моніторингу стану акумуляторної батареї автомобіля. Вона виконує низку критично важливих завдань, включно з відстеженням параметрів батареї, обчисленням поточних даних, передаванням інформації, захистом батареї від небажаних впливів середовища, управлінням термічними умовами її роботи та забезпеченням балансування окремих елементів акумуляторної батареї, як наведено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Основні функції системи управління акумуляторами BMS електромобілів

Система управління акумуляторами BMS відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності, безпеки та довговічності акумуляторного блоку електромобілів. Її основні функціональні аспекти включають:

- моніторинг і вимірювання. BMS виконує постійний моніторинг критично важливих параметрів, таких як напруга, струм та температура, щоб запобігти потенційним відхиленням, які можуть вплинути на безпеку чи стан батареї;

- управління енергетичними ресурсами. Система здійснює процес балансування зарядженості окремих елементів акумулятора (з використанням активного чи пасивного підходу) [1], що дозволяє рівномірно розподіляти заряд. Це сприяє максимізації робочої ємності елемента живлення та збільшенню його експлуатаційного ресурсу;

- оцінювання технічного стану. Однією з ключових функцій BMS є визначення основних показників стану батареї, таких як рівень залишкового заряду (англ. State of Charge, SOC), стан працездатності (англ. State of Health, SOH), стан енергоємності (англ. State of Energy, SOE), доступна потужність (англ. State of Available Power, SOAP) та залишковий термін експлуатації (англ.

Remaining Useful Life, RUL). Це забезпечує користувача актуальною інформацією про загальний стан акумулятора;

- забезпечення безпеки та управління несправностями. BMS захищає батарею від потенційно небезпечних умов, серед яких надмірний заряд або розряд, перевищення допустимих температур чи короткі замикання. Таким чином, вона запобігає перезавантаженню системи та мінімізує ризики виходу акумулятора з ладу⁴;

- інформаційне забезпечення. Система здатна організувати обмін даними між компонентами за допомогою провідної або бездротової комунікації. Це дозволяє здійснювати ефективний моніторинг та контроль за усіма складовими акумуляторного комплексу.

У рамках дослідження було здійснено огляд сучасних методів штучного інтелекту, які розробляються та адаптуються спеціально для оптимізації роботи систем управління акумуляторами в умовах використання їх в електромобілях. Візуалізований матеріал цього аналізу представлено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Огляд методів штучного інтелекту, які розробляються спеціально для систем управління акумуляторами електромобілів

Штучний інтелект, машинне навчання та глибоке навчання утворюють ієрархічну структуру, яка служить основою для розробки інтелектуальних систем управління акумуляторними батареями електромобілів. Штучний інтелект виступає як центральна галузь, метою якої є створення систем, здатних імітувати властивості людського інтелекту. У свою чергу, машинне навчання є підгалуззю ШІ, що забезпечує можливість системам адаптуватися до нових даних, аналізуючи великі обсяги інформації та покращуючи ефективність функціонування без прямого втручання у вигляді програмування. Глибоке навчання, як спеціалізована гілка машинного навчання, використовує штучні багатoshарові нейронні мережі для моделювання складних закономірностей та представлення даних.

Сучасні дослідження вказують на те, що глибоке навчання набуває дедалі більшої популярності як ефективний інструмент моделювання в галузі

зберігання енергії, особливо в задачах, пов'язаних із оцінкою стану SOC та прогнозуванням залишкового терміну служби акумуляторних батарей.

Було виконано аналіз і зіставлення функціональних можливостей традиційної системи управління акумуляторними батареями електромобіля та системи, що впроваджує технології штучного інтелекту. Результати цього аналізу представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз функціональних характеристик традиційної системи управління акумуляторними батареями електромобіля у порівнянні із системою на основі штучного інтелекту [2, 3]

Показник	Система управління акумуляторними батареями електромобіля	
	Класична	З використанням ШІ
Моніторинг	Напруга, струм, температура	Багатовимірне електротермічне зондування
Оцінка стану	SOC	SOC, SOH, SOE, SOAP
Прогнозування	Відсутнє або обмежене	RUL, швидкість деградації
Керування	Логіка на основі правил	Адаптивні та прогностичні моделі
Оптимізація енергії	Базове балансування акумуляторів	Інтеграція з мережею, планування енергоспоживання
Теплове регулювання	Охолодження на основі порогових значень	Прогнозні електротермічні моделі
Виявлення та діагностика несправностей	Пасивне сповіщення	Активна діагностика та прогнозування відмов
Прогнозування деградації	Обмежене	Моделі деградації
Використання даних	Обмежене	Аналітика великих даних та тенденцій
Інтеграція інтелектуальної системи	Обмежене	Сумісний з мережею на базі Інтернету речей

Застосування алгоритмів штучного інтелекту в системах управління акумуляторними батареями електромобілів дозволяє динамічно адаптувати параметри заряджання та розряджання на основі даних, отриманих у режимі реального часу. Це сприяє оптимізації тривалості експлуатації батареї та забезпечує підвищену ефективність роботи системи. Окрім того, методи машинного навчання відіграють ключову роль у прогностичній аналітиці, що дозволяє системам передбачати процеси деградації акумуляторів і проактивно усувати можливі проблеми, підтримуючи високу надійність та довговічність

компонентів [4].

Використовуючи аналіз великих обсягів даних та технології розпізнавання образів, алгоритми штучного інтелекту значно удосконалюють прийняття рішень у сфері керування акумуляторами електромобілів. Це включає розробку стратегій управління зарядом, регулювання споживання енергії та оптимізацію експлуатаційних параметрів транспортних засобів. Отримана інформація сприяє підвищенню продуктивності акумуляторних систем, збільшенню автономності електромобілів та скороченню експлуатаційних витрат для користувачів.

Таким чином, інтеграція штучного інтелекту в системи управління акумуляторними батареями відкриває нові можливості для підвищення загальної ефективності електромобілів та продовження терміну служби їхніх акумуляторів, забезпечуючи сталий розвиток і конкурентоспроможність на ринку електротранспорту.

Література

1. Смирнов, О., Борисенко, А., & Іноземцев, Д. Моделювання активного балансування елементів літій-іонних акумуляторних батарей в MATLAB/Simulink. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології 2025. No. 28. P. 47–57. URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2025.28.0.5> (date of access: 14.04.2026).
2. Kumar N., Prabhansu. Next-generation battery energy management systems in electric vehicles: An overview of artificial intelligence. Future Batteries. 2025. Vol. 7. P. 100087. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fub.2025.100087> (date of access: 09.03.2026).
3. Selvaraj V., Vairavasundaram I. A comprehensive review of state of charge estimation in lithium-ion batteries used in electric vehicles. Journal of Energy Storage. 2023. Vol. 72. P. 108777. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108777> (date of access: 19.02.2026).
4. Смирнов, О., Борисенко, А. Розробка прогностичної моделі деградації ємності літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2025. No. 27. P. 110–122. URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2025.27.0.1> (date of access: 14.04.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЬОВАНОГО ДВОНАПРАВЛЕНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ СИСТЕМИ V2X

Перетворювачі постійного струму в постійний (DC-DC-перетворювачі) широко використовуються у гібридних електричних системах, які включають джерела електричної енергії постійного струму, такі як фотоелектричні сонячні електростанції, паливні елементи тощо, а також електрохімічні накопичувачі електричної енергії. У деяких випадках доцільно, а у деяких – необхідно виконувати DC-DC-перетворювачі з можливістю передачі електричної енергії у дві сторони, наприклад, при заряді електрохімічного накопичувача – від електричної мережі до накопичувача, а при розряді назад – від накопичувача у електричну мережу. Теж саме можна сказати про зарядні станції електромобілів, у яких реалізовано технологію V2X (Vehicle-to-Everything), коли тягова акумуляторна батарея включається у електричну мережу як додатковий накопичувач електричної енергії.

DC-DC-перетворювачі у більш загальному випадку поділяють на ізольовані та неізольовані. Ізольовані мають певні переваги над неізольованими, а саме: забезпечують вищі коефіцієнти перетворення напруги та гальванічні розв'язку первинного та вторинного кола перетворювача. Вказані переваги реалізуються за рахунок використання у складі перетворювача високочастотного двообмоткового трансформатора, наявність якого обумовлює очевидні недоліки такого типу перетворювачів: більша вага, габарити та маса, а також додаткове електромагнітне випромінювання.

Ізольовані DC-DC-перетворювачі реалізуються декількома типовими електричними схемами, які поділяють на традиційні (класичні) та новітні. Вибір схеми DC-DC-перетворювача для конкретного застосування передбачає проведення попередніх досліджень з метою визначення оптимального технічного рішення. У даній роботі проведено дослідження схем ізольованих DC-DC-перетворювачів для використання у складі зарядної станції електромобілів з реалізацією технології V2X.

Переваги та недоліки окремих схем ізольованих двонаправлених перетворювачів наведено у таблиці 1.

Методи керування ізольованих двонаправлених перетворювачів:

- одинарний фазовий зсув (Single Phase-Shift – SPS);
- розширений фазовий зсув (Extended Phase-Shift – EPSC);
- потрійний фазовий зсув (Triple Phase-Shift – TPSC);
- перемикання при нульовій напрузі (ZVS – Zero-Voltage Switching);
- перемикання при нульовому струмі (ZCS – Zero-Current Switching);
- модельне предиктивне керування (MPC – Model Predictive Control);
- керування в ковзному режимі (SMC – Sliding Mode Control).

Таблиця 1 – Порівняння ізолюваних двонаправлених перетворювачів

Схема	K_n	L	C	Вентилі	Обмотки	Характеристики
Flyback	$ND/(1-D)$	0	2	2	2	10. Проста та економічна конструкція; 11. Висока пульсація вхідного струму; 12. Підходить для малопотужних застосувань.
Cuk	$ND/(1-D)$	2	4	2	2	- Забезпечує плавні вхідні та вихідні струми; - Зменшення пульсації завдяки зв'язаним котушкам індуктивності; - Помірна кількість компонентів.
Push-pull	ND	1	1	4	4	- Висока ефективність при симетричній роботі; - Вимагає точного керування перемикачами; - Підходить для середніх рівнів потужності.
Forward	ND	1	1	3	3	- Ефективна передача енергії; - Обмежений діапазон робочого циклу; - Підходить для малої та середньої потужності.
DAB	змінний	0	2	8	4	- Ефективний для широкого діапазону напруг; - Сприяє двонаправленій передачі енергії; - Популярний для високопотужних застосувань.

Перспективною до застосування схемою двонаправленого ізолюваного перетворювача для систем заряду електромобілів з реалізацією технології V2X визначено схему подвійного активного моста (DAB).

У DAB за допомогою відповідних алгоритмів комутації транзисторів на первинній та вторинній сторонах трансформатора (T) створюється високочастотна змінна прямокутна напруга (u_1 та u_2) із зсувом по фазі. Передача енергії відбувається від моста, який випереджає інший за фазою, при цьому напрямок передачі енергії можна легко змінити, змінивши фазовий зсув між напругами u_1 та u_2 (рисунк 1).

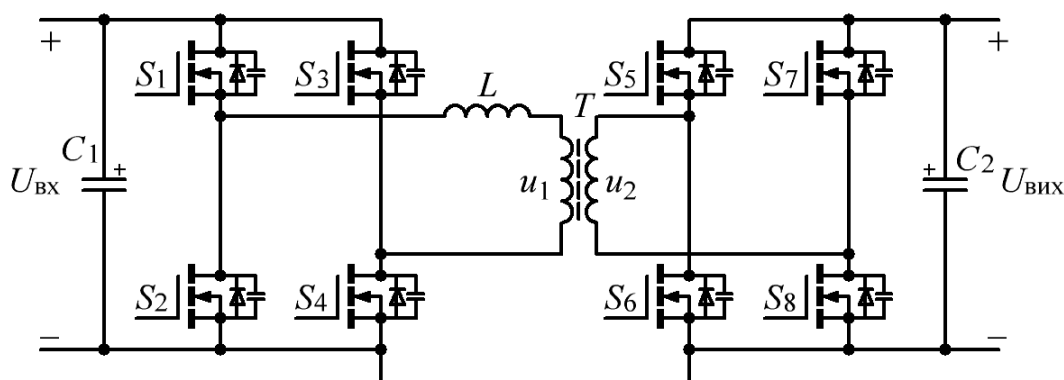


Рисунок 1 – Перетворювач типу DAB

У однофазному DAB первинний та вторинний мости керуються одночасно, при цьому усі транзистори працюють з коефіцієнтом заповнення 50 %. Транзистори у діагоналях мостів вмикаються і вимикаються разом, тому на виході моста формується прямокутна змінна напруга. Для спрощення опису алгоритму комутації припускаємо, що трансформатор має коефіцієнт трансформації $K_T = 1$, тому у розрахунках його можна не враховувати.

Алгоритм комутації містить чотири часові інтервали, які визначаються на основі фазового зсуву між напругами на первинній і вторинній обмотках трансформатора та струмом у котушці індуктивності L (рисунок 2).

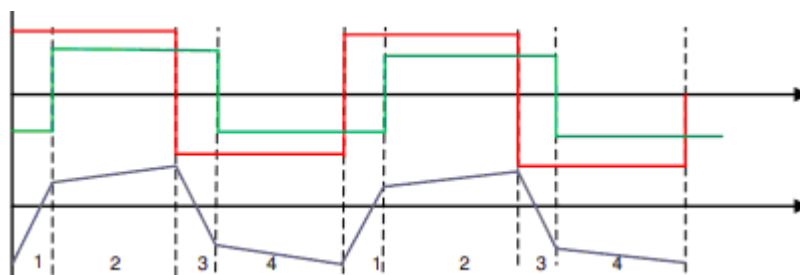


Рисунок 2 – Алгоритм комутації DAB

Протягом першого інтервалу відкриті транзистори S_1 та S_4 на первинній стороні та транзистори S_6 та S_7 на вторинній стороні. Напруга на первинній обмотці U_1 позитивна, а напруга на вторинній обмотці U_2 негативна, струм в індуктивності L змінюється зі швидкістю

$$\frac{di_L}{dt} \sim \frac{U_1 + U_2}{L}. \quad (1)$$

При цьому, протягом першого інтервалу струм котушки індуктивності змінюється від негативного до позитивного значення (рисунок 3).

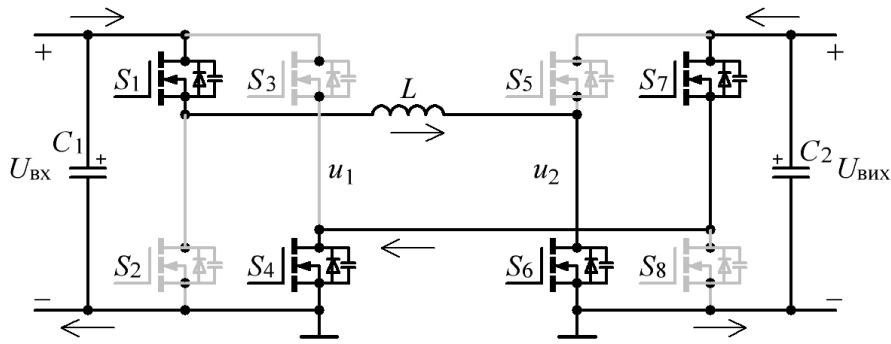


Рисунок 3 – Перший інтервал роботи перетворювача

Аналогічним чином пояснюється робота перетворювача на інших інтервалах.

Під час проектування силового кола DAB важливими є декілька факторів. Найважливішими з них є вибір індуктивності, визначення бажаного фазного зсуву під час роботи, величина вихідного конденсатора, робоча частота перемикавання, тип транзисторів, параметри трансформатора. Багато з цих параметрів взаємопов'язані, і вибір будь-якого з них має прямий вплив на інші. Наприклад, вибір індуктивності безпосередньо впливає на максимальну передану потужність, що, своєю чергою, впливає на фазний зсув роботи перетворювача при заданому рівні потужності.

Основними вихідними даними для проектування системи перетворювача типу DAB є значення вхідної та вихідної напруги, максимальна потужність, передачу якої слід забезпечити. Передача максимальної потужності відбувається при зсуві по фазі $\pi/2$, тому при визначених значеннях вхідної та вихідної напруги змінними, якими можна оперувати є робоча частота перемикавання вентилів та величина індуктивності, величина якої визначає максимальне струмове навантаження на транзистори.

Висновки

Проведено аналіз двонаправлених ізольованих DC-DC-перетворювачів для систем заряду електромобілів з реалізацією технології V2X. Наведено типові схеми перетворювачів, означено їх основні переваги та недоліки.

Проведено аналіз сучасних методів керування двонаправленими ізольованими DC-DC-перетворювачами. Наведено перелік методів та пояснення доцільності їх застосування для різних схем перетворювачів.

Наведено методику розрахунку та дослідження перетворювача типу DAB.

Література

1. Tong, Y., Salhi, I., Wang, Q., Lu, G., & Wu, S. (2025). Bidirectional DC-DC Converter Topologies for Hybrid Energy Storage Systems in Electric Vehicles: A Comprehensive Review. *Energies*, 18(9), 2312. <https://doi.org/10.3390/en18092312>.

2. Sharma, Piyush & Palwalia, Dheeraj & Sharma, Ashok. (2024). A Review: Bi-Directional Dc-Dc Converter Topologies. International Journal of Technical Research & Science. 9. 27-35. <https://doi.org/10.30780/specialissue-ISET-2024/029>.
3. Wang, J., Wang, B., Zhang, L., Wang, J., Shchurov, N. I., & Malozyomov, B. V. (2022). Review of bidirectional DC–DC converter topologies for hybrid energy storage system of new energy vehicles. Green Energy and Intelligent Transportation, 1(2), 100010. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100010>.
4. Tuluhong, Ayiguzhali & Xu, Zhisen & Chang, Qingpu & Song, Tengfei. (2025). Recent Developments in Bidirectional DC-DC Converter Topologies, Control Strategies, and Applications in Photovoltaic Power Generation Systems: A Comparative Review and Analysis. Electronics. 14. 389. <https://doi.org/10.3390/electronics14020389>.
5. Liu, Yu-Chen & Chen, Chen & Chen, Kai-De & Syu, Yong Long & Nguyen, Anh Dung. (2019). High-Frequency and High-Efficiency Isolated Two-Stage Bidirectional DC-DC Converter for Residential Energy Storage Systems. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. PP. 1-1. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2019.2953117>.
6. Williamson, Sheldon. (2013). EV and PHEV Energy Storage Systems. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7711-2_3.
7. Tu, Jian & Bai, Zhifeng & Wu, Xiaolan. (2022). Sizing of a Plug-In Hybrid Electric Vehicle with the Hybrid Energy Storage System. World Electric Vehicle Journal. 13. 110. <https://doi.org/10.3390/wevj13070110>.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Соломко Максим Ігорович, студент гр. АЕ-46-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ “ВІД ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДО ВСЬОГО” ДЛЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Аналіз сучасних технологій «від транспортного засобу до всього» (Vehicle-to-Everything, V2X) будемо розглядати на прикладі електромобіля. Електромобілі являють собою ключовий компонент сталого транспорту та його екологічної економіки, оскільки вони сприяють зниженню викидів вуглецю, покращенню якості повітря та мінімізації залежності від викопного палива. У цьому контексті технології категорії «від транспортного засобу до всього» визнаються невіддільним елементом розвитку електромобілів.

Зокрема, технологія «від транспортного засобу до всього» V2X в контексті сучасних електромобілів охоплює такі технології, як «від транспортного засобу до електричної мережі» (Vehicle-to-Grid, V2G), «від транспортного засобу до будинку» (Vehicle-to-Building, V2B), «від транспортного засобу до

навантаження» (Vehicle-to-Load, V2L), «від транспортного засобу до транспортного засобу» (Vehicle-to-Vehicle, V2V), «від транспортного засобу до мережі» V2N (Vehicle-to-Network, V2N), «від транспортного засобу до пішоходів» (Vehicle-to-Pedestrian, V2P) тощо. Ці технології забезпечують двосторонній обмін інформацією та електричною енергією між електромобілями та їхнім оточенням, сприяючи підвищенню стабільності електричної мережі, задоволенню енергетичних потреб будівель, а також розширенню можливостей міжтранспортної комунікації, що є важливим для ефективніших і стійкіших транспортних систем та розумних міст.

У роботі Кумара та його колег [1] здійснено огляд топології технологій «від транспортного засобу до всього» V2X, що наведена на рисунку 1.

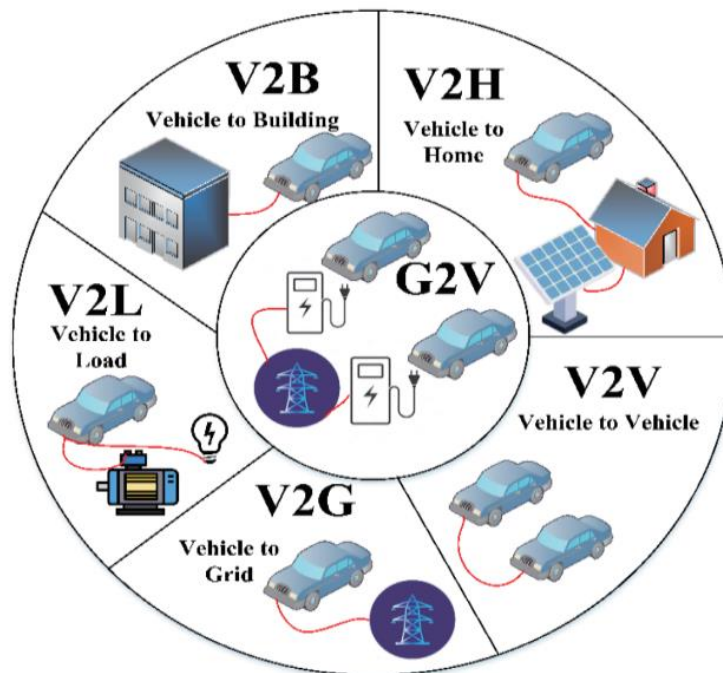


Рисунок 1 – Діаграма топології технологій «від транспортного засобу до всього» [1]

Технології «від транспортного засобу до всього» V2X в контексті сучасних електромобілів – це концепція двонаправленої передачі енергії, що перетворює електромобілі з простих транспортних засобів на «мобільні акумулятори» та «підключені автомобілі», які можуть стабілізувати електромережі та покращити безпеку дорожнього руху [2].

На рисунку 2 показано основні види технологій «від транспортного засобу до всього» в контексті сучасних електромобілів [3].

Ключові перспективи впровадження технологій “від транспортного засобу до всього” V2X для сучасних електромобілів полягають у наступному:

- стабільність електричної мережі та енергетичний арбітраж (технологія V2G/G2V). Електромобілі можуть постачати електроенергію назад у мережу під час пікового навантаження, зменшуючи навантаження та допомагаючи збалансувати постачання. За оцінками, це потенційно може знизити пікове навантаження на потужність до 20 %;

- постійний обмін даними між транспортними засобами та мережами створює ризики щодо конфіденційності даних та потенційних кібератак;

Таким чином, в перспективі технології “від транспортного засобу до всього” V2X для сучасних електромобілів можуть надавати різноманітний набір мережових та автономних послуг, включаючи роботу V2G, V2H, V2L та V2V, як

Дослідження технологій «від транспортного засобу до всього» V2X для сучасних електромобілів є надзвичайно актуальним, оскільки вони є ключовою ланкою у створенні автономних транспортних засобів, інтелектуальних транспортних систем, «розумних міст» та стабілізації енергомереж.

Література

1. Kumar G. Critical Review of Vehicle-to-Everything (V2X) Topologies: Communication, Power Flow Characteristics, Challenges, and Opportunities. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications. 2024. Vol. 9, no. 1. URL: <https://doi.org/10.24295/cpsstpea.2023.00042> (date of access: 30.03.2026).

2. A comprehensive overview of vehicle to everything (V2X) technology for sustainable EV adoption / M. A. Rehman et al. Journal of Energy Storage. 2023. Vol. 74. P. 109304. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109304> (date of access: 30.03.2026).

3. Md Ariful Islam, Kazi N. Hasan, Geoff Lamb, Manoj Datta, Energy storage functions and technological developments of vehicle-to-everything enabled electric vehicle chargers: Converter designs, control strategies, services, and market readiness, Journal of Energy Storage, Volume 159, 2026, 121778, <https://doi.org/10.1016/j.est.2026.121778> (date of access: 30.03.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

Тютюнников Олександр Юрійович, студент гр. АЕ-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРНО-СУПЕРКОНДЕНСАТОРНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Аналіз сучасних технологій зберігання енергії продемонстрував, що для електромобілів оптимальним вибором є акумуляторно-суперконденсаторні гібридні системи зберігання енергії. Гібридні системи, відомі як Hybrid Energy Storage Systems (HESS), забезпечують підвищення екологічності, продуктивності, ефективності та довговічності електричних транспортних засобів.

У таблиці 1 подано порівняльні характеристики літій-іонних акумуляторів і суперконденсаторів, які допомагають проаналізувати їх основні переваги та недоліки.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики літій-іонних акумуляторів та суперконденсаторів

Технологія зберігання енергії	Питома енергія, Вт·год/кг	Питома потужність, Вт/кг	Кількість циклів заряд/розряд	ККД, %
Суперконденсатор	від 2,5 до 15	до 10 000	від 100 000 до 1 000 000	від 50 до 90
Літій-іонний акумулятор	від 200 до 700	від 150 до 1 000	від 500 до 1000	від 80 до 95

Отже, отримані дані свідчать про те, що суперконденсатори характеризуються нижчою питомою енергією, але забезпечують значно більшу питому потужність і надзвичайно тривалий термін служби. Натомість літій-іонні акумулятори вирізняються високою питомою енергією, хоча їх питома потужність і життєвий цикл є помірними. Поєднання цих двох технологій у гібридній системі дозволяє значно підвищити загальну ефективність електромобілів, розкриваючи їх повний потенціал.

Структурна схема електроприводу для електричного транспортного засобу може бути зображена в узагальненому вигляді, як представлено на рисунку 1. Літій-іонна акумуляторна батарея і блок суперконденсаторів підключаються до шини постійного струму за допомогою двох двонаправлених DC/DC перетворювачів постійного струму. Це забезпечує живлення для DC/AC інвертора, який інтегрований у систему керування електродвигуном. Завдяки інвертору постійний струм перетворюється на змінний, що дозволяє ефективно керувати електродвигуном. У результаті електродвигун через трансмісію забезпечує рух електромобіля.

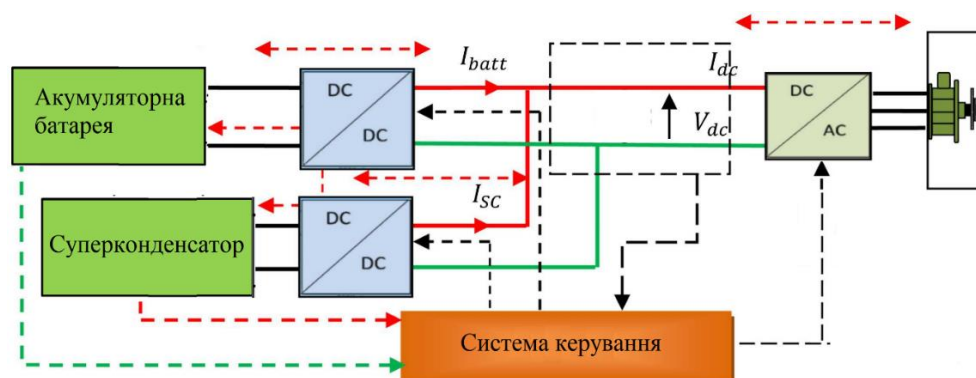


Рисунок 1 – Схема структурна електропривода електричного транспортного засобу [1]

На рисунку 2 наведено електричну схему електропривода, живлення якого забезпечується гібридною системою зберігання енергії.

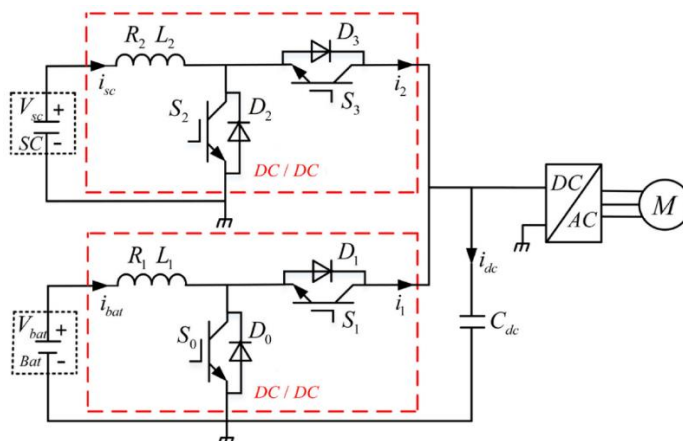


Рисунок 2 – Схема електрична електропривода електричного транспортного засобу [2]

У цій схемі літій-іонна акумуляторна батарея слугує основним джерелом енергії для покриття тривалих періодів роботи, тоді як суперконденсатор виконує функцію забезпечення короткочасних пікових навантажень і акумулювання енергії рекуперативного гальмування. Така конфігурація спрямована на зменшення робочого навантаження на батарею, що сприяє продовженню її експлуатаційного ресурсу та підвищенню дальності ходу.

Живлення тягового електродвигуна здійснюється за допомогою трифазного інвертора, який виконує функцію перетворення постійної напруги, отриманої від перетворювачів постійного струму типу DC/DC, у трифазну змінну напругу. Система керування енергоспоживанням забезпечує оптимальний розподіл і регулювання енергії між двома джерелами живлення залежно від рівня їхнього заряду, динаміки руху транспортного засобу та дорожніх умов. До таких умов належать різні режими експлуатації, зокрема початок руху, прискорення, гальмування, а також підйом та спуск.

У дослідженні [3] наведено аналіз переваг застосування суперконденсаторів у складі гібридної системи зберігання енергії для задоволення динамічних навантажень електромобіля. На рисунку 3 продемонстровано результати моделювання в середовищі MATLAB/Simulink, які ілюструють розподіл навантаження між акумуляторною батареєю і суперконденсатором через зміну струму в часі для різних сценаріїв динамічного навантаження.

Головною особливістю гібридної системи зберігання енергії в електромобілі, як показано у результатах моделювання, є її здатність ефективно регулювати напругу в колі постійного струму транспортного засобу. Завдяки цьому досягається мінімальне навантаження на акумуляторну батарею, що значно збільшує термін її служби, покращує динамічні характеристики автомобіля, а також сприяє збільшенню запасу ходу та загальної ефективності електромобіля.

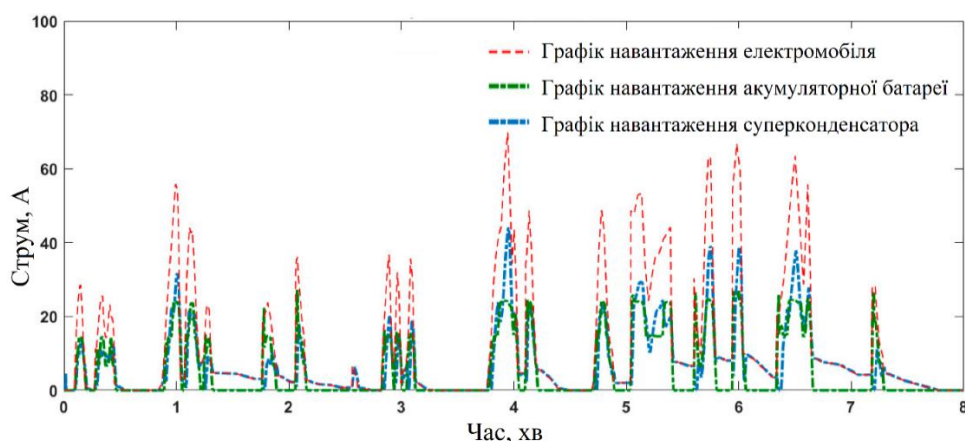


Рисунок 3 – Моделювання розподілу навантаження між суперконденсатором та акумуляторною батареєю електромобіля[3]

Література

4. Fuzzy Logic-based Energy Management System (EMS) of Hybrid power sources: Battery/Super capacitor for Electric Scooter Supply / S. Boumediene et al. Journal of Engineering Research. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.07.008> (date of access: 30.03.2026).
5. Energy management and nonlinear control strategy of hybrid energy storage system for electric vehicle / F. Chen et al. Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 11161–11173. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.250> (date of access: 30.03.2026).
6. Design and Performance Analysis of Hybrid Battery and Ultracapacitor Energy Storage System for Electrical Vehicle Active Power Management / A. Kachhwaha et al. Sustainability. 2022. Vol. 14, no. 2. P. 776. URL: <https://doi.org/10.3390/su14020776> (date of access: 30.03.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Автомобільний факультет

НАУКОВІ ПРАЦІ

**88-ї Міжнародної
наукової конференції
студентів університету**

30 березня -3 квітня 2026 р.
(Посвідчення УкрІНТЕІ від 11 грудня 2025 року № 977)

Комп'ютерна верстка

О. В. Біловол

Всі матеріали збірника представлені в авторській редакції.