

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

О. В. Бажинов
Т. О. Бажинова
М. М. Кравцов

**ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ
ЕКОЛОГІЧНО-ЧИСТИХ АВТОМОБІЛІВ**

Монографія

Харків
2018

УДК 629.3+504
ББК 39.33/36
Б16

Рецензенти:

Подригало М. А., д-р техн. наук, професор Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Лебедев А. Т., д-р техн. наук, професор Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка.

Самородов В. Б., д-р техн. наук, професор Національний технічний університет (ХПІ).

Бажинов О. В., Бажинова Т. О., Кравцов М. М. Основи ефективного використання екологічно-чистих автомобілів : монографія. Харків : Вид-во ФОП Панов А. М., 2018. 200 с.

ISBN 978-617-7722-30-3

Монографія присвячена обґрунтуванню ефективного використання електричних і гібридних транспортних засобів з метою їх широкого впровадження у виробництво і мінімізації екологічної небезпеки існуючих двигунів внутрішнього згоряння. Лаконічно обґрунтовано теоретичні засади тягових систем екологічно-чистих автомобілів, наведені основні типи тягових систем, виконаний аналіз енергетичних режимів тягових систем, показані їх експлуатаційні характеристики, наведені критерії ефективності та продуктивності екологічно-чистих автомобілів. Важливу роль в монографії має безпека при зарядці електро і гібридних транспортних засобів. Аналіз наявних зарядних станцій, видів акумуляторних батарей, їх конструктивних параметрів показав існуючу пожежну небезпеку, яка відбувається при недотриманні елементарних заходів технологічних режимів, норм і правил пожежної безпеки.

Дуже важливим і необхідним, при експлуатації електромобілів і гібридних автомобілів є контроль магнітного поля в результаті руху цих транспортних засобів в реальному масштабі часу, який формується наприклад, для пожежної, електромагнітної і екологічної безпеки.

Монографія призначена для науковців, аспірантів, студентів, а також фахівців і ентузіастів, пов'язаних з проектуванням, експлуатацією, ремонтом і переобладнанням автомобілів.

Лл. 52. Табл. 30. Бібліогр.: 42 найменувань.

УДК 629.3+504
ББК 39.33/36

© О. В. Бажинов
© Т. О. Бажинова
© М. М. Кравцов
© Вид-во ФОП Панов А. М.

ISBN 978-617-7722-30-3

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Основи ефективного використання транспортних засобів	7
1.1 Проблеми екології та забруднення атмосферного повітря транспортними засобами	7
1.2 Основні забруднюючі речовини відпрацьованих газів автомобільного транспорту	11
1.3 Особливості використання екологічно чистих автомобілів.....	15
1.4 Методи оцінки якості транспортних засобів.....	23
2. Формування оцінки якості легкових автомобілів	41
2.1 Критерії оцінки якості автомобілів.....	41
2.2 Система показників оцінки якості легкових автомобілів.....	49
2.3 Математична модель оцінки показників якості автомобілів	63
3. Методика оцінки якості автомобілів	81
3.1 Методологія управління якістю автомобілів.....	81
3.2 Інтегральна оцінка якості та конкурентноспроможності легкових автомобілів	87
3.3 Вплив якості автомобілів на їх експлуатаційні показники	87
4. Дослідження акумулюючих систем електромобілів (електроприводу).....	93
4.1 Аналіз електрохімічних акумулюючих систем для тягового електроприводу.....	98
4.2 Особливості експлуатації акумулюючих систем.....	101
4.3 Формування підходів до безпечної експлуатації акумулюючих систем.....	106
5. Класифікація електромагнітних завад.....	130
5.1. Загальні відомості ЕМС електрообладнання гібридного автомобіля.....	130
5.2. Визначення основних джерел та рецепторів завад	138
5.3. Оцінка основних джерел завад і рецепторів завад	142
5.4. Визначення параметрів електромагнітних завад від провідника	149
5.5. Приклади оцінки ЕМС елементів систем електрообладнання гібридного автомобіля.....	151

6. Біологічно важливі параметри магнітного поля електротранспорту.....	162
6.1. Оцінка поляризації.....	163
6.2. Основні принципи електромагнітної безпеки.....	165
6.3. Датчики для випромінювання магнітних полів	169
6.4. Джерела електромагнітних полів.....	172
6.5. Фазово-градієнтний метод вимірювання магнітного поля в електромобілі і гібридному автомобілі.....	174
7. Пожежна небезпека електро і гібридних транспортних засобів.....	181
7.1. Причини пожеж за загорянь електро і гібридних автомобілів.....	181
7.2. Гасіння літію.....	190
7.3. Загальні вимоги пожежної безпеки власників автотранспорту.....	191
Література.....	193

ВСТУП

В умовах експлуатації, до автомобілів надають жорсткі вимоги в плані паливної економічності, безпеки руху, екологічності, періодичності та вартості технічного обслуговування і ремонту. Це зумовлює необхідність придбання автомобілів, які мають високу якість і пристосованість до умов експлуатації в Україні.

Зміна клімату, погіршення екології і забруднення навколишнього середовища – проблеми, які потребують активного рішення. Відповідно Паризького рішення по клімату, розглянуто обмеження глобального потепління в межах 2 °С (по відношенню до показників доіндустріальної епохи). Таким чином, використання електромобілів та гібридних автомобілів дозволяє знайти рішення в боротьбі зі зміною клімату, а також покращенню якості повітря в містах.

Електромобілі та гібридні автомобілі в Україні мають все більшу популярність. Разом зі зростом кількості екологічно чистих транспортних засобів зростає актуальність про те, наскільки електромобілі і гібридні автомобілі мають перевагу відповідно до базових автомобілів, та які мають перспективи у майбутньому.

На сьогоднішній день вибір автомобіля ускладнено, оскільки проводиться в умовах дефіциту інформації, що пояснюється: незадовільною роботою системи випробувань автомобілів в Україні; закритістю і, в значній мірі, рекламним характером інформації, що надається заводами – виготовлювачами; відсутністю централізованого банку, що містить об'єктивну інформацію за фактичними показниками техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів; складністю зіставлення інформації, що отримується із різних джерел та ін. При цьому слід враховувати, що автомобілі, які мають певні призначення, мають різні властивості залежно від зовнішніх умов, в яких вони використовуються.

Наявність специфічних властивостей автомобілів дозволяє використовувати їх в умовах, при яких застосування іншої моделі автомобіля є менш доцільним. Визначення техніко-експлуатаційних властивостей та якості автомобілів в цілому дозволяє вибирати той, який найкращим чином відповідає вимогам користувача для даних умов експлуатації, дає можливість розробляти оптимальні методи підтримки в експлуатації властивостей, закладених при проектуванні і виробництві автомобілів. Ця обставина особливо важлива при виборі або придбанні автомобіля для експлуатації в умовах України.

Відсутність якісних автомобілів, вироблених в Україні, є однією з основних причин низької конкурентноспроможності автотранспортних засобів. Якість автомобілів визначається рядом показників, які характеризують вагові та габаритні параметри, паливну економічність, продуктивність, маневреність, прохідність, надійність, безпека, вартість та інше. Таким чином, проблема ефективного використання вибору користувачем автомобіля на етапі експлуатації вирішена не повністю, що визначає актуальність данної монографії.

Дослідження, які наведені в монографії можуть використовуватися викладачами, студентами зі спеціальності «Електротехніка, енергетика, електромеханіка», «Колісні та гусеничні транспортні засоби», «Автомобілі та автомобільне господарство» та інших спеціальностей. Монографія може бути корисною для науковців і аспірантів, які займаються дослідженням та розробкою сучасних екологічно чистих транспортних засобів, а також для спеціалістів з продажу, ремонту та технічного обслуговування автомобілів.

1. ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Проблеми екології та забруднення атмосферного повітря транспортними засобами

На початку століття виникла нова загроза життєво важливим інтересам особистості, суспільства, держави – реальна екологічна небезпека для життєдіяльності, це обумовлено збільшенням до гігантських масштабів рівня автомобілізації.

Актуальність даної роботи обумовлена зростаючою кількістю автомобільного транспорту і вирішенням проблеми його впливу на якість міського середовища та здоров'я населення. Аналіз літературних джерел показує, що розробка і створення електротранспорту в основному зводиться до вдосконалення бортової енергоустановки, яка живить тяговий електродвигун. Тому, актуальною є проблема оптимізації параметрів бортової енергетичної установки та спільне застосування накопичувачів енергії різної фізичної природи.

Таким чином, стає актуальною важлива науково-технічна задача підвищення енергоефективності тягової системи цього транспортного засобу. Рішення якої суттєво підвищить ефективність використання обмеженого запасу енергії на борту, вносячи помітний внесок в продуктивність екологічно-чистого виду транспорту.

Вивчення негативних наслідків розвитку автотранспортного комплексу дозволяє визначити два шляхи впливу автомобільного транспорту на природне середовище з урахуванням його недостатньо високого рівня еколого-технологічної досконалості. По-перше, автотранспорт споживає значну кількість природних матеріалів та сировини і, перш за все, не поновлюваних і дефіцитних енергоносіїв (наприклад, нафта, природний газ), а по-друге – забруднює навколишнє середовище.

Автомобільний транспорт займає важливе місце в єдиній транспортній системі України. Він перевозить понад 80 % народногосподарських вантажів, що обумовлено високою маневреністю автомобільного транспорту, можливістю доставки вантажів без додаткових перевантажень в дорозі, з високою швидкістю доставки і збереженням вантажів.

Автомобільний транспорт зіграв величезну роль у формуванні сучасного характеру розселення людей – у поширенні далекого туризму, в територіальній децентралізації промисловості та сфери обслуговування. У той же час він має певні недоліки: щорічно з відпрацьованими газами в атмосферу надходять сотні мільйонів тонн шкідливих речовин; автомобіль є один з головних чинників шумового забруднення; дорожня мережа, особливо поблизу міських агломерацій, «з'їдає» цінні сільськогосподарські землі. Під впливом шкідливого впливу автомобільного транспорту погіршується здоров'я людей, отруюються ґрунти і водойми, страждає рослинний і тваринний світ.

Проблеми екологічної безпеки автомобільного транспорту є складовою частиною екологічної безпеки країни. Значимість і гострота цієї проблеми зростає з кожним роком. Зростання автопарку, зміна форм власності і видів діяльності суттєво не вплинули на характер впливу автотранспорту на навколишнє природне середовище. Викликає тривогу той факт що, незважаючи на проведену роботу, викиди забруднюючих речовин в атмосферу від автотранспортних засобів збільшуються в рік в середньому на 3,1 %.

Автомобіль щорічно поглинає з атмосфери в середньому більше 4 т кисню, викидаючи при цьому з відпрацьованими газами приблизно 800 кг чадного газу, 40 кг оксидів азоту і майже 200 кг різних вуглеців. В результаті по Україні від автотранспорту за рік в атмосферу надходить величезна кількість тільки канцерогенних речовин: 27 тис. т бензолу, 17,5 тис. т формальдегіду, 1,5 т бенз(а)пірену і 5 тис. т свинцю. В цілому, загальна

кількість шкідливих речовин, які щорічно викидаються автомобілями, перевищує цифру в 20 млн. т.

Необхідно відзначити, що із всіх чинників, які формують екологічний збиток автотранспорт лідирує у всіх видах негативного впливу: забруднення повітря – 95 %, шум – 49,5 %, вплив на клімат – 68 %.

Найбільш токсичними компонентами відпрацьованих газів бензинових двигунів є: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), вуглеводні (C_nH_m), а в разі застосування етилованого бензину – свинець. Склад викидів дизельних двигунів відрізняється від бензинових. У дизельному двигуні відбувається більш повне згоряння палива. При цьому утворюється менше окису вуглецю і незгорілих вуглеводнів. Але, разом з цим, за рахунок надлишку повітря в дизелі утворюється більша кількість оксидів азоту. Крім усього іншого, дизельні двигуни викидають тверді частинки (сажу). Сажа, що міститься у вихлопі, нетоксична, але вона адсорбує на поверхні своїх часток канцерогенні вуглеводні. При згорянні низькоякісного дизельного палива, що містить сірку, утворюється сірчистий ангідрид.

Як же ці шкідливі компоненти впливають на людину і навколишнє середовище? У звичайних умовах CO – безбарвний газ без запаху, він легший за повітря і тому може легко поширюватися в атмосфері. При дії на людину CO викликає головний біль, запаморочення, швидку стомлюваність, дратівливість, сонливість, болі в області серця. Оксид азоту NO – безбарвний газ, діоксид азоту NO_2 – газ червоно-бурого кольору з характерним запахом. Оксиди азоту при попаданні в організм людини з'єднуються з водою. При цьому вони утворюють в дихальних шляхах сполучення азотної і азотистої кислоти. Оксиди азоту дратівливо діють на слизові оболонки очей, носа, рота. Вплив NO_2 сприяє розвитку захворювань легенів. Деякі вуглеводні CH є найсильнішими канцерогенними речовинами (наприклад, бенз(а)пірен), переносниками яких можуть бути частинки сажі, що містяться у відпрацьованих газах (рис. 1.1).

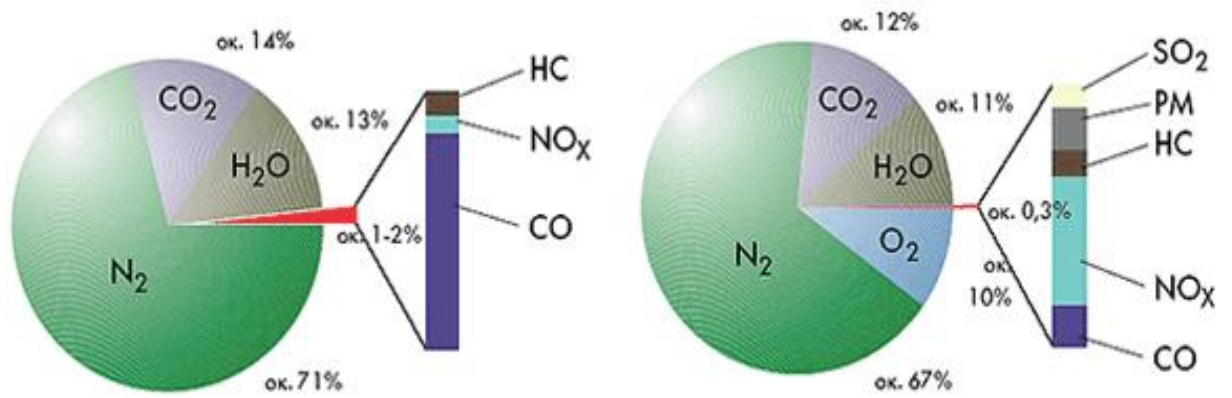


Рисунок 1.1 – Склад відпрацьованих газів бензинових та дизельних двигунів

Над асфальтом скупчуються хмари СН і NO_x і під впливом світла відбуваються хімічні реакції. Розкладання оксидів азоту призводить до утворення озону. Озон не стійкий і швидко розпадається, але тільки не в присутності вуглеводнів (СН) – вони сповільнюють процес розпаду озону, і він активно вступає в реакції з частинками вологи та іншими сполуками. Утворюється стійка хмара мутного смогу. Озон роз'їдає очі і легені, а викиди NO_x беруть участь у формуванні кислотних дощів.

У разі застосування етилованого бензину близько 50 % свинцю осідає у вигляді нагару на деталях двигуна і в вихлопній трубі, залишок йде в атмосферу. Свинець присутній у відпрацьованих газах у вигляді найдрібніших частинок розміром 1-5 мкм, які довго зберігаються в атмосфері. Концентрація свинцю в атмосфері придорожньої смуги в 2-20 разів більше, ніж в інших місцях. Присутність свинцю в повітрі викликає серйозні ураження органів травлення, центральної і периферичної нервової системи. Вплив свинцю на кров проявляється в зниженні кількості гемоглобіну і руйнуванні еритроцитів.

Екологічні проблеми, які пов'язані з використанням традиційного моторного палива в двигунах транспортних засобів, актуальні не тільки для України, але і для всіх країн світу.

Безумовно, значні матеріальні витрати на створення екологічно чистих автомобілів, пов'язані не з благородством і альтруїзмом західних моторобудівних компаній, а визначаються тиском державних законів. Побічно ці закони торкнулися і України – до нас хлинув потік зарубіжних автомобілів, які в розвинених країнах були визнані екологічно небезпечними, тим самим поповнивши вітчизняний автопарк автомобілів, що завдають колосального збитку екології наших міст.

1.2 Основні забруднюючі речовини відпрацьованих газів автомобільного транспорту

Внаслідок забруднення довкілля шкідливими речовинами відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) зоною екологічного лиха для населення стають цілі регіони, особливо великі міста. Проблема подальшого зниження шкідливих викидів двигунів все більше загострюється через постійне зростання парку експлуатованих автотранспортних засобів, ущільнення автотранспортних потоків, нестабільності показників самих заходів по зниженню шкідливих речовин, в процесі експлуатації. У грошовому обчисленні величина щорічного екологічного збитку (забруднення атмосфери, шум, вплив на клімат) від функціонування автотранспортного комплексу України досягає 2-3% ВВП при загальних екологічних втрати 10 % і витратах на природоохоронні заходи не більше 1 %. Основна частка збитків від автотранспорту (78 %) пов'язана з забрудненням атмосферного повітря викидами шкідливих речовин, 16 % збитку припадає на наслідки шумового впливу транспорту на населення.

Принцип роботи автомобільних двигунів заснований на перетворенні хімічної енергії рідких і газоподібних палив нафтового походження в теплову, а потім – в механічну енергію. Рідкі палива в основному

складаються з вуглеводнів, газоподібні, поряд з вуглеводнями, містять негорючі гази, такі як азот і вуглекислий газ. При згорянні палива в циліндрах двигунів утворюються нетоксичні (водяна пара, вуглекислий газ) і токсичні речовини. Останні є продуктами згорання або побічних реакцій, що протікають при високих температурах. До них відносяться окис вуглецю CO, вуглеводні C_mH_n , оксиди азоту (NO і NO₂) зазвичай позначаються NO_x. Крім перерахованих речовин, шкідливий вплив на організм людини роблять виділяються при роботі двигунів сполуки свинцю, канцерогенні речовини, сажа і альдегіди. У таблиці 1.1 наведено зміст основних токсичних речовин у відпрацьованих газах бензинових двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

Таблиця 1.1 – Зміст основних токсичних речовин у відпрацьованих газах бензинових двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ)

Токсичні речовини	Зміст основних токсичних речовин у відпрацьованих газах бензинових ДВЗ (%)
Окис вуглецю	до 10,0
Вуглеводні	до 3,0
Оксиди азоту	до 0,5
Альдегіди	0,03
Сажа, г/м ³	до 0,04
Бенз(а)пірен, мкг/м	до 20
Двоокис сірки, %	0,008

Основним токсичним компонентом відпрацьованих газів, що виділяються при роботі бензинових двигунів, є окис вуглецю (CO). Вона утворюється при неповному окисненні вуглецю палива через нестачу кисню у всьому обсязі циліндра двигуна, або в окремих його частинах.

Основним джерелом токсичних речовин, що виділяються при роботі дизелів, є відпрацьовані гази. Картерні гази дизеля містять значно меншу кількість вуглеводнів в порівнянні з бензиновим двигуном в зв'язку з тим, що в дизелі стискається чисте повітря, а прорвалися в процесі розширення гази містять невелику кількість вуглеводневих сполук, що є джерелом забруднень

атмосфери. Приблизний зміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизеля приведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Зміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизеля

Токсичні речовини	Вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизеля (%)
Окис вуглецю	0,2
Вуглеводні	0,01
Оксиди азоту	0,25
Альдегіди	0,002
Сажа, г/м ³	0,01-1,1
Бенз(а)пірен, мкг/м	до 10
Двоокис сірки, %	0,03

Забруднення повітря автомобільним транспортом відбувається в результаті спалювання палива. Хімічний склад викидів залежить від виду і якості палива, технології виробництва, способу спалювання в двигуні і його технічного стану.

Найбільш несприятливими режимами роботи є малі швидкості і «холостий хід» двигуна, коли в атмосферу викидаються забруднюючі речовини в кількостях, які значно перевищують викид на навантажувальних режимах. Відпрацьовані гази двигуна внутрішнього згорання містять близько 200 компонентів. Період їх існування триває від декількох хвилин до 4-5 років. За хімічним складом і властивостями, а також характером впливу на організм людини їх об'єднують в групи:

Перша група. У неї входять нетоксичні речовини: азот, кисень, водень, водяна пара, вуглекислий газ і інші природні компоненти атмосферного повітря. У цій групі заслуговує на увагу вуглекислий газ (CO₂), зміст якого в відпрацьованих газах в даний час не нормується, проте питання про це ставиться в зв'язку з особливою роллю CO₂ в «парниковий ефект».

Друга група. До цієї групи відносять – оксид вуглецю, або чадний газ (CO). Вона зумовлена його здатністю вступати в реакцію з гемоглобіном

крові, приводячи до утворення карбоксигемоглобіну, який не пов'язує кисень. Внаслідок цього порушується газообмін в організмі, з'являється кисневе голодування і порушується функціонування всіх систем організму [33].

Третя група. В її складі оксиди азоту, головним чином, NO - оксид азоту та NO₂ – діоксид азоту. Він важчий за повітря, тому збирається в поглибленнях, канавах і становить велику небезпеку при технічному обслуговуванні транспортних засобів.

Четверта група. У цю групу входять – вуглеводні, тобто з'єднання типу C_xH_y – етан, метан, бензол, ацетилен і ін. Токсичні речовини. Вуглеводні під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця вступають в реакцію з оксидами азоту, в результаті утворюються нові токсичні продукти – фотооксидантами, що є основою «смогу». Фотооксидантами біологічно активні, мають шкідливий вплив на живі організми, ведуть до зростання легеневих і бронхіальних захворювань людей, руйнують гумові вироби, прискорюють корозію металів, погіршують умови видимості.

П'ята група. Її складають альдегіди. У відпрацьованих газах присутні в основному формальдегід, акролеїн і оцтовий альдегід. Найбільша кількість альдегідів утворюється на режимах холостого ходу і малих навантажень, коли температури згоряння в двигуні невисокі.

Шоста група. У неї входять зважені тверді речовини (сажа та інші дисперсні частинки (продукти зносу двигунів, аерозолі, масла, нагар і ін.), які складаються з дрібнодисперсних частинок (діаметром менше 1 мкм), здатні перебувати в підвішеному стані протягом доби.

Сьома група. Являє собою сірчисті з'єднання – такі неорганічні гази, як сірчистий ангідрид, сірководень, які з'являються в складі відпрацьованих газів двигунів, якщо використовується паливо з підвищеним вмістом сірки. Вони надають подразнюючу дію на слизові оболонки горла, носа, очей людини, можуть призвести до порушення вуглеводного і білкового обміну і

пригнічення окислювальних процесів, при високій концентрації (понад 0,01%) – до отруєння організму.

Восьма група. Компоненти цієї групи – свинець та його сполуки – зустрічаються в відпрацьованих газах карбюраторних автомобілів тільки при використанні етилованого бензину, що має в своєму складі присадку, що підвищує октанове число. Чим вище октанове число, тим більш стійкий бензин проти детонації. Детонаційне згоряння робочої суміші протікає з надзвуковою швидкістю, що в 100 разів швидше нормального.

Негативний вплив на екосистеми надають не тільки розглянуті компоненти відпрацьованих газів двигунів, виділені в вісім груп, а й самі вуглеводневі палива, масла і мастила. Володіючи великою здатністю до випаровування, особливо при підвищенні температури, пари палив і олів розповсюджуються в повітрі і негативно впливають на атмосферне повітря.

1.3. Особливості використання екологічно чистих автомобілів

На розробку екологічно чистих автомобілів в теперішній час направленні значні інтелектуальні і матеріальні ресурси автомобілебудівництва. В даному напрямленні досягнуті вражаючі результати, як по зменшенню витрати вуглеводного палива, особливо в режимі міського циклу руху, так і по збільшенню частки використовуваної енергії з електричної мережі.

Однак поки ці успіхи пов'язані в основному з використанням дорогих технологій. Основний внесок у підвищенні вартості сучасного екологічно чистого автомобіля в порівнянні із звичайним, вносять такі елементи:

- акумуляторна батарея;
- вентильний двигун з висококоерцитивними постійними магнітами на роторі;
- силова електроніка, керуюча вентильним електродвигуном-генератором.

Найбільш реальною альтернативою автомобілю є транспорт з гібридною енергоустановкою. За багатьма показниками він перевершує не тільки автомобіль зі звичайним приводом, але і електромобіль.

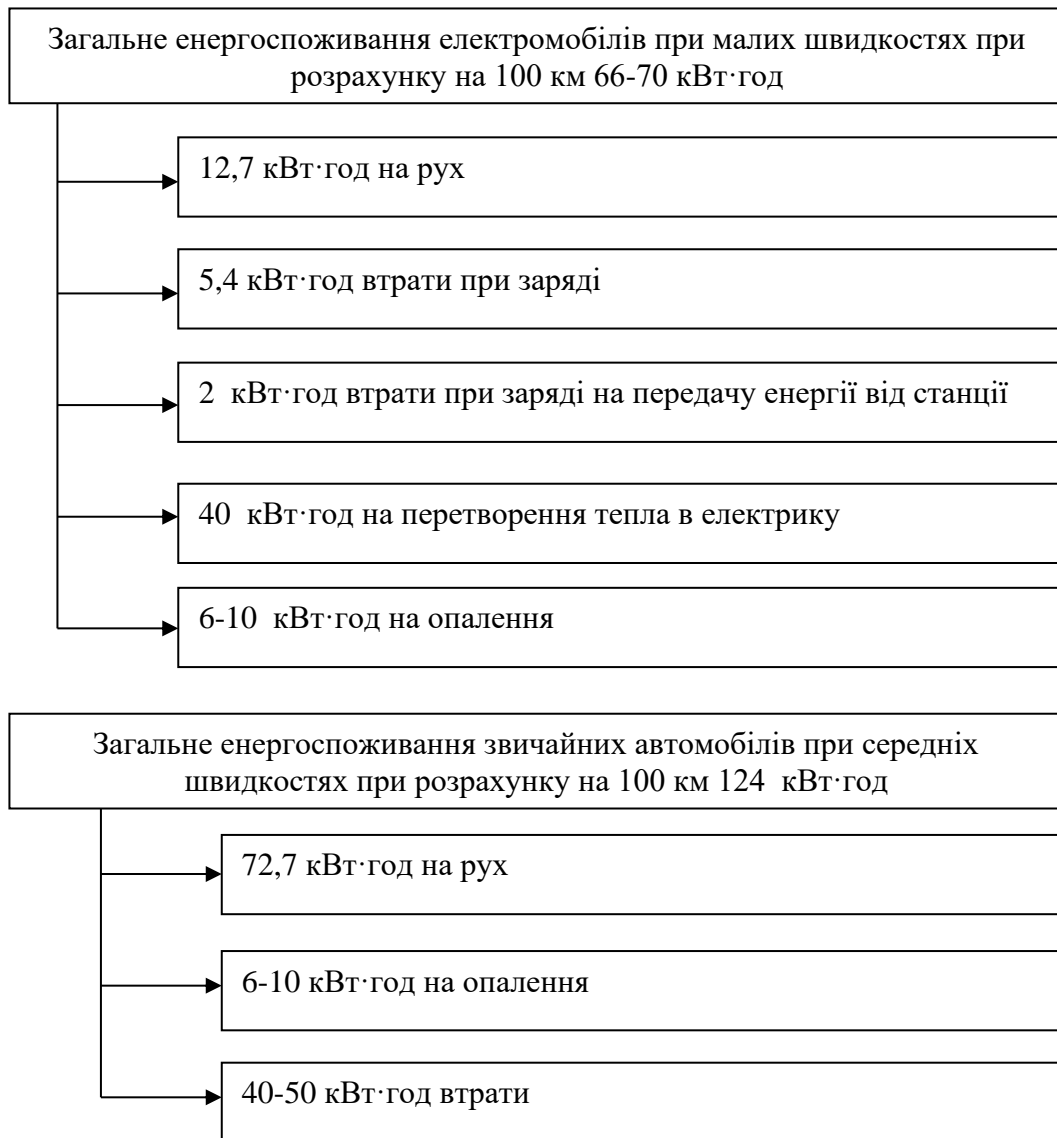


Рисунок 1.2 – Порівняння енергетичної ефективності автомобіля та електромобіля

Електромобіль – автомобіль, що приводиться в рух одним, або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів. Порівняння енергетичної ефективності звичайного автомобіля і електромобіля (рис. 1.2) показує, що існуючий рівень наукового та технологічного розвитку автомобільної галузі не дозволяє істотно знизити рівень споживання енергії

електромобіля в порівнянні зі звичайним транспортним засобом. Саме тому питома енергоємність акумуляторної батареї сильно впливає на область ефективного використання електромобілів, а її підвищення є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку науки і технологій. Крім того для підвищення ефективності електромобілів потрібне рішення проблеми зниження питомої ціни джерела струму, а також підвищення терміну служби ТАБ.

На рисунку 1.3 представлена діаграма порівняння споживчих характеристик звичайного автомобіля і електромобіля.

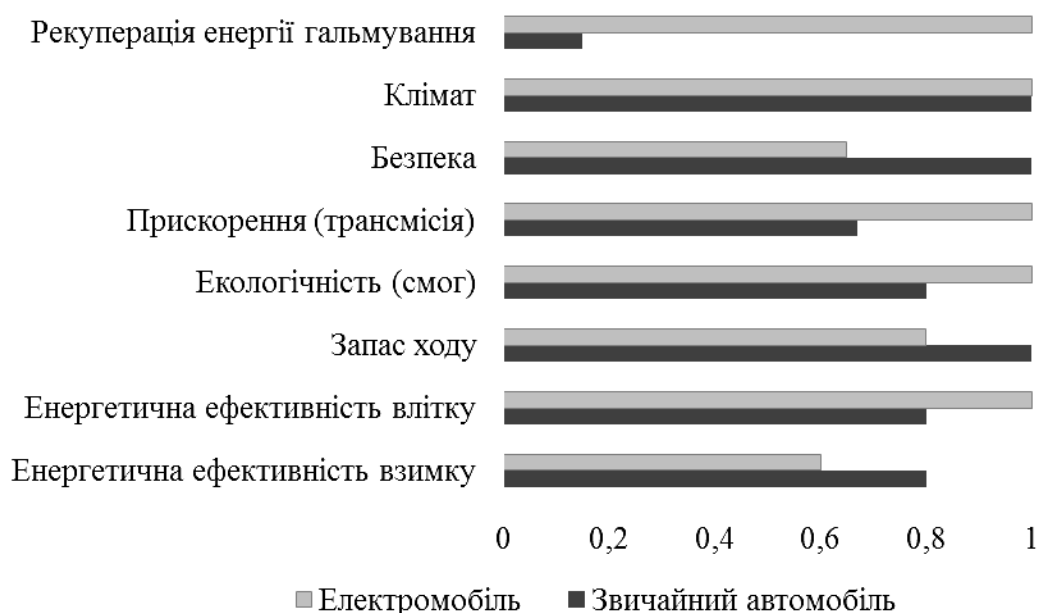


Рисунок 1.3 – Діаграма порівняння споживчих характеристик звичайного автомобіля і електромобіля

Аналіз даних (рис 1.3) показує, що з цілої низки показників електромобіль перевершує звичайний транспортний засіб: рекуперація енергії гальмування, екологічність, прискорення, енергетична ефективність влітку.

Автомобіль з комбінованої енергоустановкою (гібридний автомобіль) - автомобіль, який використовує для привода ведучих коліс не тільки енергію ДВЗ, а й накопичену в електрохімічних, електростатичних або механічних

пристроях енергію. За методом підключення ДВЗ і накопичувача до приводу виділяють схеми:

– паралельна, коли двигун і накопичувач з'єднані диференціалом, який з'єднаний з приводом коліс (рис. 1.4). Дана схема використовується в автомобілях Integrated Motor Assist (Honda);

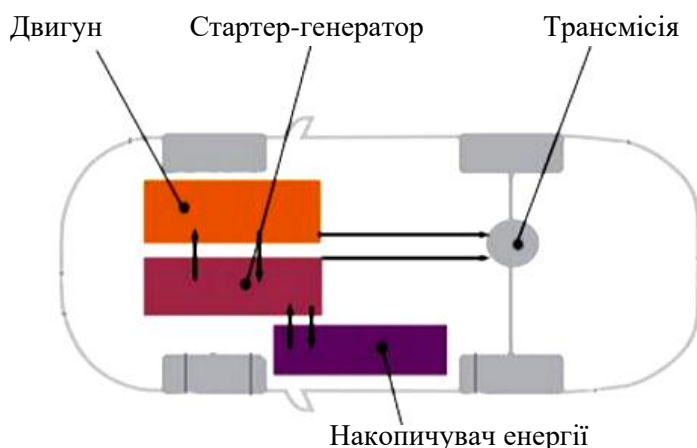


Рисунок 1.4 – Принципова схема паралельної гібридної силової установки

– послідовна, коли двигун з'єднаний тільки з накопичувачем, який в свою чергу з'єднаний з приводом коліс, дано схема характеризується простотою і низькою вартістю; (рис. 1.5). Близький принцип використовується в електричній трансмісії, яка застосовується у випадках, коли необхідно передати великий момент з ДВЗ на колеса;

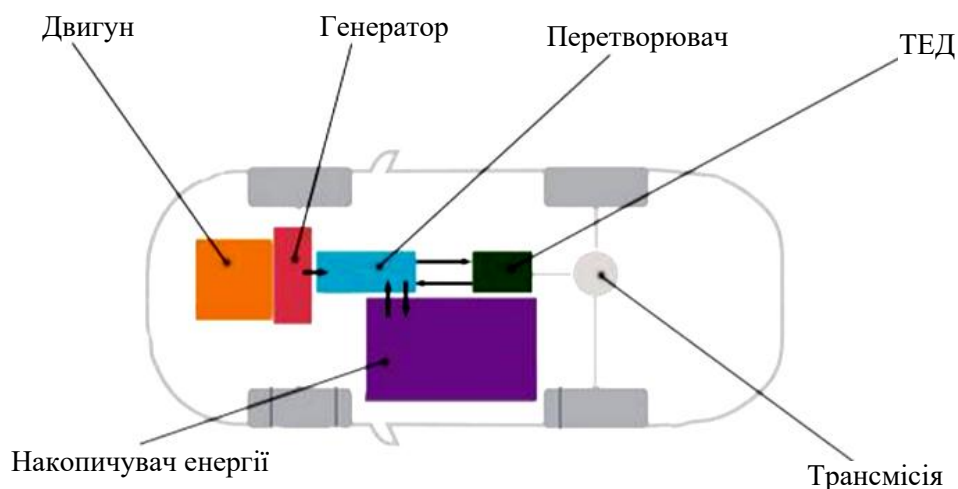


Рисунок 1.5 – Принципова схема послідовної гібридної
силової установки

– послідовно-паралельна – система, що може працювати як послідовно, так і паралельно, в залежності від режиму роботи (рис. 1.6). Реалізовано в автомобілях з Hybrid Synergy Drive (Toyota), наприклад, Toyota Prius.

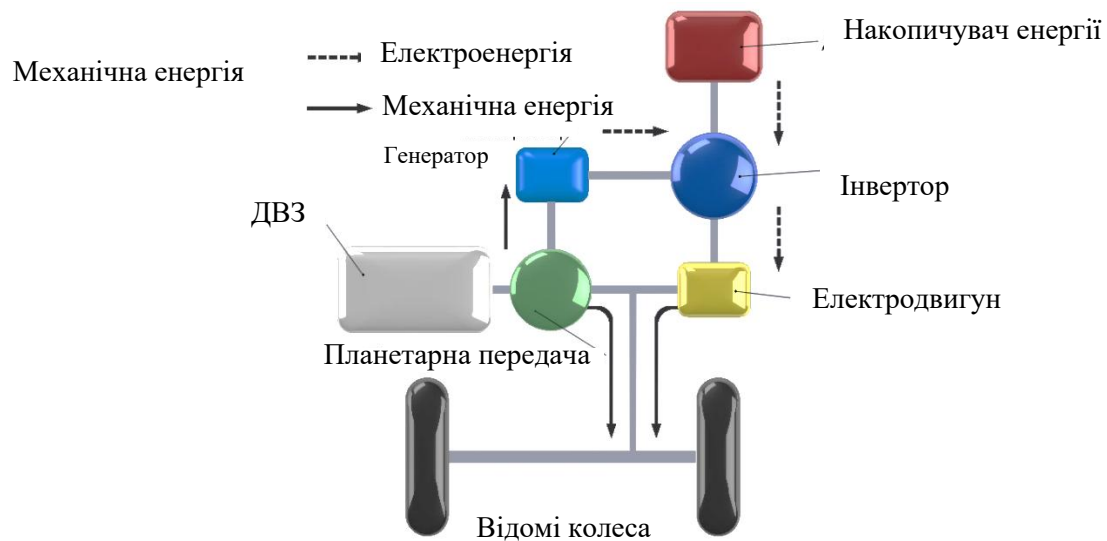


Рисунок 1.6 – Принципова схема послідовної гібридної
силової установки

Перелічимо деякі переваги гібридних автомобілів: в даний час у більшості нових моделей потужність досягає 100 кВт, в той час як середня використовувана потужність складає в межах міста близько 7,5 кВт. Коефіцієнт корисної дії (ККД) при цьому дуже малий і становить близько 15 %. У гібридних автомобілях встановлюється не потужний ДВЗ, що працює в режимі, близькому до максимального ККД, при цьому ККД буде майже так само високий, як і у тепловій електростанції, завдяки оптимальній конструкції двигуна. Витрата палива у гібридного автомобіля може бути на 90 % менше, ніж у аналогічного за характеристиками автомобіля. У порівнянні з електромобілем гібридний автомобіль має більшу експлуатаційну ефективність при врахуванні однакових габаритів.

Якщо поставити завдання створення недорогого і технологічного гібридного автомобіля з хорошим співвідношенням ціни та якості, то необхідно проаналізувати шлях зниження витрат на всі перераховані вище дорогі елементи і (або) знайти розумні компроміси. Акумуляторні батареї, які застосовуються в гібридних автомобілях, як правило, спеціалізовані нікель-металогідридні, або літій-іонні, що володіють високою швидкістю заряду і великою питомою енергією, але при цьому мають дуже високу ціну. Фактично, єдиною порівняно дешевою альтернативою для них є сучасні герметизовані свинцево-кислотні акумулятори зі згущеним, або абсорбованим електролітом. Оскільки такий акумулятор має порівняно великий час заряду, то найбільш доцільно застосовувати його в гібридних автомобілях із зовнішнім підзарядом (Plug-in Hybrid). Крім того, через порівняно невисоку питому енергію такого акумулятора доцільно зробити відносно невеликий внесок електричної енергії в загальну енергію, що витрачається гібридним автомобілем. При цьому раціонально виключити неекономічні режими роботи ДВЗ: холостий хід, рушання з місця і повільне переміщення (виїзд з гаража, зі стоянки, рух по дворовій території та в автомобільних пробках). Розгін автомобіля на електроприводі при звичайному режимі руху повинен відбуватися тільки до певної відносно невеликій швидкості. Потім необхідно автоматично запустити ДВЗ, а подальший набір швидкості і руху буде здійснюватись, як у звичайному автомобілі. При гальмуванні в такому гібридному автомобілі бажано передбачити рекуперацію.

Виходячи із запропонованої концепції гібридного автомобіля, виникає ряд специфічних вимог до тягового електроприводу, а саме:

- електропривод повинен бути порівняно дешевим. Цій вимозі сприяє те, що він повинен бути відносно невеликої потужності;
- для здешевлення акумуляторної батареї і блоку інвертора бажано, щоб застосований двигун був порівняно низьковольтним;

– до електродвигуну пред'являються суперечливі вимоги, а саме, він повинен бути і високомоментним і порівняно високооборотним при не надто високій напрузі, отже, повинен допускати двохзоне регулювання;

– оскільки для високотехнологічних двигунів необхідний редуктор з великим передавальним числом, то важливо мати електропривод з мінімальним опором обертанню у відключеному стані, що дозволить виключити необхідність застосування другого зчеплення для електродвигуна при русі автомобіля за рахунок електроенергії від ДВЗ.

Колекторні електродвигуни, досі застосовуються в електромобілях, не задовольняють повною мірою цим вимогам, тому що якісний двигун такого типу дуже дорогий, вимагає складного обслуговування і має великий опір обертанню у відключеному стані через щітко-колекторного вузла. Асинхронні двигуни з частотним керуванням при малій потужності мають низький пусковий момент.

На споживчий попит електромобілів і гібридних автомобілів впливає широкий спектр питань, починаючи від практичних міркувань по модельному ряду, часу автономної роботи, закінчуючи екологічними міркуваннями.

На розвинених європейських і американських ринках, існують експертні групи фахівців, метою яких є переконати потенційних споживачів, в тому, що електромобілі і гібридні автомобілі є майбутнім автомобільної промисловості. Дослідження в області споживчої задоволеності показують, що незважаючи на наявність бажання змінити екологічну ситуацію, стати частиною сталого розвитку транспортних технологій, прийняття електромобілів або гібридних автомобілів в якості особистого транспортного засобу є складним питанням для потенційних покупців. Дослідження, проведене експертною групою RH&EV Інституту транспортних досліджень США, показало, що при вивченні питань якості електромобілів BMW:

– більшості споживачів потрібно більший діапазон пробігу транспортного засобу між підзарядками ТАБ;

– процес планування поїздки на електромобілі набагато складніше, ніж на автомобілі з ДВЗ. При цьому споживачам доводиться більшою мірою використовувати електронні карти для планування маршрутів, постійно визначати відстань до роботи та інших місць регулярного відвідування, враховувати рельєф місцевості;

– в процесі руху водії приділяють чимало часу оцінці стану дисплеїв, які відображають фактичний рівень зарядки ТАБ, що в деяких випадках впливає на безпеку експлуатації транспортного засобу.

Найбільш важливе значення для споживачів при експлуатації електромобілів має кількісний рівень зарядки ТАБ і трансформація цього параметра в конкретний пробіг, а також наявність системи рекуперації енергії і GPS – навігатора. Майже третина американських покупців автомобілів зацікавлена в купівлі електромобіля. Для них це другий автомобіль в сім'ї.

Експертна група Ipsos відзначає великий інтерес до електромобілів в 5 країнах: Ізраїль – 57 % водіїв зацікавлених в придбанні електромобіля, Данія – 40 %, Австралія – 39 %, Канада – 35 %, США – 30 %. Дослідження показало, що: майже половина споживачів готове розглянути питання про перехід від бензинових двигунів; інтерес до електромобілів охоплює всі демографічні групи споживачів, більшість покупців автомобілів в США стурбовані забрудненням повітря або зміною клімату (62 %), а також стурбовані залежністю країни від нафти (74 %).

При цьому опитування споживачів показують деякі побоювання в частині використання біопалива на транспорті, які пов'язані з можливою кризою в сільському господарстві і зниженням виробництва продуктів харчування.

Щорічне дослідження групи Harris Interactive в Європі показує, що 13 % європейців з високим ступенем ймовірності готові придбати гібридний автомобіль, не беручи до уваги його вартість.

Дослідження показало, що 30 % європейських споживачів, які зацікавлені в придбанні електромобіля хотіли б, щоб зарядка ТАБ проходила не більше 1 разу за добу протягом часу не більше 6 годин.

Важливе значення для споживачів має питання організації процесу обслуговування і підзарядки ТАБ транспортних засобів.

Таким чином, експертні дані показують, що покупка електромобіля і гібридного автомобіля стає все більш привабливою для споживачів. Однак уповільнення темпів зростання світової економіки вносить в цей процес свої корективи.

1.4 Методи оцінки якості транспортних засобів

В умовах, коли технічна складність виробів зростає, так само як запити споживачів і обсяг пропозиції на ринку, виникає необхідність у точному визначенні рівня якості конкретного продукту.

Для оцінки рівня якості продукції необхідно визначити її властивості. Властивості продукції можуть бути охарактеризовані якісно та кількісно. Якісні характеристики – це колір, форма, дизайн і т.п. Якісні характеристики мають вирішальне значення для формування споживчих переваг. Кількісні – це показники якості, тобто сукупність певних внутрішньовидових властивостей, які виражені за допомогою фізичних величин і одиниць їх вимірювання, які зазвичай нормуються.

Показник якості продукції – характеристика одного або декількох властивостей продукції, які складають її якість, певна на кількісній або якісній шкалою. Вони кількісно характеризують придатність продукції задовольняти ті чи інші потреби.

Показник якості розглядається стосовно до певних умов створення продукції, її експлуатації або споживання.

Показники якості можуть бути безрозмірними, або мати різні одиниці вимірювання. По відношенню к властивостям показники якості можуть бути одиничними та комплексними.

Одиничний показник якості товару відноситься тільки до одного з його властивостей, наприклад, витрата палива або швидкість руху. До поодиноких показників можна віднести також напрацювання автомобіля на відмову, вантажопідйомність та ін.

Комплексний показник характеризує сукупність властивостей, які складають якість продукції. Різновид комплексного показника є інтегральний показник якості

$$I_H = E / B_{CB} \quad (1.1)$$

де E – сумарний корисний ефект від експлуатації (наприклад, пробіг автомобіля за термін служби до капітального ремонту);

B_{CB} – сумарні витрати на створення і експлуатацію продукції (автомобіля і т.п.).

На рисунку 1.7 наведено класифікацію методів визначення показників якості автомобілів.



Рисунок 1.7 – Класифікація методів визначення показників якості автомобілів

У порівняльній оцінці якості товару використовуються базові показники, що характеризують якість продукції, прийнятої за еталон. При чому за базові показники можуть бути прийняті показники якості кращих зразків вітчизняного та зарубіжного виробництва, або показники перспективних зразків, визначених дослідним шляхом.

Відношення показників якості до відповідного базового показника характеризує відносний показник якості автомобіля. Однак зіставлення якості товару з потребами на цей товар не завжди представляється можливим, оскільки потреби суспільства постійно зростають.

В основі класифікації методів оцінки якості товару лежить спосіб отримання і сприйняття інформації. Таким чином, розрізняють наступні методи: розрахунковий, вимірювальний, органолептичний та реєстраційний.

Розрахунковий метод передбачає використання теоретичних або отриманих дослідним шляхом знань. Як правило, застосовується він на етапі проектування (створення концепції) продукту. Метод дає можливість зробити висновки про продуктивність та безвідмовності товару, а також оцінити його ергономічні та естетичні характеристики.

Застосування вимірювального методу неможливо без спеціальних технічних засобів (вимірювальних приладів). Отримані в результаті досліджень показники порівнюються з нормативними. Таким чином можна визначити вологість, швидкість, масу, силу струму, температуру, кількість обертів. Органолептичний метод залучає органи чуття. Відповідно, точну оцінку за допомогою даного методу можуть проводити тільки фахівці, що володіють високою чутливістю та необхідними навичками.

За допомогою реєстраційного методу збираються дані про можливі витрати, зокрема будь-яких подій, факти відмови на випробувальному етапі. Метод допомагає визначити показники стандартизації і уніфікації.

Таким чином, аналіз властивостей і можливостей продукту може проводитися за допомогою найрізноманітніших способів. Заходи з оцінки та поліпшення якості на всіх етапах виробництва – запорука успішності бізнесу.

Легкові автомобілі характеризуються комплексом техніко-експлуатаційних властивостей, що оцінюють досконалість конструкції та інженерних рішень. Досконалість конструкції легкового автомобіля визначається наступними умовами: правильності встановлення основних параметрів автомобіля відповідно до його призначення з урахуванням зовнішніх умов; оригінальності конструкції всіх його органів, систем, вузлів з урахуванням передових досягнень науки і техніки. Ці умови визначають ефективність легкового автомобіля в конкретних умовах експлуатації. Вивчення та оцінка якості легкових автомобілів для заданих умов експлуатації приводиться ще з початку 20-х років минулого сторіччя. Повна науково обґрунтована оцінка якості конструкції легкового автомобіля складається з закономірності взаємозв'язків конструкції легкового автомобіля, безпеки руху і кліматичними умовами. Оцінка якості автомобілів проводилася в НДІАТ, ХНАДУ, МАДІ, СіБАДІ, НТУ та інших організаціях і установах. Аналіз існуючих принципів та підходів до оцінки якості легкових автомобілів показує, що традиційно оцінюють за допомогою показників технічної характеристики у порівнянні з автомобілями-аналогами. Однак ці показники носять гібридний характер і відображають лише окремі групи експлуатаційних властивостей, що не відображаючи комплексні характеристики.

Диференціальний метод оцінки якості продукції – це метод оцінки якості продукції (МОЯП), який заснований на використанні одиничних показників її якості. Цей метод полягає в систематизації та порівняльному аналізі значень сукупності одиничних показників, характерних для кожного з порівнюваних варіантів, і прийняття на цій основі рішення про перевагу одного з варіантів, який володіє найкращим набором одиничних показників. У викладеній суті цього методу існує протиріччя, що утрудняє широке

використання цього методу за прямим призначенням, що полягає у виборі кращого варіанту виробу з усієї сукупності однотипних виробів, що розрізняються значеннями різних одиничних показників. Справа в тому, що поодинокі показники від варіанту до варіанту змінюються не однонаправлено, наприклад, тільки поліпшуються. Звичайно кожна модель автомобіля відрізняється від інших кращими значеннями одного, або декількох показників і гіршими в порівнянні з іншими варіантами значеннями інших одиничних показників.

Для складних же виробів, що характеризуються і розрізняються десятками і сотнями одиничних показників, прийняття рішення про вибір кращого варіанту стає нерозв'язним завданням. Цей недолік можна послабити шляхом використання коефіцієнтів вагомості окремих одиничних показників, але це значно підвищує трудомісткість реалізації методу, оскільки вимагає застосування експертних оцінок для встановлення коефіцієнтів вагомості показників якості, що в свою чергу, посилює суб'єктивність методу.

З урахуванням зазначених особливостей диференціального МОЯП він має обмежене застосування на практиці, а перевага віддається методам, що дозволяє комплексно підійти до оцінки якості продукції.

Комплексний МОЯП – метод оцінки якості продукції, заснований на використанні комплексних показників її якості, тобто показників, що характеризують кілька властивостей продукції.

Основним підходом у реалізації цього методу є побудова комплексного показника у вигляді певної функції декількох одиничних показників якості оцінюваного і порівнюваних з ним зразків продукції. Такий підхід пов'язаний з принциповими труднощами, що полягають в наступному:

- вибір комплексного показника якості, тобто за показник деякого складного властивості і його розмірності;

- у змістовному описі складної властивості продукції, досить об'єктивно і повно відображає сукупність елементарних властивостей, які

характеризуються поодинокими показниками, і утворюють якість цієї продукції;

- у встановленні функціональної залежності комплексного показника якості від одиничних показників, яка в багатьох випадках невідома;

- у взаємній компенсації одних показників за рахунок інших, тобто при різному наборі значень одиничних показників, комплексний показник може виявитися однаковим, або близьким за величиною у порівнюваних варіантів однотипної продукції;

- встановлена функція може носити немонотонний характер, що призведе до неоднозначності в оцінці якості продукції.

Показники якості автомобілів та методи їх визначення не вирішують в цілому проблему кількісної їх оцінки. Для цього використовують методи оцінки якості автомобілів. Відповідно до ГОСТ 15467-79 передбачено наступні методи оцінки якості: диференціальний, комплексний, змішаний та статистичний (рис. 1.8).

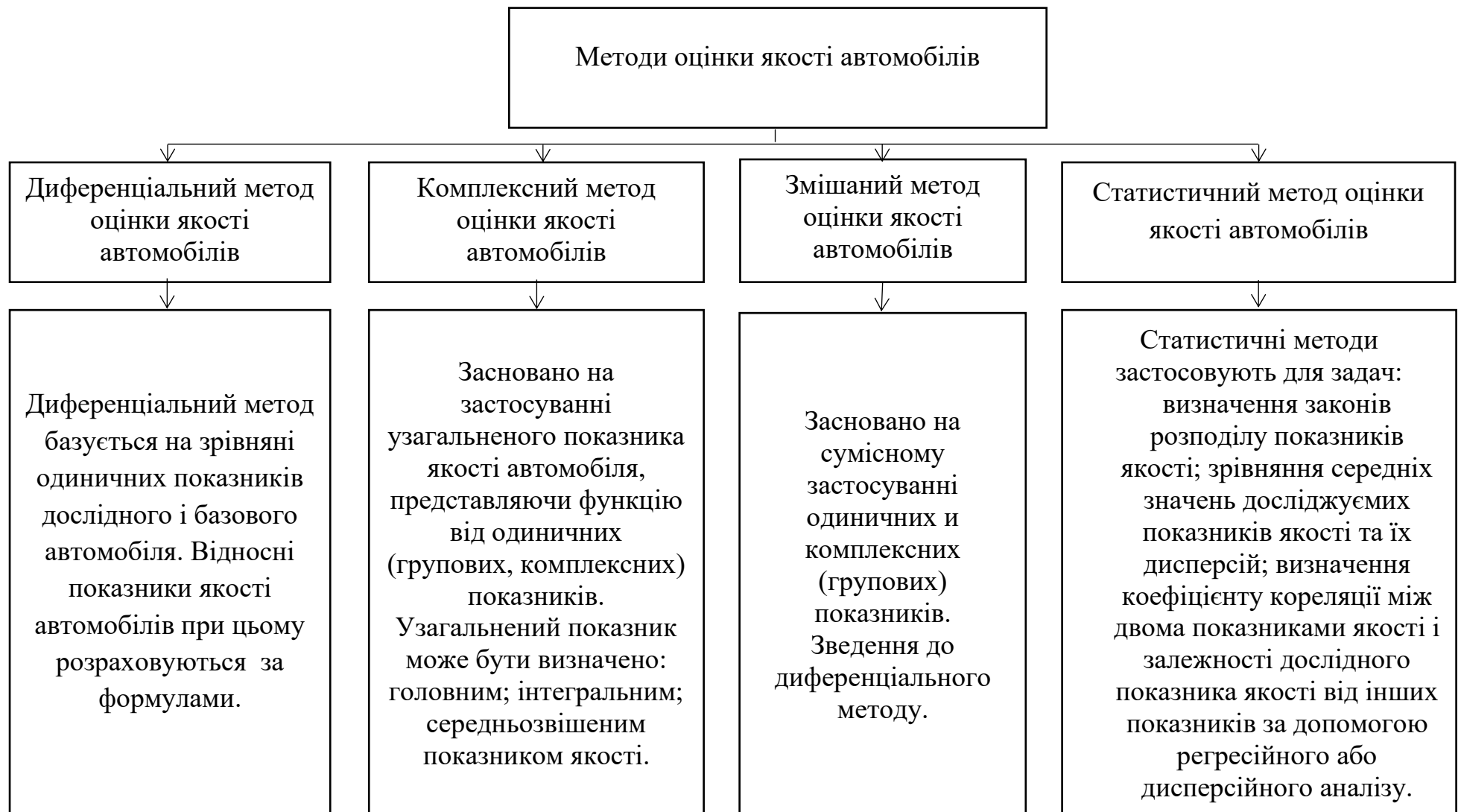


Рисунок 1.8 – Методи оцінки якості автомобілів

Подолання відзначених труднощів забезпечується використанням досягнень сучасної науки в області оцінюваної техніки і залученням досвідчених фахівців в якості експертів для встановлення неочевидних з точки зору фізико-хімічних процесів залежності між комплексним та одиничними показниками.

Комплексний МОЯП, як правило, пов'язаний з необхідністю визначення коефіцієнтів вагомості одиничних показників, правильність встановлення яких має важливе значення для результатів комплексної оцінки якості, істотно впливаючи на її коректність.

Комплексний метод оцінки рівня якості передбачає використання комплексного (узагальненого) показника якості.

При цьому методі рівень якості визначається відношенням узагальненого показника якості оцінюваної продукції $Q_{\text{оц}}$ до узагальненого показника якості базового зразка $Q_{\text{баз}}$, тобто

$$K = Q_{\text{оц}} / Q_{\text{баз}} \quad (1.2)$$

Вся складність комплексної оцінки полягає в об'єктивному знаходженні узагальненого показника.

Існують різні варіанти методу.

1. Коли можна виділити головний показник, що характеризує основне призначення автомобіля і встановити функціональну залежність цього головного показника від інших одиничних показників

$$Q = f(n, P_i, Y_i) \quad (1.3)$$

де n – число одиничних показників;

P_i – i -й одиничний показник;

Y_i – коефіцієнт при i -му одиничному показнику.

Вид залежності може визначатися будь-яким з можливих методів, в тому числі і експертним. Головним показником може бути, наприклад, продуктивність автомобілів, ресурс, питома собівартість і ін.

У якості узагальненого може використовуватися інтегральний показник якості, який показує величину корисного ефекту від експлуатації або споживання автомобілів, що припадає на кожну гривню сумарних витрат на їх створення, експлуатацію або споживання.

2. У тих випадках, коли неможливо побудувати функціональну залежність, виходячи з основного призначення автомобілю, застосовують зважені середньоарифметичні показники. При цьому узагальнений показник обчислюється за формулою

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \frac{P_i}{n} \quad (1.4)$$

де m_i - коефіцієнт вагомості i -го показника.

При цьому повинна дотримуватися умова

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i = 1 \quad (1.5)$$

Коефіцієнти вагомості m_i встановлюються організаціями по стандартизації на певний період часу експертним методом шляхом опитування певного числа експертів, якими, виходячи з умов експлуатації автомобіля, призначаються бали значущості кожного параметра P_i . На підставі бальної оцінки значущості параметрів визначаються коефіцієнти m_i .

Диференціальний і комплексний методи оцінки рівня якості автомобілів не завжди вирішують поставлені завдання. При оцінці автомобілів, що мають широку номенклатуру показників якості, за допомогою диференціального методу практично неможливо зробити

узагальнюючий висновок, а використання тільки одного комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значимі властивості автомобіля, що оцінюється.

У цих випадках оцінку рівня якості виробляють змішаним методом, що використовують поодинокі і комплексні показники якості. При цьому методі одиничні показники якості об'єднуються в групи (наприклад, показники призначення, ергономічні, естетичні) і для кожної групи визначають комплексний показник. При цьому окремі, найбільш важливі показники не об'єднують в групи, а використовують як поодинокі. За допомогою отриманої сукупності комплексних і одиничних показників оцінюють рівень якості продукції диференціальним методом.

Змішаний метод оцінки рівня якості поєднує диференціальний і комплексний методи. Найбільш важливі властивості оцінюють диференціальним методом, інші властивості об'єднують в групи і оцінюють комплексним методом. Змішаний метод застосовують зазвичай при атестації автомобілів.

Для зведеної оцінки рівня якості автомобілів розраховують «коефіцієнт якості», що дорівнює добутку приватних показників якості (коефіцієнтів), що характеризують відхилення фактичного значення кожного контрольованого параметра від значень, встановлених стандартами або прийнятих за еталон. Зведений коефіцієнт знаходять за формулою

$$K_{зв} = \prod_{i=1}^n K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (1.6)$$

де $K_{зв}$ – зведений коефіцієнт якості;

K_i – приватні показники якості;

Π – знак добутку.

У свою чергу приватні показники визначається за формулою

$$K_i = K_{\phi} / K_{\epsilon} \quad (1.7)$$

де K_{ϕ} – фактичний рівень якості;

K_{ϵ} – рівень кращого зразка (еталона).

При комплексній оцінці якості автомобілів може бути також використаний середній зважений арифметичний показник, коли усереднюють вихідні відносні показники K_i порівняно мало відрізняються один від одного

$$K_{зв} = \sum_{i=1} K_i \cdot W_i \quad (1.8)$$

де $K_{зв}$ – зведений коефіцієнт якості;

K_i – приватний відносний показник якості;

W_i – коефіцієнти вагомості показників (визначаються експертно).

Якщо величина зведеного показника якості буде більше одиниці, то можна зробити висновок, що даний зразок продукції краще за якістю базового зразка.

У складі МОЯП виділяється статистичний метод, під яким згідно ГОСТ 15467-79 розуміється метод оцінки якості автомобілів, при якому значення їх показників якості визначають, користуючись правилами математичної статистики.

Необхідність застосування методів математичної статистики при оцінці якості автомобілів обумовлена тим, що в більшості випадків їх значення є випадковими величинами внаслідок впливу численних випадкових чинників в процесі виробництва і експлуатації автомобілів. У зв'язку з цим в практиці оцінки якості автомобілів виникає ряд характерних статистичних задач :

– встановити характер і причину відмінності показників якості порівнюваних варіантів автомобілів;

- визначити коефіцієнт кореляції (ймовірнісної зв'язку) між показниками якості автомобілів;
- визначити параметри залежності досліджуваного показника якості автомобіля від численних характеристик факторів, що впливають на нього;
- визначити вплив різних чинників на зміну якості автомобілів;
- визначити точність і стійкість технологічного процесу та їх вплив на закон розподілу, який формує процес якості автомобілів.

Для вирішення цих та інших подібних завдань оцінки якості автомобілів застосовуються методи теорії ймовірностей і математичної статистики, серед яких найбільш характерними є: точкове та інтервальне оцінювання параметрів розподілу показників якості; перевірка гіпотез; дисперсійний аналіз; кореляційний аналіз; регресійний аналіз; аналіз часових рядів, послідовностей процесів і ін.

Точкове та інтервальне оцінювання параметрів закону розподілу випадкових величин якості автомобілів добре ілюструється оцінкою таких показників, як напрацювання до відмови неремонтованих систем та механізмів, термін збереження автомобілів, характеристики міцності матеріалів при різних способах прикладання навантаження, міцність на пробій ізоляційних матеріалів і т. п.

Статистична оцінка (точкова і інтервальна) зазначеної якості автомобілів в значній мірі залежить від вибору виду закону розподілу, який визначається характером фізико-хімічних процесів в структурі агрегатів. Виявлення і обґрунтування закону розподілу якості автомобілів викликає необхідність проведення статистичних досліджень.

Подолання цих труднощів дозволяє здійснити узагальнений метод оцінки якості автомобілів, що складається в формуванні узагальненого показника якості, що об'єднує в єдиний всі одиничні і комплексні показники за певним алгоритмом або правилом. При цьому можуть бути використані різні алгоритми формування узагальненого показника якості: адитивний, мультиплікативний, метод оптимальної класифікації або таксономії і ін.

При позначеннях: q_i і q_{i_H} – відповідно абсолютні і нормовані значення i -го одиничного показника; n – кількість врахованих одиничних показників; b_i – коефіцієнт вагомості i -го одиничного показника – формування узагальненого показника якості може будуватися по алгоритмам :

– адитивному (середньозваженому)

$$Q = \sum_{i=1}^n b_i q_{i_H} ; \quad (1.9)$$

– гармонійно середньозваженому

$$Q = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{q_{i_H}} ; \quad (1.10)$$

– при загальній умові

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1 \quad \sum_{i=1}^n b_i = 1 ; \quad (1.11)$$

– мультиплікативного

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i^{b_i} \quad (1.12)$$

У виразі (1.9) при коефіцієнті вагомості ставиться знак «+», якщо при збільшенні i -го показника якість автомобіля поліпшується, а знак «-» якщо погіршується, тобто узагальнений показник представляється у вигляді дробу, в чисельнику якого стоять показники, при збільшенні яких якість підвищується, а в знаменнику при зменшенні яких якість підвищується.

Основним і загальним недоліком усіх наведених алгоритмів є переважний вплив на величину узагальненого показника одного або декількох одиничних показників при їх екстремальних (значно більших або значно менших, ніж у інших) значень, тобто формування узагальненого показника в основному за рахунок одного або декількох одиничних (наприклад, досить спрямувати до нуля значення одного з показників, що стоять в знаменнику дроби, при знаку «-» при коефіцієнті вагомості в вираженні (1.10), як різко спрямовується в i величина узагальненого показника). Цей недолік можна подолати, якщо обмежити значення кожного одиничного показника деякими, що впливають з інтересів споживача, межами.

Проект робочої документації (РД) розглядає якість автомобілів за такими властивостями: експлуатаційні, соціальні (що включають дорожню і екологічну безпеку) естетичні, але не зачіпає престижність, особливості виконання транспортної роботи і носить лише оцінку єдиних показників якості та узагальнену оцінку. У роботі [9] представлена група властивостей легкових автомобілів дозволяє оцінити їх якість. До них відносяться продуктивність, рівень шкідливих викидів, витрата палива, рух, безпека, технологічність, естетичність, уніфікація, патентно-правові, транспортний. В якості головних техніко-експлуатаційних властивостей, що визначають якість легкового автомобіля, відрізняють: вагові та габаритні, паливна економічність, пасажиромісткість, динамічність, маневреність, прохідність, безпека, екологічність, надійність, ціна та ін.

Розглянемо комплексну оцінку споживчої якості автомобілів шляхом об'єднання окремих показників конкурентоспроможності легкових автомобілів експертним методом. Інтегральним показником оцінки якості легкових автомобілів прийняті питомі витрати на 1 км пробігу

$$K = (B_v + B_e) / L_{кр} \quad (1.13)$$

де Z_v - вартість автомобіля, грн;

Z_e - витрати на експлуатацію автомобіля до списання, грн;

$L_{кр}$ - пробіг автомобіля до списання, км.

Для оцінки якості автомобіля використовуються узагальнення (мультиплікативний) критерій, який визначається як добуток значень показника i -го властивості автомобіля. У цьому випадку має місце необґрунтована компенсація одного показника іншим, а також не враховується значимість цих показників.

У періодичних виданнях з автомобільної тематики представляють результати узагальнень оцінки якості легкових автомобілів за методикою, яка передбачає набір показників, що характеризують якість досліджуваних автомобілів, розглядання показників якості на основі ДСТУ, РД, ТУ або набору показників, які важливі для споживачів (ціна, технічні дані, надійність і т.п.) і безпосередню оцінку якості.

Оцінка якості виконується таким чином:

- проводиться оцінка фізичних параметрів за сукупністю показників якості досліджуваного автомобіля;
- експерти виставляють бали фізичними показниками, що відображають їх думку про величину якості;
- проводиться оцінка показників, що мають тільки якісну оцінку;
- експертами ставитися кожному з показників якості коефіцієнт значимості, який характеризує важливість фактору для споживача, тобто внесок у загальну оцінку якості.

У висновку проводиться оцінка якості автомобілів згідно індуктивного критерію

$$V_j = \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^m K_{inj} \cdot V_{inj} \quad (1.14)$$

де i, n, j - відповідно індекси показника якості розглянутого автомобіля, експерта, який бере участь в оцінці та автомобіля, що підлягає оцінці якості;

K_{inj} - коефіцієнт значимості;

V_{inj} - бали з фізичних показників.

Автомобіль пропонує кращі якості при максимальному значенні оцінки V_{inj} . Недоліком даної методики є довільна оцінка кількісного показника в балах, яка залежить від суб'єктивної оцінки експерта. У цьому випадку оцінка якості є суб'єктивними залежить від кваліфікації та думок експертів.

При оцінці якості легкових автомобілів попередньо формується набір показників споживчих властивостей розділених на групи: дизайн, ергономіка, їздові якості, їздовий комфорт, комфорт салону.

Кожна підгрупа оцінюється показниками при заздалегідь обумовленій максимальній сумарній кількості балів, які присвоюється експертом за даними показниками. Показники в підгрупі мають різні число балів обмежуючись лише сумою по підгрупі.

Зазначені недоліки свідчать про те, що існує можливість необ'єктивної оцінки важливості одних показників щодо інших, що може вплинути у підсумку на кінцевий результат оцінки якості автомобілів.

Підсумкова оцінка встановлюється підсумовуванням отриманих оцінок. Відносна корисність $P(a)$ встановлюється за рівнянням

$$P(a) = \sum_{i=1}^n U(W_i) \quad (1.15)$$

де $U(W_i)$ - корисність показника W_i .

К недолікам цієї методики слід віднести те, що не враховуються технічні дані автомобілів та їх вагомість, малий набір показників, кількість призначуваних балів встановлюємо граничне значення одержуваних оцінок.

Комплексна оцінка пристосованості автомобіля (по суті якості) базується на основі узагальненого коефіцієнта пристосованості, що виражається в наступному формалізованому вигляді

$$K = K_v \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot K_{\text{пр}}, \quad (1.16)$$

де λ_i - «вага» i -го показника;

$K_{\text{пр}}$ - коефіцієнти адаптації, що враховують пристосованість автомобіля до низькотемпературних умов експлуатації за різними показниками його експлуатаційних властивостей;

K_v - коефіцієнт «вето» («0» - якщо значення показника виходить за встановлені межі; «1» - в усіх інших випадках).

В якості сукупності коефіцієнтів адаптації виступали коефіцієнти, які характеризують паливну економічність, легкість пуску непрогрітого двигуна, його довговічності, часу прогріву і довговічності агрегатів трансмісії.

Безсумнівною перевагою пропонованої методики в порівнянні з попередніми є можливість обліку при оцінці якості фізичних параметрів обстежуваних автомобілів, однак при цьому є ряд наступних недоліків:

– у пропонованому механізмі нормуванні показників якості відбувається «завищення» нормованого значення показників, збільшення яких призводить до збільшення якості, оскільки розподіл відбувається на тільки максимальний показник (є найкращим). І, навпаки, при нормуванні показників, збільшення яких привід до зниження якості відповідно до виразу (1.16) має місце різке «заниження» показників для АТЗ, які мають близькі вихідні параметри. Ця відмінність при використанні виразів (1.15) і (1.16) може бути багаторазовим, що не відображає об'єктивні властивості порівнюваних АТЗ;

– використання виразу (1.14) штучно занижує вплив першого і останнього показника на вихідний результат;

– відсутній облік різної важливості показників якості АТЗ, що, одного боку, повністю виключає з запропонованої методики оцінки елемент суб'єктивності одержуваних оцінок, однак, з іншого боку, при зазначеному недосконалість наведеного вище механізму нормування, також перетворюється на недолік.

Оцінку конкурентоспроможності K_K АТЗ пропонує проводити на основі врахування співвідношення «червоної» і фактичної ціни автомобілів, тобто

$$K_K = C_{\text{ч}} / C_{\text{ф}} , \quad (1.17)$$

де $C_{\text{к}}$ і $C_{\text{ф}}$ - відповідно, «червона» і фактична ціна автомобіля. При цьому, «червона» ціна визначається на основі регресійного рівняння виду

$$C_{\text{к}} = a_0 + a_1 K_K \quad (1.18)$$

де a_0 і a_1 - коефіцієнти лінійного рівняння регресії.

У той же час «червона ціна» може описуватися не тільки лінійними регресійними моделями, а й моделями інших видів. Аналіз підходів, принципів і представлених методів оцінки якості автомобілів показує необхідність їх подальшого розвитку та вдосконалення. Більшість викладених методик, що базуються на використанні вищевідзначених методів, не дозволяють об'єктивно проводити комплексну оцінку кількісних (що мають фізичні параметри і різні розмірності) і якісних (безпосередньо виражених через вагові або бальні оцінки) параметрів, оскільки не відпрацьовано механізм їх спільного нормування і приведення до єдиної шкали вимірювання, з урахуванням розсіювання показників.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

2.1 Вибір критеріїв оцінки якості автомобілів

Всі споживчі, техніко-економічні та експлуатаційні властивості автомобіля створюються його конструкцією. Практично кожен конструктивний елемент приймає участь в формуванні декілька властивостей автомобіля, хоча проектувався він для якогось певного призначення. Це означає, що крім основного призначення, будь-який вузол або агрегат бере участь у формуванні інших, часто небажаних, властивостей.

В процесі експлуатації важливо знати, як відобразиться те чи інше конструктивне рішення на якість обраного автомобіля. Тому вкрай необхідно знайти спосіб зв'язку між прийнятими конструктивним (і технологічним) рішенням і його наслідками на етапі експлуатації автомобіля.

В слабоструктурованих проблемах виникають питання зі змінними (наприклад, престиж фірми), для яких не існує точних способів кількісного виміру. Для багатьох змінних немає еталонів. Суб'єктивні відмінності експертів можуть бути великими. В цьому випадку слід користуватися тільки порядковими шкалами зі словесними визначеннями градацій якості, або використовувати кількісні шкали (наприклад, бальні). Отже, при неможливості надійного кількісного виміру суб'єктивні моделі з якісними оцінками є найбільш поширеними в прийнятті рішень.

При якісній оцінці для кількісного представлення результатів можна використовувати рангові методи (зазвичай не більше 10-12 рангів). Потреба в ранговому підході з'являється, коли наявні в розпорядженні дослідника характеристики вкрай неточні, орієнтовні, або коли невідомий спосіб побудови задовільних чисельних оцінок.

Прагнення до обліку лише кількісних аспектів прийнятих рішень нівелюється в затверджених методиках оцінки альтернатив у вигляді різних

псевдооб'єктивних формул, а багато якісних показників просто залишаються без уваги. Як правило, перетворення якостей в кількість можна здійснити різними способами. Не існує об'єктивної математичної моделі, що повністю відображає основні властивості розглянутої проблеми. Так, як альтернативи повинні бути оцінені і прийнято рішення, необхідно заповнити принципову відсутність важливої інформації. Дану інформацію може додати експерт, консультант або керівник, але важливо одне – оцінка альтернатив і вибір рішення. Консультанти розробляють зазвичай перелік критеріїв. При цьому визначається, як вимірювати рівень якості за кожним критерієм, тобто як будувати шкалу вимірювань. Найчастіше використовуються бальні шкали, для яких, наприклад, вища якість характеризується 10 балами, а нижня – 1 балом. Далі виступають експерти, які розглядаються зазвичай в якості вимірювальних приладів. Експерти оцінюють кожну з альтернатив за шкалою кожного з критеріїв. Далі визначаються чисельні показники важливості критеріїв, які множимо на оцінки за критеріями.

Оцінку якості автомобіля слід оцінювати також по активній і пасивній безпеці. Пасивна безпека передбачає захист водія і пасажирів від важких травм при ДТП. Пасивна безпека оцінюється можливістю захисту водія і пасажирів від загибелі і важких травм при ДТП на швидкості зіткнення до 50 км/год. Передбачаються певні вимоги до конструкції транспортних засобів, а також рекомендації щодо поліпшення цих властивостей. Так, свого часу з'явилися ремені безпеки і стали обов'язковими для застосування, їх конструкція стала більш досконалою, з'являються і впроваджуються надувні захисні подушки, встановлюється каркас кузова і дверей легкового автомобіля, а бампери і оперення робляться «енергоємними».

Переміщення елементів об'єктів зіткнення з порушенням життєвого простору спостерігається в 15 % досліджених ДТП. Вірогідність травмування людини в автомобілі залежить, в тому числі, від його місця розташування в салоні.

Основними причинами травмування людини в легкових та вантажних автомобілях є перевантаження, що виникають в результаті фронтального зіткнення з елементами салону. Ймовірність травмування з інших причин в 8-12 разів нижче. При фронтальних зіткненнях найбільш травмонебезпечними ушкодженнями є переміщення рульової колонки в глиб салону і руйнування сидінь. Переміщення рульової колонки в глиб салону (уздовж поздовжньої осі) у легкового автомобіля при зіткненні на швидкості 60-70 км/год досягає 300 мм.

Найбільш травмонебезпечними елементами для водіїв усіх транспортних засобів і пасажирів легкових автомобілів є: рульова колонка, вітрове скло, двері і стійки кузова або кабіни. Дослідження, які були проведені автомобільним концерном Volvo, показали, що із-за травм голови відбувається чверть усіх смертельних випадків при аваріях. Захист полягає в утриманні людей на сидіннях ременями безпеки і надувними подушками. При цьому виключаються удари об кермо, панель приладів і вітрове скло. Останнім часом набули поширення бічні подушки, які розміщуються в дверях і даху легкового автомобіля.

При бічних ударах в пасажирський салон характерні деформації дверей, центральних стійок і боковини. Хоча деформації при бічних зіткненнях зі швидкістю до 50 км/год не перевищують 300 мм, внутрішня пасивна безпека легкових автомобілів приблизно в 2 рази нижче, ніж при фронтальних.

При перекиданні характерними деформаціями є травмонебезпечні деформації верхньої частини і боковин кузова. Найбільш частою причиною травмування зі смертельними наслідками в легкових автомобілях є зіткнення з травмонебезпечними елементами салону з порушенням життєвого простору, удар головою об виступаючі елементи салону і викидання людей з салону.

Геометричні параметри салону автомобіля впливають на збереження життєвого простору в процесі перекидання. Захист полягає в утриманні

людей на сидіннях ременями безпеки і виключення ударів об кермо, панель приладів та вітрове скло надувними подушками, що встановлюються в рульовому колесі, панель приладів, в дверях і даху.

Впровадження заходів з підвищення безпеки конструкцій проводиться з метою зниження ймовірності отримання травм при ДТП. При цьому геометричні параметри і форма об'єктів можливого зіткнення не повинні сприяти порушенню життєвого простору автомобіля. Під життєвим простором розуміється мінімальний простір в автомобілі, який необхідний для життєзабезпечення людини, що використовує захисні утримуючі засоби людини (водія, пасажир) в умовах ДТП без больових відчуттів в результаті його контакту з елементами кузова (кабіни). Незважаючи на те, що при випробуванні легкових автомобілів на перекидання травмонебезпечних деформацій всередині кузова не утворюється, в умовах реальних ДТП відзначається більше, в порівнянні імітацією, переміщення стійок кузова (в тому числі центральної) в поперечному напрямку.

Існує проблема забезпечення безпеки людини в автомобілях меншою маси при фронтальних зіткненнях при великій різниці мас автомобілів, що вдаряються. Встановлено, що перевантаження автомобіля більшої маси в 1,5–5,8 разів менше, ніж у автомобіля меншої маси. Зі збільшенням швидкості зіткнення ця різниця збільшується.

Тому для підвищення безпеки пасажирів на легкових автомобілях менших класів необхідне застосування більш досконалих ременів і подушок безпеки. Для забезпечення більшої безпеки пасажирів в маленькому автомобілі рекомендовано зниження зовнішньої пасивної безпеки автомобіля більшої маси та розміру за рахунок зниження жорсткості та збільшення довжини деформованої передньої частини.

Активна безпека розглядається як можливість уникнути зіткнення або ДТП за рахунок маневрування і забезпечується такими властивостями автомобіля, як керованість, стійкість, гальмівні властивості. Сюди можна віднести і плавність ходу, так як тільки при відносно невеликих коливаннях

автомобіля можна забезпечити його керованість, стійкість і надійне гальмування. Для оцінки цих властивостей існують спеціальні методики випробувань і перелік показників, наведених в державних і галузевих стандартах, Правилах ЄЕК ООН. Однак в даному випадку, для порівняльної оцінки різних автомобілів необхідно орієнтуватися по гальмівному шляху різних автомобілів, який є узагальнюючим параметром активної безпеки.

Надійність характеризує безвідмовну роботу автомобіля і його вузлів і визначається спеціальними показниками, які споживачеві найчастіше всього недоступні і невідомі, особливо по іноземним автомобілям. Проте кожен власник автомобіля і більшість потенційних споживачів мають свою оцінку надійності різних автомобілів. Ця оцінка побудована на порівнянні за принципом «краще-гірше». Заснована ця оцінка на досвіді експлуатації попередніх власників і часто пов'язана з авторитетом фірми та визначені різних технології конструкції вузлів.

Тому при оцінці працездатності необхідно виходити з різних конструктивних особливостей одного і того ж вузла, або системи і порівнювати їх між собою.

Надійність автомобіля закладається при проектуванні, забезпечується в виробництві, проявляється і підтримується в експлуатації, утворюючи так звану тріаду надійності. Вимірювачі надійності можуть бути комплексними і одиничними. Комплексні вимірювачі характеризують надійність в цілому (коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт готовності та ін.), одиничні – одна з властивостей автомобіля (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість). Одиничні показники можуть бути детермінованими (точними) і статистичними (оціночними, приблизними).

В якості вимірників безвідмовності в автомобільній техніці прийняті:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- середній наробіток до відмови;
- інтенсивність відмов;
- середнє число відмов;

– середнє напрацювання на відмову (відношення сумарного наробітку відновлюваних об'єктів до математичного очікування числа їх відмов протягом цього напрацювання);

– параметр потоку відмов.

Перші три вимірювача служать для оцінки безвідмовності невідновлюваних виробів, перший і три останніх – відновлюваних.

Довговічність автомобіля (вузла, агрегату) оцінюють по ресурсу – наробіток від початку експлуатації, або її відновлення після певного виду ремонту до переходу в граничний стан і терміну служби – календарної тривалості експлуатації. Вимірювачами довговічності автомобіля служать:

– середній ресурс (термін служби, математичне очікування ресурсу);

– гамма-відсотковий ресурс (наробіток, протягом якої об'єкт не досягне граничного стану із заданою ймовірністю, вираженої в відсотках).

У конструкторських документах вказують, як правило, 90 % ресурс, а для систем, вузлів і деталей, що впливають на безпеку руху – 95 % ресурс.

У деяких країнах роботу по оцінці «споживчої» надійності продукції проводять суспільства споживачів та інші недержавні організації, в нашій країні, наприклад, журнал «За кермом», в Німеччині – Служба технічного нагляду (TÜV), в США – компанія J.D. Power and Associates. За матеріалами цих та інших організацій проведена бальна оцінка надійності вузлів автомобілів і якості збірки вузлів. Відсоток відмов, які впливають на працездатність за період трирічної експлуатації не перевищує 4 %. У деяких випадках, при відсутності таких оцінок для порівняння різних автомобілів і їх вузлів по надійності можуть використовуватися непрямі ознаки, такі, як фірма, тип конструкції вузлів і ін. На підставі цих даних можна інтерполювати існуючі оцінки на автомобілі, за якими даних немає.

Для підтримки надійності автомобіля потрібні витрати на його обслуговування і ремонт. Вартість експлуатації та обслуговування складається з декількох складових:

- постійні витрати (податок з власників транспортного засобу);
- експлуатаційні витрати (паливо, масло, ремонт, технічне обслуговування);
- амортизація (втрата вартості автомобіля з плином часу при певному пробігу).

Отже, оцінка якості автомобіля за критерієм функціональної стабільності (надійності) повинен базуватися на витратах на експлуатацію та ремонт автомобіля, а також враховувати періодичність проведення технічних впливів. Оцінку якості автомобіля слід оцінювати також по активній та пасивній безпеці.

Технічний стан автомобіля тривалий час залишається незмінним. Згодом, внаслідок зношування деталей та зміни їх розмірів утворюються надмірні зазори, виникають втомні напруги, технічний стан автомобіля починає погіршуватися, що свідчить про необхідність його регулювання та ремонту, заміни непридатних деталей та вузлів на справні. Регулювання механізмів під час ремонту покращують технічний стан автомобіля, проте, рівень його виявляється нижче, ніж у нового автомобіля.

Погіршення технічного стану двигуна насамперед позначається на зменшення його потужності. Зменшення компресії через зношування поршневих кілець, поршнів і циліндрів, або нещільного прилягання клапанів до сідел, наявність нагару на стінках камери згоряння або смолистих відкладень на стінках впускного трубопроводу, неправильна установка запалювання (бензинові двигуни), або моменту початку впорскування палива (дизель) призводять до зменшення ефективної потужності двигуна.

В результаті потужність двигуна може зменшитися на 15–20 %. Зношування деталей циліндро-поршневої групи викликає прорив робочої суміші в картер двигуна при такті стиснення і зменшення тиску кінця стиснення. У сильно зношеного двигуна ефективна потужність може скласти 80–85 % від номінальної. У разі установки пізнього запалювання потужність може впасти до 25–30 %. Занадто раннє запалювання призводить до

виникнення детонації, що змушує водія зменшити швидкість і переходити на нижчі передачі. При забрудненні повітряного фільтра погіршується наповнення циліндрів, порушується нормальна суміш палива з повітрям, що також викликає падіння потужності. Вихід з ладу свічки запалювання може зменшити потужність шестициліндрового двигуна на 15–20 %.

Зниження показників тягової динамічності автомобіля в міру збільшення терміну його роботи і погіршенні технічного стану проявляється в зменшенні максимальній швидкості та прискоренні, а також в зниженні інтенсивності розгону. Зміна максимальної швидкості і часу розгону від пробігу автомобіля показано на рисунку 2.1. При експлуатації автомобіля, при нормі пробігу до капітального ремонту (100 %), максимальна швидкість зменшується на 10–15 %, а час розгону з місця збільшується на 25–30% в порівнянні з аналогічними показниками нового автомобіля, що пройшов обкатку.

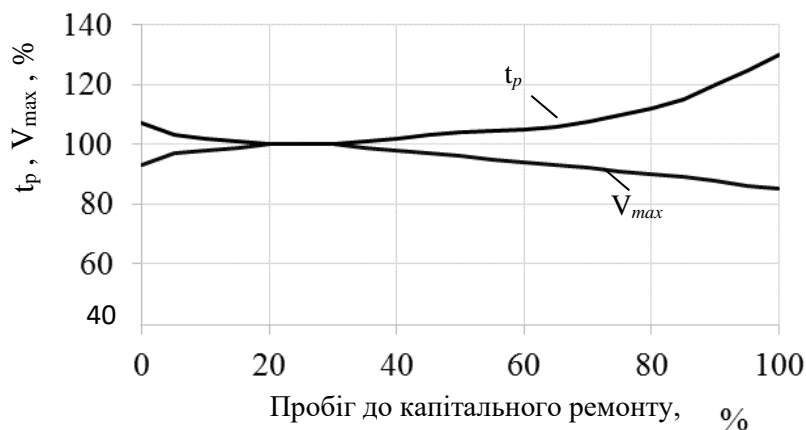


Рисунок 2.1 – Зміна показників тягової динамічності максимальної швидкості і часу розгону автомобіля в процесі його роботи

В процесі експлуатації змінюється також технічний стан агрегатів шасі автомобіля. При неправильному зачепленні шестерень в коробці передач і провідних мостах, а також при надмірному затягуванні конічних роликотішипників головної передачі і ступиць коліс зростають витрати

енергії в трансмісії і ходової частини, що веде до погіршення тягової динамічності автомобіля. Такі ж наслідки викликає неправильна установка передніх коліс, або зачіпання гальмівних колодок за барабани під час руху автомобіля.

Велике значення для тягової динамічності автомобіля має технічний стан його шин. Недостатній тиск в них підвищує опір коченню та знижує поперечну стійкість автомобіля. При зношуванні протектора погіршуються зчіпні властивості, збільшується схильність до пробуксовки коліс при рушанні з місця та розгоні.

2.2 Обґрунтування показників оцінки якості легкових автомобілів

Ефективність автомобіля оцінюється по тяговій динамічності, вимірювачами якої є: максимальна швидкість руху, мінімальна витрата палива і мінімальний час розгону до заданої швидкості.

Максимальну швидкість автомобіля можна визначити аналітично з рівняння руху, що зв'язують сили і моменти (рис. 2.2), діючі на автомобіль

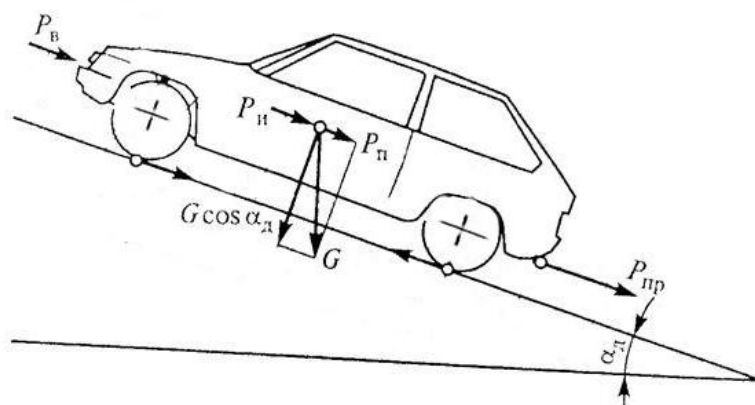


Рисунок 2.2 – Сили, що діють на автомобіль при розгоні на підйомі

$$P_{\text{Т}} - P_{\text{І}} - P_{\text{Д}} - P_{\text{П}} = 0, \quad (2.1)$$

де $P_{\text{Т}}$ – сила тяги на ведучих колесах автомобіля;

P_I – наведена сила інерції автомобіля;

$P_D = P_I + P_{СП}$ – сила опору дороги (P_K – сила опору коченню; $P_{СП}$ – сила опору підйому);

$P_{П}$ – сила опору повітря.

Сила тяги P_T являє собою відношення моменту M_T на півосях до радіусу r ведучих коліс при рівномірному русі автомобіля

$$P_T = M_T / r = M_e \cdot i_{ТР} \cdot \eta_{ТР} / r, \quad (2.2)$$

де M_e – ефективний крутний момент двигуна, Н м;

$i_{ТР}$, $\eta_{ТР}$ – відповідно передавальне число і ККД трансмісії;

r – радіус кочення колеса, м.

Ефективний крутний момент двигуна, що працює з повним навантаженням, тобто при повно відкритій дросельній заслонці (бензиновий двигун), або максимальній подачі палива в циліндри (дизель), визначають за формулою

$$M_e = \frac{N_{(emax)}}{\omega_N} \left[a_M + b_M \frac{\omega}{\omega_N} - c_M \left(\frac{\omega}{\omega_N} \right)^3 \right], \quad (2.3)$$

де N_{emax} – максимальна потужність двигуна, кВт;

ω_N – кутова швидкість колінчастого валу при N_{emax} , рад/с;

a_M , b_M і c_M – емпіричні коефіцієнти; для чотирьотактних карбюраторних двигунів $a_M = b_M = c_M = 1$; для двотактних $a_M = 0,87$; $b_M = 1,13$; $c_M = 1,09$;

ω – кутова швидкість колінчастого валу, рад/с.

Швидкість автомобіля пов'язана з кутовою швидкістю колінчастого валу таким виразом

$$V = \omega \cdot r / i_{ТР}, \quad (2.4)$$

тому формулу (2.4) можна записати в так

$$P_T = \frac{N_{e\max} \eta_{TP}}{V_{\max}} \left[a_M + b_M \frac{v}{v_N} - c_M \left(\frac{v}{v_N} \right)^3 \right], \quad (2.5)$$

де V_{\max} – швидкість автомобіля, яка відповідна максимальній потужності двигуна, м/с.

Наведена сила інерції P_I автомобіля пропорційна його масі та прискоренню j

$$P_I = M \cdot \delta_{вр} \cdot j, \quad (2.6)$$

де M – маса автомобіля;

$\delta_{вр}$ – коефіцієнт обліку обертових мас, який визначається за формулою

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{J_M \eta_{TP} u_{TP}^2 + J_H}{M_a r^2}, \quad (2.7)$$

де J_M – момент інерції маховика та пов'язаних з ним деталей двигуна і зчеплення, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_H – сумарний момент інерції всіх коліс автомобіля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Сила опору дороги P_D визначена за формулою

$$P_D = G_a \cdot \psi \quad (2.8)$$

де G_a – маса автомобіля, кг;

ψ – коефіцієнт опору дороги.

Сила опору повітря

$$P_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot F \cdot v_a^2 = W_B \cdot v_a^2 \quad (2.9)$$

де K_{Π} – коефіцієнт опору повітря (коефіцієнт обтічності), що залежить від форми та якості обробки поверхні автомобіля, $\text{H} \cdot \text{c}^2/\text{M}^4$;

F_{Π} – лобова площа автомобіля, M^2 ;

v_a^2 – швидкість руху автомобіля, M/c ;

W_{Π} – фактор обтічності, $\text{H} \cdot \text{c}^2/\text{M}^4$.

Коефіцієнт обтічності K_{Π} чисельно дорівнює силі опору повітря, що створюється на 1 M^2 лобової площі автомобіля при його русі зі швидкістю $1 \text{ M}/\text{c}$. Лобовою площею F автомобіля називають площу його проекції на площину, перпендикулярну до поздовжньої осі автомобіля.

В табл. 2.1 наведені середні значення коефіцієнта обтічності K_{Π} і лобової площі F_{Π} .

Таблиця 2.1 – Середні значення K_{Π} і F_{Π}

Автомобілі	K_{Π} , $\text{H} \cdot \text{c}^2/\text{M}^4$	F_{Π} , M^2
Легкові	0,2 – 0,5	1,5 – 2,8
Вантажні	0,6 – 0,7	3,0 – 5,0
Автобуси	0,24 – 0,40	4,5 – 6,5
Гоночні та спортивні	0,13 – 0,15	1,3 – 1,5

Коефіцієнт $\delta_{\text{вр}}$ показує, у скільки разів енергія, що витрачається при розгоні обертових і поступально рухомих деталей автомобіля, більше енергії, необхідної для розгону автомобіля, всі деталі якого рухаються тільки поступально і коефіцієнт $\delta_{\text{вр}}$ визначають за емпіричною формулою

$$\delta_{\text{вр}} = 1 + (\delta' + \delta'' u_{\kappa}^2) M_a / M, \quad (2.10)$$

де $\delta' \approx \delta'' \approx 0,03 \div 0,05$;

u_{κ} – передавальне число коробки передач;

M_a – маса автомобіля з повним навантаженням, кг ;

M – маса автомобіля з даним навантаженням, кг .

Для випадку руху автомобіля з від'єднаним від трансмісії двигуном коефіцієнт обліку обертових мас $\delta_{вр}$ визначають за формулою

$$\delta_{вр} = 1 + J_k (M \ r^2) \approx 1 + 0,05 \ M_a / M \quad (2.11)$$

Максимальну швидкість автомобіля можна визначити з аналітичного розрахунку підставивши в формулу значення сил P_T , P_D , $P_{П}$, і P_I відповідно до рівнянь

$$\frac{N_{e \max} \eta_{TP}}{v_N} \left[a_M + b_M \frac{v}{v_N} - c_M \left(\frac{v}{v_N} \right)^3 \right] - G \left[f_0 \left(1 + \frac{v^3}{a_k} \right) + \sin \alpha_D \right] \quad (2.12)$$

Згрупуємо члени з однаковими ступенями v

$$A_c v^2 - B_c v - C_c + D_c j = 0, \quad (2.13)$$

$$\text{де } A_c = \frac{N_{e \max} \eta_{TP}}{v_N^3} c_M + G f_0 / a_k + W ;$$

$$B_c = \frac{N_{e \max} \eta_{TP} b_M}{v_N^3} ;$$

$$C_c = \frac{N_{e \max} \eta_{TP}}{v_N^3} a_M + G (f_0 + \sin \alpha_D) .$$

При максимальній швидкості $j=0$ і $A_c v_{\max}^2 - B_c v_{\max} - C_c = 0$, вирішуючи це рівняння знаходимо

$$v_{\max} = \left(B_c + \sqrt{B_c^2 + 4 A_c C_c} \right) / (2 A_c) \quad (2.14)$$

Максимальне прискорення автомобіля також можна визначити за формулою (2.12) вирішивши її щодо j

$$j = (-A_c v^2 + B_c v + C_c) / D_c \quad (2.15)$$

Продиференціювавши вираз (2.15) по v_a і прирівнявши похідну нулю, знайдемо значення швидкості, при якій прискорення автомобіля досягає максимального значення

$$v_a = B_c / (2A_c) \quad (2.16)$$

Підставивши це значення в формулу (2.15), визначимо максимальне прискорення на даній передачі

$$j_{max} = \left(\frac{B_c^2}{4A_c} + C_c \right) / D_c, \quad (2.17)$$

Час розгону можна визначити шляхом інтегрування виразу

$$j = dv / dt \quad (2.18)$$

Підставивши замість j його значення відповідно до формули (2.17) і інтегруючи в межах від v_0 до v для швидкості і від нуля до t_p для часу розгону, отримаємо

$$t_p = \int_{v_0}^v \frac{D_c dv}{-A_c v^2 + B_c v + C_c} = \frac{D_c}{E_c} \cdot \ln \left| \frac{(-2A_c v + B_c - E_c)(-2A_c v_0 + B_c - E_c)}{(-2A_c v_0 + B_c - E_c)(-2A_c v + B_c - E_c)} \right|, \quad (2.19)$$

$$\text{де } E_c = \sqrt{B_c^2 - 4A_c C_c}.$$

Це час, необхідний для збільшення швидкості автомобіля від v_0 до v , є мінімально можливим, оскільки передбачається, що двигун автомобіля працює з повним навантаженням.

Загальний аналітичний вираз для визначення витрати палива в двигуні, трансмісії, підвіски і на транспортну роботу запишеться в так

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[(A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a) + \frac{100}{H_H \cdot \rho_m} (90 + 6,3V_a + 0,025P_k + G_a \cdot f + G_a i + 0,077kF \cdot V_a^2 + 0,1\delta \cdot G_a V_a) \right], \quad (2.20)$$

Для бензинових двигунів множник $100/H_H \cdot \rho_m \approx 0,00307$, а для дизельних $0,00273$. З останньої формули витрата палива на механічні витрати в двигуні визначається за формулою

$$Q_{\text{мех}} = (A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a) / \eta_i, \quad (2.21)$$

витрата палива в КПШ і редукторі ведучого моста за формулою

$$Q_{\text{КПШ}} = \frac{100}{H_H \cdot \rho_m} (90 + 6,3V_a + 0,025 \cdot P_k) / \eta_i, \quad (2.22)$$

витрата палива в підвісці за формулою

$$Q_{\text{підв}} = \frac{100}{H_H \cdot \rho_m} \cdot G_a \cdot f / \eta_i, \quad (2.23)$$

і витрата палива на транспортну роботу по формулі, л/100 км

$$Q_{\text{роб}} = \frac{100}{H_H \cdot \rho_m} (G_a \cdot i + 0,077kF \cdot V_a^2 + 0,1\delta \cdot G_a \cdot V) / \eta_i \quad (2.24)$$

З наведеного рівняння випливає, що витрата палива в л/100 км є узагальнюючим параметром оцінки якості технічних рішень силових агрегатів та підвіски автомобіля.

Ефективність автомобіля має першорядне значення для підвищення його продуктивності і зниження витрат на транспортну роботу. Чим динамічніше автомобіль, тим вище його середня швидкість, він швидше виконує транспортну роботу і витрачає менше часу на пересування. При оцінці ефективності автомобіля використовують такі вимірники як швидкість, прискорення, час розгону і витрату палива. Для безпеки руху мають значення наступні показники оцінки ефективності автомобіля: максимальна швидкість, мінімальна витрата палива і час розгону на горизонтальній дорозі з твердим покриттям високої якості.

В екологічній проблемі України автомобільний транспорт розглядається як найважливіший фактор впливу на атмосферу, літосферу і гідросферу. Тому проблема виробництва і експлуатації транспортних засобів, а також споживання енергетичних ресурсів є найважчими проблемами.

Оцінку екологічної безпеки автомобіля можна вирішити шляхом комплексної оцінки ряду техніко-екологічних показників двигунів, які визначають рівень викиду шкідливих речовин в атмосферу при різних умовах експлуатації та збиток від забруднення атмосфери. Одним з основних заходів, що сприяє зменшенню викиду шкідливих речовин є зниження витрати палива. Сумарний викид залежить в основному від витрати палива і процентного вмісту шкідливих речовин.

Очевидно, що при оцінці якості автомобілів, які мають меншу витрату палива і мінімальний викид шкідливих речовин основною складністю визначення комплексного показника оцінки токсичності полягає в тому, що всі шкідливі компоненти впливають одночасно і небезпека одного посилюється присутністю іншого. Критерій сумарної токсичності є багатовимірним вектором, який важко виразити одним числом

Допустимі норми вихлопу для легкових автомобілів в Європі з дизельними і бензиновими двигунами приведені в таблицях 2.2, 2.3.

Таблиця 2.2 – Допустимі норми вихлопу для дизельних двигунів

Стандарт	Рік впровадження	Чадний газ CO, г/км	Оксиди азоту NO _x , г/км	Шкідливі речовини PM, г/км
Евро 1	1993	2,72	-	0,140
Евро 2	1996	1,0	-	0,080
Евро 3	2000	0,64	0,50	0,050
Евро 4	2005	0,50	0,25	0,025
Евро 5	2009	0,50	0,18	0,005
Евро 6	2015	0,50	0,08	0,005

Таблиця 2.3 – Допустимі норми вихлопу для бензинових двигунів

Стандарт	Рік впровадження	Чадний газ CO, г/км	Оксиди азоту NO _x , г/км	Шкідливі речовини PM, г/км
Евро 1	1993	2,72	–	–
Евро 2	1996	2,20	–	–
Евро 3	2000	2,30	0,15	–
Евро 4	2005	1,00	0,08	–
Евро 5	2009	1,00	0,06	0,005
Евро 6	2015	1,00	0,06	0,005

Ефективність автомобіля оцінюється також по шкідливості відпрацьованих газів. Шкідливість відпрацьованих газів не можна оцінювати за змістом одного токсичного компонента. Необхідно враховувати загальну кількість виділених компонентів, їх шкідливість і режим роботи двигуна (розвивається потужність). У бензинових двигунах при роботі на багатих сумішах (холостий хід, малі навантаження) основними токсичними компонентами є оксид вуглецю і вуглеводню, на бідних сумішах - оксиди азоту. У дизельних двигунах основні токсичні компоненти при різних оборотах і навантаженнях – оксиди азоту, оксиди сірки, сажа та бенз(а)пірен.

Ефектом сумачії дій мають практично всі шкідливі речовини відпрацьованих газів (оксид вуглецю, оксид азоту, формальдегід, гексан, сірчистий ангідрид, аміак та ін.)

Методика розрахунку викидів шкідливих речовин відпрацьованими газами істотно спрощується, якщо прийняти коефіцієнт надлишку повітря, що дорівнює одиниці, а витрату палива прийняти мінімальною. В цьому випадку викид шкідливих речовин можна визначити за спрощеною формулою

$$Q_{BB} = 0,0548 \cdot \rho_T \cdot M_{BB} \cdot X_{BB} \cdot \frac{H_{min} \cdot \rho_T}{100} \quad (2.25)$$

де ρ_T – щільність повітря;

M_{BB} – молекулярна маса;

X_{BB} – відсоток вмісту шкідливих речовин;

$H_{min} \cdot \rho_m$ – теплота згоряння палива.

Для двигунів при мінімальній нормі витрати палива H_{min}

$$Q_{BB} = 0,0405 \cdot M_{BB} \cdot X_{BB} \cdot \frac{H_{min}}{100} \quad (2.26)$$

Згідно з наведених вище формул можна зробити висновок, що при $\alpha \approx 1$, $X_{CO} \approx 0,3\%$, $X_{CH} \approx 0,021\%$ і $X_{NO} \approx 0,36\%$. Приймавши молекулярну масу для CO – 28, для C₆H₁₂ – 86 і для NO₂ – 46, розрахункові вирази для певних викидів шкідливих речовин для бензинових автомобілів можна записати в такий спосіб

$$Q_{CO} = 0,003 \cdot H_{min}, \quad (2.27)$$

$$Q_{CH} = 0,00073 H_{min}, \quad (2.28)$$

$$Q_{NO_x} = \frac{0,0067 \cdot H_{min}}{0,06}, \quad (2.29)$$

а для дизельних двигунів

$$Q_{NOx} = 0,03 \cdot N_{min} \quad (2.30)$$

Важливими характеристиками автомобіля при оцінці комфорту є колісна база, колія коліс, температура і шум в салоні, а також наявність додаткових опцій, наприклад, регулювання та підігрів сидінь, керма і т.п. Колісна база і колія впливають на комфортні умови для пасажирів. Автомобілі з довгою колісною базою відносяться до бізнес і представницького класу. Пасажири задніх сидінь в таких автомобілях можуть вільно розміститися, не зачіпаючи колінами спинки передніх сидінь.

Ходові характеристики автомобілів з довгою колісною базою відрізняються плавністю ходу і більш стійкі на дорозі, виявляють кращу динаміку при розгоні, менше йдуть в занос при поворотах.

Оптимальне співвідношення ширини колії і довжини колісної бази становить 1,6. Саме таке співвідношення лежить в межах «золотого перетину» і забезпечує найкращу керованість.

Висока температура в салоні згубно впливає на здоров'я водія та пасажирів. З підвищенням температури в салоні підвищується артеріальний тиск, прискорюється пульс, підвищується дратівливість і в результаті підвищується ризик ДТП. У перегрітому салоні водій повільно реагує на прояв небезпечних ситуацій на дорозі, сильно підвищується стомлюваність і знижується швидкість реакції. Оптимальна температура в салоні автомобіля складає влітку 22–24°C, а взимку 17–20°C.

Шум знижує продуктивність праці. Встановлено, що при роботах, які потребують підвищеної уваги при збільшенні рівня звуку від 70 до 90 дБА має місце зниження продуктивності праці на 20 %. Працюючі в умовах тривалої шумової дії випробовують дратівливість, головну біль, запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, зниження апетиту, біль у вухах і т.п. Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються

фізіологічні функції, з'являється втома у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами в нервово-психічній напрузі, погіршується мовна комутація. Все це знижує працездатність людини її продуктивність, якість і безпеку праці. Встановлено, що надмірний рівень шуму впливає на роботоздатність людей. При фізичній праці вона знижується на 30 %, а при розумовому – на 60 %. Вплив шуму на вегетативну нервову систему проявляється навіть при невеликих рівнях звуку (40–70 дБА) і не залежить від суб'єктивного сприйняття шуму людиною. Рівень шуму автомобіля зазвичай оцінюють в дБА, враховуючи характер суб'єктивного сприйняття гучності звуку людиною. При вимірі цієї величини використовують шумомір з відповідним контуром (корекцією А, частково зрізаючої складові спектра з частотами менше 500 Гц).

Шум не завжди має на людину шкідливий вплив. Для нормального існування, щоб не вважати себе ізольованим від зовнішнього світу, людині потрібен шум у 20–30 дБ. Однак в салоні автомобіля рівень шуму при швидкості 50 км/год може становити 60–70 дБ і більше, при 100 км/год – 70–80 дБ. Однак в ряді випадків шум в автомобілі з меншим рівнем шуму дБА, сприймається людиною як більш неприємний, ніж в автомобілях з більш високим рівнем шуму. Тому часто додатково використовують інші оціночні параметри. Так, наприклад, використовується індекс артикуляції ІА. Індекс артикуляції характеризує можливість розмовляти нормальним голосом всередині автомобіля. Експериментально визначено рівень мови на відстані 1 м. Для сучасних легкових автомобілів середнього класу при швидкості руху 120 км/год індекс артикуляції зазвичай знаходиться в межах 25–50 %. Різниця в рівнях шуму в дБ або дБА в легкових автомобілях при швидкості 100 км/год часто досягається 25–30 дБ, що вказує на високу частку інфазвуку в загальному спектрі шуму. Допустима межа шуму в салоні автомобілі становить 74–75 дБ при частоті 1000 Гц. Шум в салоні автомобілів при русі з постійною швидкістю і розгоні до 100 км/год наведено на рисунках 2.3, 2.4.

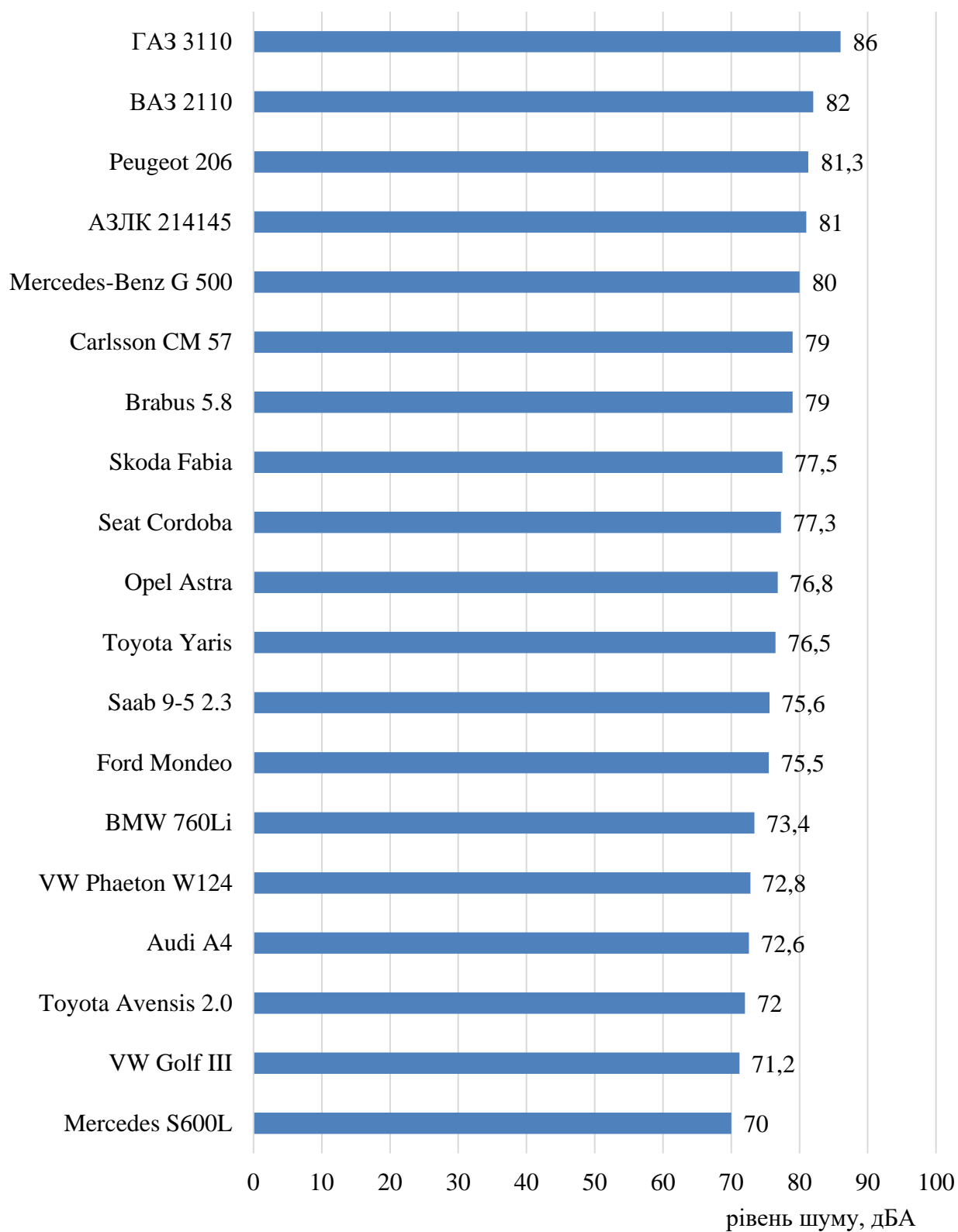


Рисунок 2.3 – Шум в салоні при інтенсивному розгоні до 100 км/год

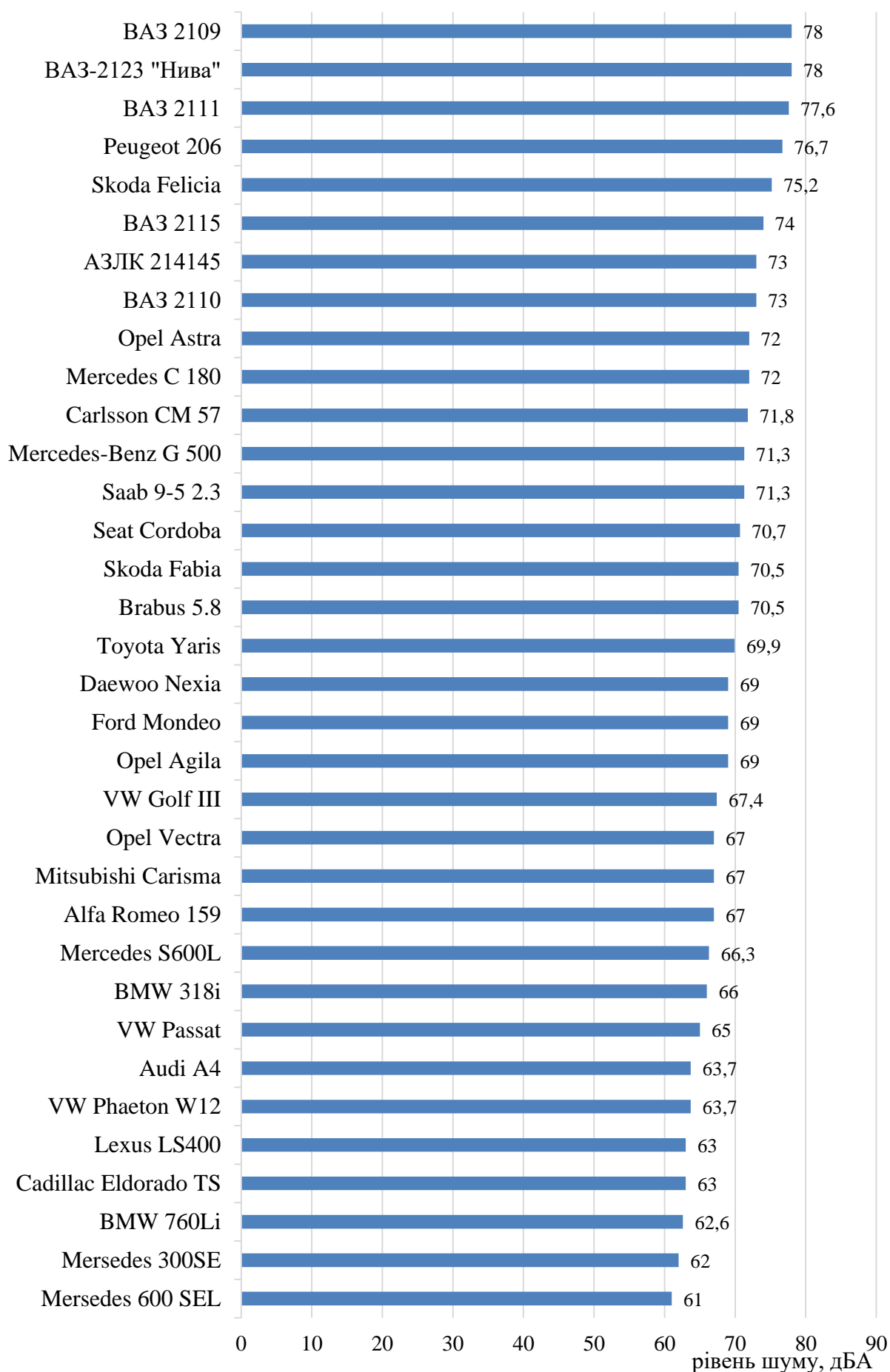


Рисунок 2.4 – Шум в салоні при швидкості руху 100 км/год

2.3 Математична модель оцінки показників якості автомобілів

Оцінка показників якості автомобілів на етапі експлуатації дозволяє виявити шляхи більш повного використання закладених і передбачених нормативно-технічною документацією властивостей, а також організувати збір інформації в період експлуатації, необхідної для автовиробників, технологів і конструкторів.

Якість і економічність сучасних автомобілів повинні оцінюватися технологічними і конструктивними характеристиками цих автомобілів в залежності від термінів їх виготовлення. Критерій часу в створенні нових конструкцій об'єктивно необхідний при оцінці якості автомобілів і повинен зменшуватися в зв'язку з різким скороченням термінів морального зносу обладнання, високими темпами технічного озброєння промисловості та необхідністю зниження собівартості автомобілів. Під якістю автомобілів розуміють сукупність властивостей і показників, що визначають їх придатність для задоволення певних потреб відповідно до призначення. Вона залежить від технічного рівня машинобудування і його окремих галузей, що визначається великим числом факторів: досконалістю конструкцій автомобілів, якістю застосовуваних матеріалів, рівнем технології і засобів виробництва, рівнем стандартизації та ін. Для оцінки якостей автомобілів розроблені показники якості. Найбільш ефективними показниками якості машин і механізмів є їх експлуатаційні показники. Експлуатаційні показники – це показники, що визначають якість виконання виробом заданих функцій.

Важливим критерієм оцінки якості автомобілів під час експлуатації є функціональна стабільність систем і агрегатів, які обумовлюють здатність виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу або напрацювання. Від функціональної стабільності автомобіля, його здатності працювати тривалий час без відмов частих зупинок на профілактичні огляди і на ремонт, трудомісткості ремонту, а також від повсякденної готовності автомобіля до

роботи залежать витрати часу і коштів на обслуговування і ремонт при експлуатації. Надійність – властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу або напрацювання. Показниками надійності є безвідмовність, ремонтпридатність, збереженість, а також довговічність його частин. Для цих показників диференційний метод оцінки якості автомобілів виявляється неприйнятним і слід використовувати інтегральний, як викладено вище.

Інтенсивна експлуатація сучасних автомобілів, їх автоматизація та насиченість різноманітними механізмами і керуючими пристроями, висока безпека яких повинна бути забезпечена протягом усього періоду експлуатації, пред'являють великі вимоги до показників надійності і довговічності як до одних з головних при оцінці якості автомобілів.

В основу створення нових автомобілів покладені висока надійність, економічність і екологічність. Надійність характеризується терміном служби автомобіля. Поліпшення економічності досягається за рахунок скорочення маси і розмірів автомобілів, поліпшення аеродинамічних характеристик, скорочення всіх видів механічних втрат, застосування комп'ютеризованих систем контролю і управління силовими агрегатами, контролю швидкості руху і т.п. Вимоги зручностей при проведенні технічного обслуговування і ремонту, високої надійності, економічності і екологічності є основними при оцінці якості автомобілів. Якісний і надійний автомобіль коштує дорожче. Це компенсується в процесі його використання, так як підтримання його працездатного стану буде витрачено менше коштів, в нього закладено великий ресурс безвідмовної роботи систем, механізмів і конструктивних елементів. Чим надійніше автомобіль, тим довше буде виконувати задані функції, зберігаючи при цьому експлуатаційні показники в установлених межах протягом необхідного проміжку часу в різних умовах експлуатації.

У різних умовах експлуатації автомобілі з різним рівнем надійності потребують на підтримку працездатності стану різних матеріальних і

трудоу витрат. Тому при оцінці якості конкретного автомобіля необхідно враховувати його функціональну стабільність на етапі експлуатації.

Якість автомобіля з урахуванням його функціональної стабільності та енергоємності експлуатації в різних умовах роботи оцінюється з позиції періодичності виконання технічних впливів, енерговитрат і вартості робіт по технічному обслуговуванню та ремонту.

Критерій, що оцінює функціональну стабільність автомобіля, визначається за формулою

$$K_H = \frac{0,01 H_{л.min} \cdot C_T \cdot L_{ГАР}}{K_B \cdot C_{авт}} \quad (2.1)$$

де K_B – коефіцієнт, що враховує зовнішні умови роботи автомобіля;

$C_{авт}$ – вартість нового автомобіля, грн;

C_T – вартість одного літра палива, грн;

$H_{л.min}$ – мінімальна витрата палива автомобілем, л/100 км;

$L_{ГАР}$ – гарантійний пробіг автомобіля, км.

Для визначення мінімальної витрати палива автомобілем доцільно вибирати режими роботи двигуна, при яких значення питомої витрати палива мінімальні, тобто $g_e = g_{emin}$. При такому режимі значення середнього ефективного тиску дорівнює $P_e = 0,5 P_{emax}$, а швидкість обертання колінвалу становить $n = 0,6 n_{max}$, тоді потужність двигуна $N_{дв} = 0,3 \cdot N_{max}$, при якій питома витрата буде мінімальна. Крім того, слід прийняти швидкість руху автомобіля, яка буде відповідна найбільшому ресурсу автомобіля, тобто $V_a = 0,5 \cdot V_{max}$, отже

$$H_{л.min} = \frac{N_{max} \cdot g_{emin}}{0,038 \rho_T \cdot V_{max}} \quad (2.2)$$

ρ_T – питома вага палива, кг/л;

N_{max} – максимальна потужність двигуна, кВт.

Таким чином, критерій який оцінює функціональну стабільність автомобіля з ДВЗ

$$K_H = \frac{0,079 N_{max} \cdot g_{emin} \cdot C_T \cdot L_{ГАР}}{C_{авт} \cdot \rho_T \cdot V_a} = \frac{A}{V_a} \quad (2.33)$$

$$\text{де } A = \frac{0,079 N_{max} \cdot g_{emin} \cdot C_T \cdot L_{ГАР}}{C_{авт} \cdot \rho_T}.$$

Коефіцієнт зовнішніх умов слід приймати для автомобілів з ДВЗ та електромобілів рівним

$$K_B = \frac{V_a}{0,3V_{max}}, \quad (2.34)$$

для гібридних автомобілів

$$K_B = \frac{V_a}{0,2V_{max}} \quad (2.35)$$

Критерій, який оцінює функціональну стабільність гібридних автомобілів складе

$$K_H^2 = \frac{20 N_{max} \cdot g_{emin} \cdot C_T \cdot L_{ГАР}}{C_{авт} \cdot \rho_T \cdot V_{max} \cdot V_a} = C/V_a \quad (2.36)$$

З наведених рівнянь випливає, що для конкретного базового або гібридного автомобіля критерій функціональної стабільності залежить від швидкості руху.

Критерій функціональної стабільності електромобілів з урахуванням зовнішніх умов експлуатації складе

$$K_H^e = \frac{2,7 E_{AKB} \cdot C_e \cdot L_{ГАР} \cdot V_{max}}{C_{авт} \cdot L_3 \cdot V_a} = B/V_a \quad (2.37)$$

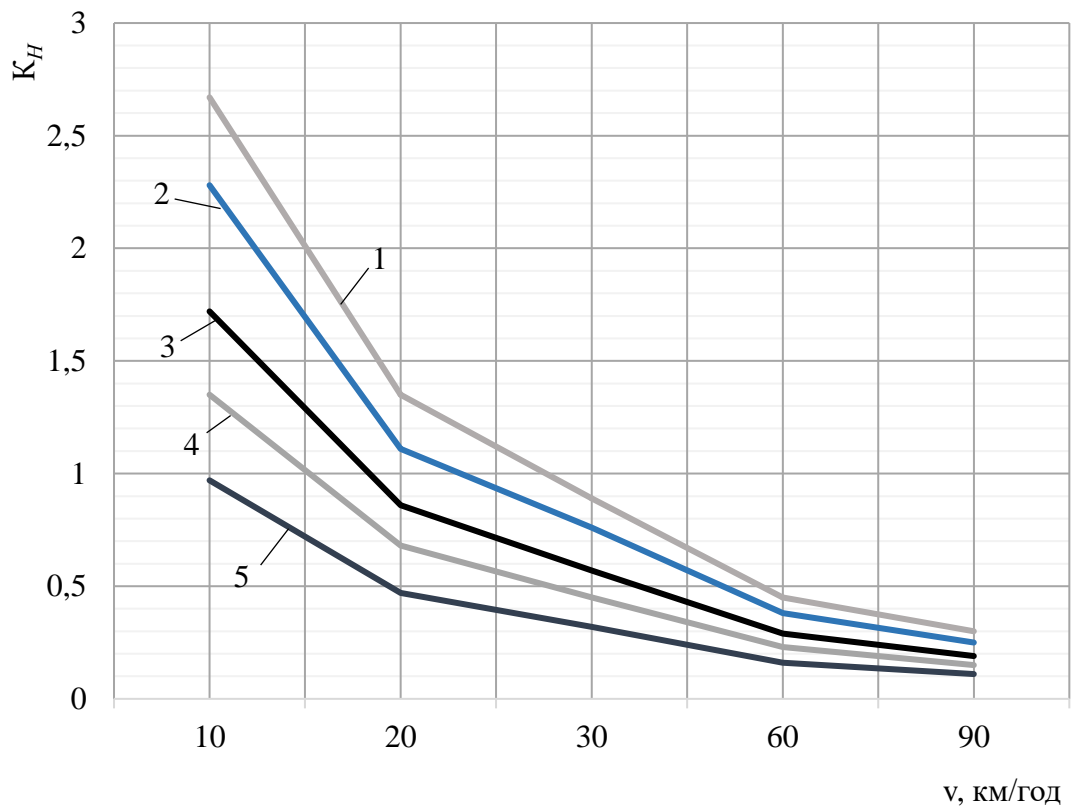
$$\text{де } B = \frac{E_{AKB} \cdot C_e \cdot L_{ГАР}}{0,3 L_3 \cdot V_{max} \cdot C_{авт}} ;$$

L_3 – запас ходу на електротязі, км;

E_{AKB} – ємність батареї, кВт·год

C_e – вартість одного кВт·год.

На рисунку 2.5 показано зміну критерію функціональної стабільності автомобіля з ДВЗ, гібридних та електромобілів в залежності від середньої швидкості руху автомобіля.



1 - Lanos Sens; 2 – Mitsubishi Lancer; 3 – Chevrolet Aveo;
4 – Toyota Prius; 5 – Nissan Leaf;

Рисунок 2.5 – Зміна критерію функціональної стабільності автомобіля з ДВЗ, гібридних та електромобілів в залежності від середньої швидкості руху автомобіля

Для визначення інтегрального показника автомобіля необхідно визначити значення критерію оцінки якості комфорту. У період динамічного зростання високо конкурентного автомобільного ринку постійно підвищується рівень комфорту як водія, так і пасажирів. Це досягається за рахунок поліпшення конструкції автомобіля, тобто розмірів салону, багажника, колії коліс та колісної бази, а також рівня шуму та температури в салоні. Отже, кількісно критерій комфорту можна визначити з рівняння

$$K_{\phi} = \frac{L_{\phi} \cdot K_k \cdot Y_{ш}}{L_k \cdot L_{\text{опт}} \cdot Y_{ш \text{ max}}}, \quad (2.38)$$

де L_{ϕ} , L_k – відповідно база і колія коліс автомобіля, м;

$L_{\text{опт}}$ – оптимальне співвідношення бази і колії коліс автомобіля, які дорівнюють значенню 1,6;

K_k – коефіцієнт що враховує наявність кондиціонера $K_k = 0,9$, а клімат-контроля $K_k = 0,8$;

$Y_{ш}$ – рівень шуму в салоні при русі автомобіля, дБ;

$Y_{ш \text{ max}}$ – найбільше значення рівня шуму в салоні, яке становить $Y_{ш \text{ max}} = 80$ дБ.

Таким чином, рівняння визначення критерію комфорту матиме вигляд

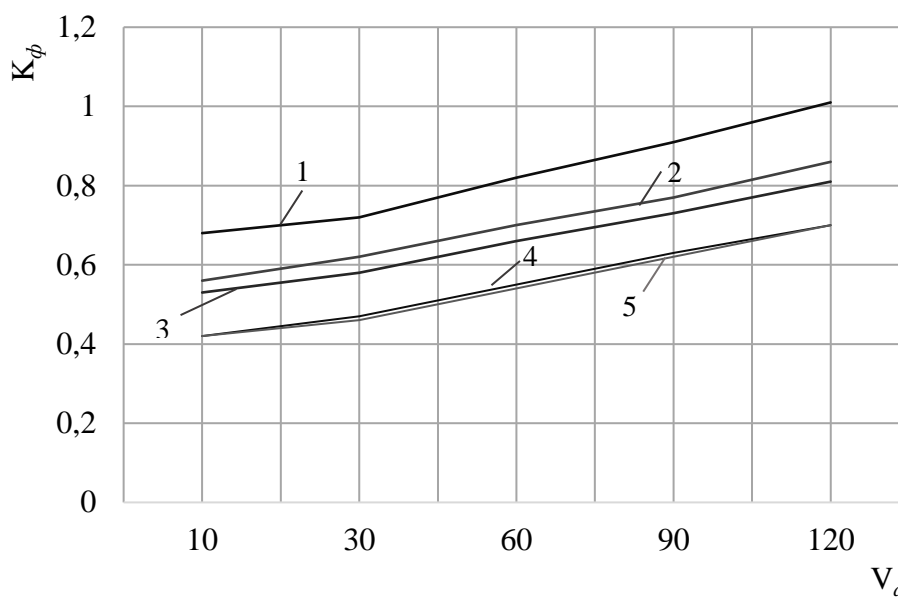
$$K_{\phi} = \frac{L_{\phi} \cdot K_k \cdot Y_{ш}}{128 L_k} \quad (2.39)$$

де $Y_{ш} = z + 0,2V_a$ для автомобілів з ДВЗ $z=40$, а для електромобілів і гібридних $z=30$.

Оцінка ефективності АТЗ, як відомо, здійснюється за допомогою обґрунтованої системи наступних показників: одиничних, узагальнених, комплексних і інтегральних. Причому технічний рівень АТЗ традиційно оцінюється за допомогою показників експлуатаційних властивостей в

порівнянні з автомобілем – аналогом, а якість – в порівнянні з нормованими показниками. Отже, в основі визначення ступеня досконалості конструкції автомобіля лежить оцінка його експлуатаційних властивостей.

На рис. 2.6 наведені зміни критерію комфорту автомобілів в залежності від середньої швидкості руху.



1 - Lanos Sens; 2 – Chevrolet Aveo; 3 – Mitsubishi Lancer;
4 – Toyota Prius; 5 – Nissan Leaf

Рисунок 2.6 – Зміна критерію комфорту від середньої швидкості руху автомобіля

Однак, більшість наукових робіт [22, 27, 30], виконаних в цій області відносяться, в основному, до розвитку теорії автомобіля – наукової основи його розрахунку та проектування. В них розроблені залежності між конструктивними параметрами автомобіля і процесами його руху, які виражені математично або графічно, що дозволяють оцінювати технічний рівень і якість автомобіля по значеннях показників окремих експлуатаційних властивостей.

У більшості опублікованих робіт автори не ставили перед собою завдань, спрямованих на підвищення ефективності функціонування

автомобіля в загальній системі автомобільного транспорту. Зазвичай розглядався вплив якогось окремо взятого параметра на деякі показники експлуатаційних властивостей. Тим часом, автомобіль є складної технічної підсистемою загальної системи «автомобільний транспорт». Тому необхідно розглядати в сукупності як його конструктивні параметри, так і його експлуатаційні показники, які досить повно характеризують ефективність автомобіля в загальному транспортному процесі, що відповідає сучасній концепції розвитку автомобільного транспорту взагалі і розвитку легкового автомобільного транспорту.

Для повної науково обґрунтованої оцінки технічної досконалості конструкції автомобіля, вибору його технічних і конструктивних параметрів і тим більше, для їх оптимізації необхідна всебічна оцінка пристосованості всіх елементів конструкції автомобіля не тільки до руху, але і до всіх інших процесів, з яких складається його експлуатація – необхідна оцінка, що заснована на вивченні як експлуатаційних, так і споживчих властивостей автомобіля.

Такий підхід має місце і при вирішенні проблеми вибору оптимальних параметрів автомобіля (автопоїзда). За критерієм приведених витрат на перевезення з використанням прийнятої методики можна оцінювати будь-які суттєві зміни в конструкції АТЗ, так як при цьому змінюються і відповідні експлуатаційні властивості. Однак, це можливо лише при оцінці рівня тих АТЗ, для яких розроблені укрупнені нормативи. Але ці нормативи розробляються на основі результатів експлуатації, а отже, при оцінці технічного рівня нових АТЗ цей метод мало придатний. Тому в автомобільній промисловості технічний рівень нових АТЗ оцінюють за комплексом показників основних експлуатаційних властивостей. Якщо більшість показників перевершує або поступається не більше ніж на 10 % показниками аналога, робиться висновок про відповідність конструкції АТЗ сучасним вимогам. Як аналог приймаються, як правило, кілька кращих виробів вітчизняного або зарубіжного виробництва.

Критерій якості технічних рішень визначається на підставі аналізу значень показників автомобіля, які оцінюються та відповідних показників аналогів, які відображають кращі світові тенденції їх розвитку. До значень показників оцінюваного автомобіля відносяться: витрата палива, маса автомобіля, час розгону до 100 км/год, максимальна швидкість. Виходячи зі сказаного вище, критерій оцінки якості технічних рішень для автомобілів з ДВЗ і гібридною силовою установкою можна визначити так

$$K_T = \frac{0,036 H_{min} \cdot t_p \cdot \rho_T \cdot V_{max}}{G_a}, \quad (2.40)$$

а для електромобілів критерій оцінки якості технічних рішень

$$K_T^e = \frac{0,324 E_{AKB} \cdot t_p \cdot \rho_T \cdot V_{max}}{L_3 \cdot G_a} \quad (2.41)$$

Зміни критерію оцінки якості наведено на рис. 2.7

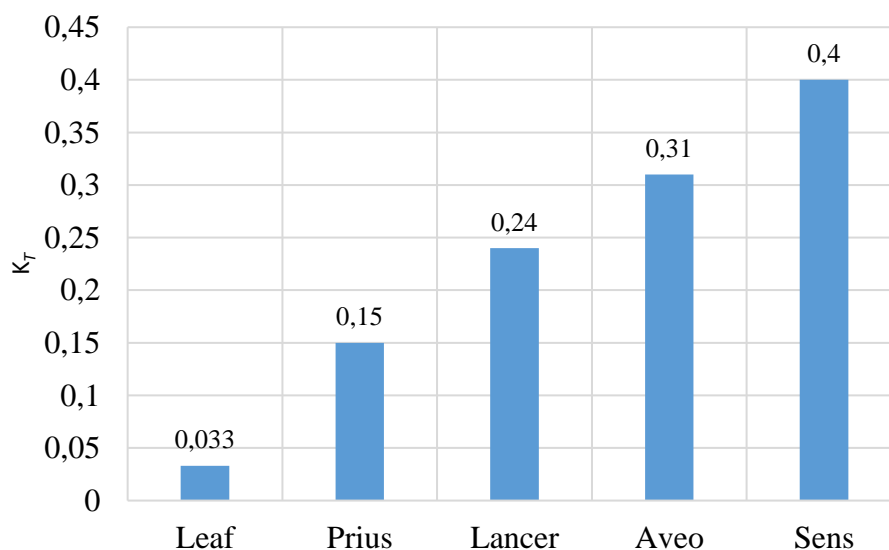


Рисунок 2.7 – Зміна критерію оцінки якості технічних рішень по маркам автомобілів

Не без підстави оцінку ефективності АТЗ в заданих умовах експлуатації пропонується визначати (на додаток до розрахунку наведених витрат) по трудомісткості, матеріаломісткості і енергоємності перевезень. Енергоємність є ні що інше, як кількість енергії, витраченої на одиницю виконаної роботи. Для автомобіля це буде витрата палива на одиницю транспортної роботи. Правда, в цьому випадку відсутня оцінка ефективності АТЗ за показниками його експлуатаційних властивостей.

Екологічну безпеку автомобілів можна оцінити шляхом комплексного аналізу ряду техніко-екологічних проблем, включаючи закономірності утворення токсичних і канцерогенних речовин, техногенне забруднення атмосфери, дослідження паливо-екологічних показників двигунів, конструктивні і функціональні методи поліпшення паливо-екологічних показників, методи розрахунку рівнів викидів шкідливих речовин в атмосферу в різних умовах роботи і оцінки збитку від забруднення атмосфери.

При оцінці якості автомобілів необхідно орієнтуватися на встановлені вимоги до максимальних викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Уряди європейських країн на початку 90-х років минулого століття почали розробляти систему заходів для поліпшення екологічної безпеки та паливної економічності автомобілів. Виробників автомобілів і автомобільних двигунів зобов'язали поетапно вдосконалювати свою продукцію з метою зменшення шкідливих викидів у вихлопних газах. Установлені вимоги до максимальних викидів ДВЗ отримали назву «Євро» (залежно від ступеня жорсткості вимог). Допустимі норми вихлопу для легкових автомобілів у Європі для дизельних двигунів та бензинових наведені в табл. 2.2 і 2.3.

На відміну від американських європейські стандарти наразі не регулюють викиди «парникового» вуглекислого газу (CO₂). Норми Євро 5 і Євро 6 вимагають від виробників випускати ТЗ з викидом шкідливих часток РМ (твердих або рідких часток), що не перевищує 5 мг/км. За оксидами азоту

(NO_x – нітрооксидів) для дизелів встановлено норму 180 мг/км (Євро 5) і 80 мг/км (Євро 6).

У країнах ЄС контроль екологічних параметрів автомобілів здійснюється при проходженні технічних оглядів, з обов'язковою сплатою екологічного платежу всіма власниками ТЗ. Під час експлуатації автомобілі підлягають екологічному огляду, із виданням зеленого талона на спеціально атестованих пунктах (майстернях, станціях техобслуговування). Дорожня поліція безпосередньо на шляхах екологічного контролю не проводить, але перевіряє наявність екологічного огляду. В разі відсутності зеленого талона та невідповідності екологічним нормам передбачено застосування штрафних санкцій і платний екологічний огляд.

Основною трудностю визначення показника якості екологічної безпеки і сумарної токсичності полягає в тому, що всі шкідливі компоненти впливають одночасно і небезпека одного посилюється присутністю іншого. Критерій сумарною токсичності є багатовимірним вектором, якій важко висловити одним числом.

Ефектом сумачії дій мають практично всі шкідливі речовини відпрацьованих газів. У зв'язку з цим оцінити якість екологічної безпеки автомобіля можна істотно спростити, якщо прийняти за базову норму стандарту (Євро-6) оксид азоту (NO_x) рівній 0,06 г/км для бензинових і 0,08 г/км для дизельних двигунів, а витрату палива прийняти в розрахунку мінімальну. Тоді розрахункові вирази визначення якості екологічної безпеки можна записати як для автомобілів з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) (2.42), так для гібридних автомобілів (2.43)

$$K_e = \frac{0,0033 H_{л.min} \cdot V_{max}}{K_{NO_x} \cdot V_a}, \quad (2.42)$$

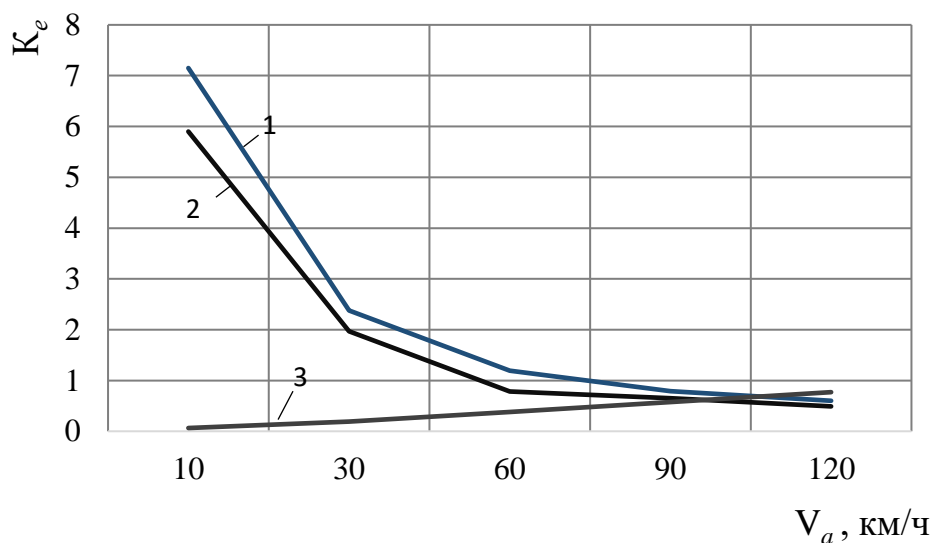
де K_{NO_x} – допустима норма оксиду азоту за стандартом (Євро-6), г/км.

$$K_e = \frac{0,0275 H_{л.min} \cdot N_e \cdot V_a}{K_{NO_x} \cdot V_{max} \cdot N_{ДВЗ}} \quad (2.43)$$

де N_e – потужність електродвигуна, кВт;

$N_{ДВЗ}$ – потужність ДВЗ, кВт.

Зміна критерію екологічної безпеки від середньої швидкості руху автомобілів наведені на рисунку 2.8.



1– Mitsubishi Lancer; 2 – Chevrolet Aveo; 3 – Toyota Prius

Рисунок 2.8 – Залежність критерію екологічної безпеки від середньої швидкості руху автомобіля

Під безпекою автомобіля мається на увазі система конструктивних особливостей, що характеризує їх пристосованість до руху без аварій і зниженню числа дорожньо-транспортних пригод. Безпека автомобіля характеризується гальмівними якостями, габаритами і наявністю додаткових опцій, що забезпечують безпечні умови роботи водія.

Активна безпека руху автомобіля багато в чому залежить від конструкції гальмівних систем, які мають значний вплив на швидкість руху автомобіля в різних умовах експлуатації та на ефективність роботи автомобіля в цілому.

В теорії автомобіля для оцінки гальмівних властивостей використовується ряд показників: максимальне уповільнення, гальмівний шлях, час спрацьовування гальмівних механізмів, падіння ефективності внаслідок тривалої роботи (нагрівання), діапазон і алгоритм зміни гальмівних зусиль.

Ці показники визначаються конструкцією систем та механізмів автомобіля. Хоча уповільнення автомобіля залежить від конструкції та справності гальмівних механізмів, також на нього впливає стан шин та амортизаторів (з несправними амортизаторами колесо не може на нерівностях зберігати постійний контакт з дорогою).

Коефіцієнт зчеплення з поверхнею залежить від шин та стану дорожнього покриття. На величину уповільнення впливає тип шин (зимова або літня), ширина та малюнок протектора, ступінь його зносу. В ході тестувань різних шин було встановлено, що гальмівний шлях одних та тих же машин з шинами різних виробників може відрізнятись на кілька метрів.

Формула для розрахунку гальмівного шляху автомобіля

$$S_T = \frac{k_p}{254 \cdot \varphi_{зч}} \cdot v_0^2, \quad (2.44)$$

де S_T – гальмівний шлях, м;

k_p – гальмівний коефіцієнт;

V_0 – швидкість на початку гальмування, км/год;

$\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення з дорогою.

В технічній характеристиці автомобіля приводиться значення гальмівного шляху до повної зупинки при швидкості 100 км/год по сухій дорозі. В таблиці 2.4 наведені значення гальмівного шляху по різним маркам автомобілів.

Таблиця 2.4 – Гальмівний шлях автомобілів

Марка автомобілів	Гальмівний шлях, м
BMW M3 GTS	32,6
Lexus LFA	33,3
Porsche 911 Carrera	33,8
Mitsubishi Lancer	39
Chevrolet Aveo	41
Toyota Prius	39

Як видно з таблиці 2.4 довжина гальмівного шляху різна. Очевидно, гальмівний коефіцієнт може характеризувати якість гальмівних властивостей автомобіля при різній швидкості руху та дорожніх умовах. Виконавши перетворення формули (2.44) отримаємо

$$k_p = 0,025 S_T \cdot \varphi_{зч} \quad (2.45)$$

Таким чином, гальмівний коефіцієнт може бути прийнятий узагальнюючим показником активної безпеки автомобілів.

Пасивна безпека – це сукупність конструктивних та експлуатаційних властивостей автомобіля, спрямованих на зниження тяжкості дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Системи пасивної безпеки спрацьовують при зіткненні, коли активні системи безпеки не змогли допомогти водієві уникнути зіткнення. Включає в себе наступні елементи:

- ремені безпеки;
- натягувачі ременів безпеки;
- активні підголовники;
- подушки безпеки;
- безпечна конструкція кузова;
- аварійний розмикач акумуляторної батареї;
- ряд інших пристроїв (дитячі системи безпеки та ін.).

Узагальнюючим показником пасивної безпеки може бути прийнято кількість зірок отриманих в рейтингу безпеки EuroNCAP Європейської програми перевірки пасивної безпеки серійних легкових автомобілів.

Таким чином, узагальнюючим критерієм оцінки безпеки автомобілів може бути визначений з наступного рівняння

$$K_6 = \frac{1,8S_T}{n_3 \cdot S_{Tmin}}, \quad (2.46)$$

де n_3 – кількість зірок отриманих в оціночному рейтингу краш-тестів;

S_T – гальмівний шлях при швидкості 100 км/год, м;

S_{Tmin} – найменший гальмівний шлях серед усіх учасників експерименту автомобілів, м.

Чисельні значення критерію оцінки якості безпеки приведені на рисунку 2.9

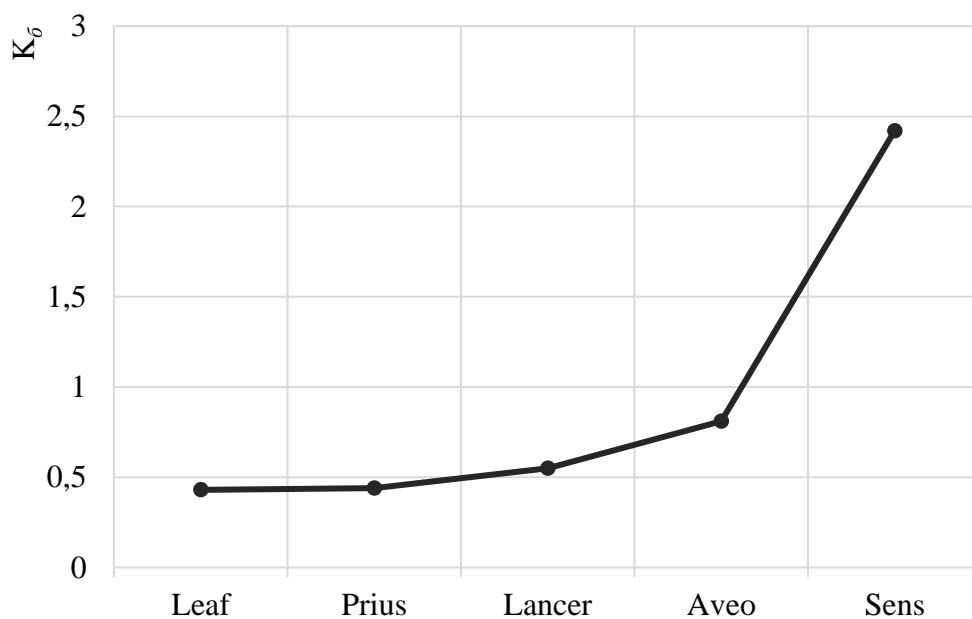


Рисунок 2.9 – Зміни критерію оцінки якості безпеки по маркам автомобілів

Математичні залежності критеріїв оцінки якості автомобілів наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Математичні залежності критеріїв оцінки якості автомобілів

Показники якості	Математичні вирази
Комфорт	$K_{\phi} = \frac{L_{\phi} \cdot K_{\kappa} \cdot \gamma_{\text{ш}}}{128L_{\kappa}},$
Функціональна стабільність	<p>для автомобілів із ДВЗ</p> $K_{\text{H}} = \frac{0,079N_{\text{max}} \cdot g_{e \text{ min}} \cdot C_{\text{T}} \cdot L_{\text{ГАР}}}{C_{\text{авт}} \cdot \rho_{\text{T}} \cdot V_{\text{a}}} = \frac{A}{V_{\text{a}}}$ <p>де $A = \frac{0,079N_{\text{max}} \cdot g_{e \text{ min}} \cdot C_{\text{T}} \cdot L_{\text{ГАР}}}{C_{\text{авт}} \cdot \rho_{\text{T}}}$</p> <p>для гібридних автомобілів</p> $K_{\text{H}} = \frac{C}{V_{\text{a}}} \text{ де } C = \frac{20N_{\text{max}} \cdot g_{e \text{ min}} \cdot C_{\text{T}} \cdot L_{\text{ГАР}}}{C_{\text{авт}} \cdot \rho_{\text{T}} \cdot V_{\text{max}}}$ <p>для електромобілів</p> $K_{\text{H}}^e = \frac{2,7E_{\text{АКБ}} \cdot C_e \cdot L_{\text{ГАР}} \cdot V_{\text{max}}}{C_{\text{авт}} \cdot L_3 \cdot V_{\text{a}}} = \frac{B}{V_{\text{a}}},$ <p>де $B = \frac{2,7E_{\text{АКБ}} \cdot C_e \cdot L_{\text{ГАР}}}{C_{\text{авт}} \cdot L_3}$</p>
Безпека	$K_{\phi} = \frac{1,8S_{\text{T}}}{n_3 \cdot S_{\text{T min}}},$
Технічні рішення	<p>для автомобілів із ДВЗ</p> $K_{\text{e}} = \frac{0,0033H_{\text{л. min}} \cdot V_{\text{max}}}{K_{\text{NO}_x} \cdot V_{\text{a}}},$ <p>для електромобілів</p> $K_{\text{T}}^e = \frac{0,324E_{\text{АКБ}} \cdot t_{\text{p}} \cdot \rho_{\text{T}} \cdot V_{\text{max}}}{L_3 \cdot G_{\text{a}}}.$
Екологічна безпека	<p>для автомобілів із ДВЗ</p> $K_{\text{e}} = \frac{0,0033H_{\text{л. min}} \cdot V_{\text{max}}}{K_{\text{NO}_x} \cdot V_{\text{a}}},$ <p>для гібридних автомобілів</p> $K_{\text{e}}^{\Gamma} = \frac{0,0275H_{\text{л. min}} \cdot N_e \cdot V_{\text{a}}}{K_{\text{NO}_x} \cdot V_{\text{max}} \cdot N_{\text{max}}}$

Проблему перетворення багатокритеріальної задачі оцінки якості в однокритеріальних можна вирішити способом формування інтегрального показника. Знаючи параметри оцінюваного автомобіля та значення показників якості можна розрахувати інтегральний показник

$$K_I = K_\phi + K_H + K_\delta + K_e + K_T \rightarrow \min. \quad (2.47)$$

$$K_I = \sum_{i=0} K_i \rightarrow \min \quad (2.48)$$

З рівняння виходить, що чим менше інтегральний показник, то тим вище якість легкового автомобіля. Викладено принципи та методика інтегральної оцінки якості автомобілів за показниками комфорту, функціональної стабільності, безпеки, технічних рішень та екологічності. Сукупність показників визначає рівень якості використовуваних автомобілів в країні.

Математична модель інтегрального показника якості з урахуванням швидкості руху складе:

– для автомобілів із ДВЗ

$$K_I = F + Z(40 + 0,2 \cdot V_a) + (A + D) / V_a \quad (2.49)$$

де

$$F = \left[\left(\frac{1,8S_T}{S_{T \min} n_3} \right) + \frac{0,036 H_{л \min} \cdot t_p \cdot \rho_T \cdot V_{\max}}{G_a} \right]; \quad (2.46)$$

$$Z = \frac{L_\delta \cdot K_K}{128 K_K} \quad (2.50)$$

$$A = \frac{0,079 N_{\max} \cdot g_{e \min} \cdot C_T \cdot L_{ГАР}}{C_{\text{авт}} \cdot \rho_T} \quad (2.51)$$

$$D = \frac{0,0033 H_{л \min} \cdot V_{\max}}{K_{NO_x}} \quad (2.52)$$

– для гібридних автомобілів

$$K_I^r = F + Z(30 + 0,2V_a) + \frac{C}{V_a} + D_r \cdot V_a, \quad (2.53)$$

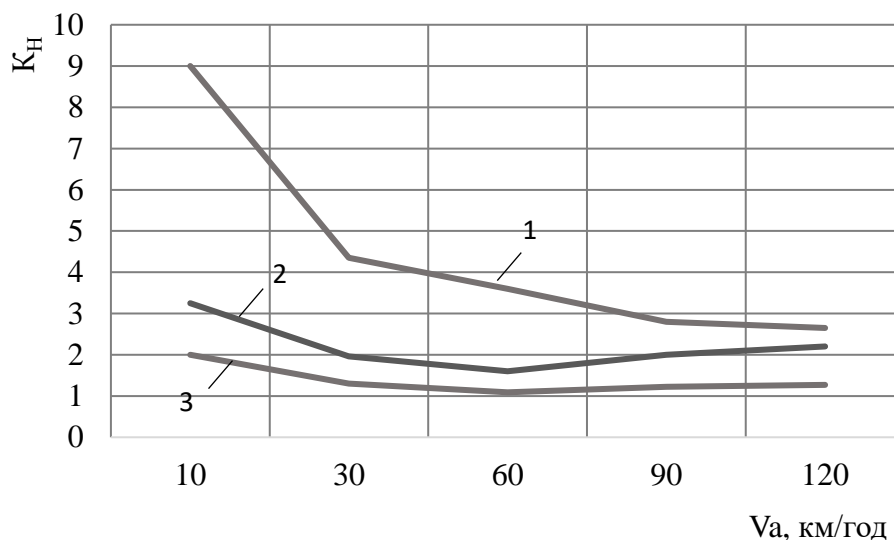
$$D_r = \frac{0,0275 H_{\text{л min}} \cdot N_e}{K_{\text{NO}_x} \cdot V_{\text{max}} \cdot N_{\text{max}}}; \quad (2.54)$$

– для електромобілів

$$K_I^e = F_e + Z(30 + 0,2V_a) + \frac{B}{V_a}, \quad (2.55)$$

$$F_e = \left[\frac{1,8S_T}{S_{T\text{min}} \cdot n_3} + \frac{0,324 E_{\text{АКБ}} \cdot t_p \cdot V_{\text{max}}}{G_a \cdot G_3} \right] \quad (2.56)$$

На рис. 2.10 показана зміна інтегрального показника якості від середньої швидкості руху по трьом моделям автомобілів.



1 – Chevrolet Aveo; 2 – Toyota Prius; 3 – Nissan Leaf

Рисунок 2.10 – Зміна інтегрального показника якості від середньої швидкості руху по трьом моделям автомобілів.

3. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЯКОСТІ АВТОМОБІЛІВ

3.1 Методологія управління якістю автомобілів

В даному розділі розглянуто нові можливості підвищення ефективності використання легкових автомобілів на основі результатів дослідження методів оцінки якості автомобілів в заданих умовах експлуатації.

Мета розробленої методології – підвищення ефективності автомобільного транспорту на підставі удосконалення управління якістю легкових автомобілів з урахуванням умов їх використання. Методологія практичної реалізації дійсних досліджень заснована на оцінці якості легкових автомобілів в різних умовах експлуатації від середньої швидкості руху за критеріями (безпеки, надійності, технічних рішень, екологічної безпеки та комфорту).

Описані в даному розділі методичні аспекти оцінки якості автомобілів і використання методів визначення якості та конкурентоспроможності транспортних засобів для вибору раціональних рішень по їх експлуатації в заданих умовах засновані на викладених результатах дослідження зміни якості автомобілів від зовнішніх умов. Для розробки методики практичного використання результатів теоретичних і експериментальних досліджень зміни якості автомобілів від середньої швидкості руху в різних умовах експлуатації сформулюємо необхідні для цього основні методологічні принципи.

Рівень якості, який визначається інтегральними показниками і критерії оцінки технічних рішень, екологічності, комфорту, безпеки, функціональної стабільності зумовлюють його номінальні значення K_I і умовами експлуатації. Іншими словами, значення реалізованого показника інтегральної оцінки якості автомобілів K_I в даних умовах експлуатації є функція критеріїв оцінки технічних рішень K_T , безпеки K_B , функціональної стабільності K_Φ , комфорту K_K , екологічності K_E . При цьому, в загальній

постановці питання необхідно також враховувати середню швидкість руху автомобіля, яка залежить від зовнішніх умов експлуатації. Однак, якщо розглядати лише вплив умов експлуатації легкових автомобілів на їх якість, то в даному випадку необхідно та достатньо врахувати п'ять критеріїв K_{ϕ} , K_e , K_{δ} , K_H і K_T .

Залежно від мети методики одна з цих величин є шуканою, а інші задані

$$K_H = f_1 (K_T, K_e, K_{\phi}, K_{\delta}, K_I) , \quad (3.1)$$

$$K_T = f_2 (K_H, K_e, K_{\phi}, K_{\delta}, K_I) , \quad (3.2)$$

$$K_e = f_3 (K_T, K_H, K_{\phi}, K_{\delta}, K_I) , \quad (3.3)$$

$$K_{\phi} = f_4 (K_T, K_e, K_H, K_{\delta}, K_I) , \quad (3.4)$$

$$K_{\delta} = f_5 (K_T, K_e, K_{\phi}, K_H, K_I) , \quad (3.5)$$

В вище приведених рівняннях f являє собою вектор-функцію для управління якістю автомобілів необхідно знати реалізовані в даних умовах значення того чи іншого критерію оцінки якості, які визначають інтегральний показник якості. Інтегральний показник необхідний для коригування нормативів, для планування, оцінки та прогнозування зміни якості автомобілів у різних умовах експлуатації.

Рівняння (3.1–3.5) можуть служити аналітичною підставою для розробки необхідних вимог до оцінки інтегральних та диференціальних оцінок якості автомобілів в залежності від зовнішніх умов експлуатації. Оптимізацію інтегрального показника оцінки якості автомобілів і окремих критеріїв оцінки якості таких як технічних рішень, надійності, екологічності, комфорту і безпеки можна виробляти з господарської ефективності, яка пов'язана з собівартістю транспортної роботи і продуктивністю транспортних

машин. При цьому оптимальні значення інтегрального показника якості автомобілів обумовлюють досягнення заданого ефекту при мінімальних витратах, або отримання максимального ефекту при заданих витратах.

Одним із шляхів використання результатів інтегральної оцінки якості є розробка критеріїв диференціальної оцінки якості окремих складових якості автомобілів з урахуванням енергетичних витрат на транспортну роботу. У різних умовах експлуатації якості автомобілів істотно залежить від середньої технічної швидкості, яка обумовлює різні значення коефіцієнта коригування K , тобто

$$K = f(V_{\text{аср}}) \quad (3.6)$$

Оптимальні значення нормативів оцінки інтегрального показника якості автомобілів зазвичай визначають для базових умов експлуатації та за допомогою коефіцієнтів коригування встановлюються для інших умов. Для оцінки якості автомобілів прийнято в якості базових умов експлуатації оптимальні значення середньої технічної швидкості руху автомобіля, коли інтегральний показник якості найменший (K_{Imin}).

Моделювання якості автомобілів під час руху в різних умовах експлуатації дозволяє визначати найбільш важливі параметри, знаходити і аналізувати їх взаємозв'язок. Якість автомобілів істотно залежить від середньої швидкості руху автомобіля. На середню швидкість руху впливають практично будь-які зміни умов експлуатації та пометричних характеристик дороги.

Під умовами експлуатації автомобілів розуміють все те, що оточує цей автомобіль і знаходиться в тісній взаємодії з ним. Різноманіття умов експлуатації різних автомобілів, що змінюються в просторі і в часі, істотно визначає їх якість. Система автомобіль-водій проявляє свої властивості в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем. Автомобіль не можна ізолювати від умов експлуатації та від робочих процесів, що протікають в його

агрегатах. На рис. 3.1 представлена схема взаємодії системи автомобіль-водій із зовнішнім середовищем.

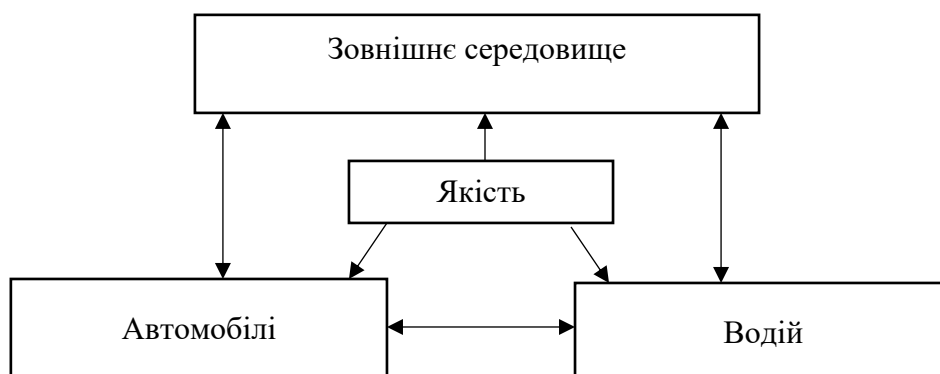


Рисунок 3.1 – Взаємодія системи якість-автомобіль-зовнішнє середовище-водій

Залежно від умов роботи застосовуються основні техніко-економічні показники функціонування автомобіля і водія. Вони досягають максимальних значень в сприятливих умовах і найменших в важких.

Дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні та інші умови зумовлюють середню швидкість руху автомобіля, яка є узагальнюючим параметром оцінки показника якості, такого як витрата палива, надійність, безпека, екологічність та стомлюваність водія.

Від середньої технічної швидкості автомобіля в значній мірі залежать продуктивність, собівартість та безпека руху. Тому ці умови необхідно вміти моделювати і правильно враховувати при оцінці якості інтегральних та диференціальних показників. Для цього потрібна єдина науково-обґрунтована класифікація якості автомобілів з урахуванням умов їх роботи, яка дозволить поряд з інтегральною здійснювати диференціальні оцінки якості автомобілів тобто виявляти, в чому одна модель перевершує іншу, а в чому їй поступається.

Інтегральний критерій оцінки якості автомобілів істотно залежить від умов експлуатації. У табл. 3.1 приведені коефіцієнти, які показують зміну

інтегрального критерію по базовим, гібридним і електромобілям для різних умов експлуатації в порівнянні з умовами 1-ї групи.

Таблиця 3.1 – Зміна корегувального коефіцієнта інтегрального показника якості автомобілів по базовим, гібридним автомобілям і електромобілям від умов експлуатації

Група умов експлуатації	Середня швидкість автомобіля	Корегувальний коефіцієнт інтегрального показника якості автомобілів		
		Базовий	Гібридний	Електромобіль
I	100	1,00	1,00	1,00
II	80	1,04	0,95	1,00
III	60	1,40	0,90	0,95
IV	30	1,45	1,00	1,05
V	20	2,24	1,40	1,60

Швидкість руху має найбільший вплив на інтегральний критерій оцінки показників якості автомобілів. При збільшенні швидкості руху від 20–100 км/год інтегральний критерій оцінки показників якості знижується для базових автомобілів більш ніж в 2 рази, гібридних та електромобілів майже в 1,5 рази. Очевидно, проблема збільшення швидкостей руху для автомобілів необхідно приділяти особливу увагу. Швидкість – це резерв, який може значно підвищити показники оцінки якості автомобілів.

Інтегральна оцінка якості, що має мінімальні значення критерію якості (K_I) є найкращою, тобто

$$K_I \text{ opt} \rightarrow (K_I \rightarrow \min) \quad (3.7)$$

Порівняння великої кількості значень K_I інтегрального критерію для розглянутих легкових автомобілів може виконуватися як звичайне порівняння детермінованих величин за допомогою відносного збільшення

$$K_{I,I+1} = \frac{K_I - K_{I+1}}{K_I} \cdot 100\% \quad (3.8)$$

У свою чергу, на диференційованому рівні визначення відносного збільшення якості автомобілів для кожного із розглянутих, критерій K_I може бути оцінений в наступному вигляді

$$\Delta K_{I;a,a+1}^{\text{відн}} = \frac{K_{I;a} - K_{I;a+1}}{K_{I;a}} \cdot 100\% , \quad (3.9)$$

Практичне використання запропонованої моделі та аналітичних виразів даного розділу дозволяє поряд з інтегральної, здійснювати диференціальні оцінки моделей АТС ($K_{I;a}$), тобто виявляти, в чому одна модель перевершує іншу, а в чому їй поступається.

Проводячи аналіз якості і ціни досліджуваних автомобілів можна встановлювати залежність їх цін від інтегрального показника якості, тобто, сформулювати лінію «червоною ціни» C_K

$$C_K = f \{K_I\} \quad (3.10)$$

При цьому дана залежність може бути досить ефективно оцінена лінійними, показовими, поліноміальними і іншими функціями

$$C_K = \begin{cases} b_0 + b_1 K_I \\ \dots \\ b_0 + b_1 K_I + \dots + b_2 K_I \\ \dots \\ b_0^{b_1 K_I} \\ \dots \\ b_0 \cdot \exp[b_1 K_I] \end{cases} \quad (3.11)$$

У свою чергу конкурентоспроможність до автомобілів може визначатися співвідношенням «червоної» C_K і фактичної C_Φ цінами, перша з

яких (C_K) визначає сталу вартість автомобілів на ринку для заданого рівня якості K_{KOH} , тобто

$$K_{KOH} = \frac{(800 - K_O K_I)}{C_\Phi} \quad (3.12)$$

Зі зниженням K_{KOH} конкурентні можливості автомобілів падають, тобто при $K < 1$ потенційний покупець умовно «переплачує» за транспортний засіб (воно оцінено дорожче, ніж його реальна ціна).

Вирази (3.11) і (3.12) дозволяють оцінити запас конкурентоспроможності ΔC_K , характеризує недоплаченої суму грошових коштів за придбані автомобілі та, відповідно, можливість приведення ціни до ринкового рівня автомобілів даного рівня якості

$$\Delta C_K = |C_K - C_\Phi| \quad (3.13)$$

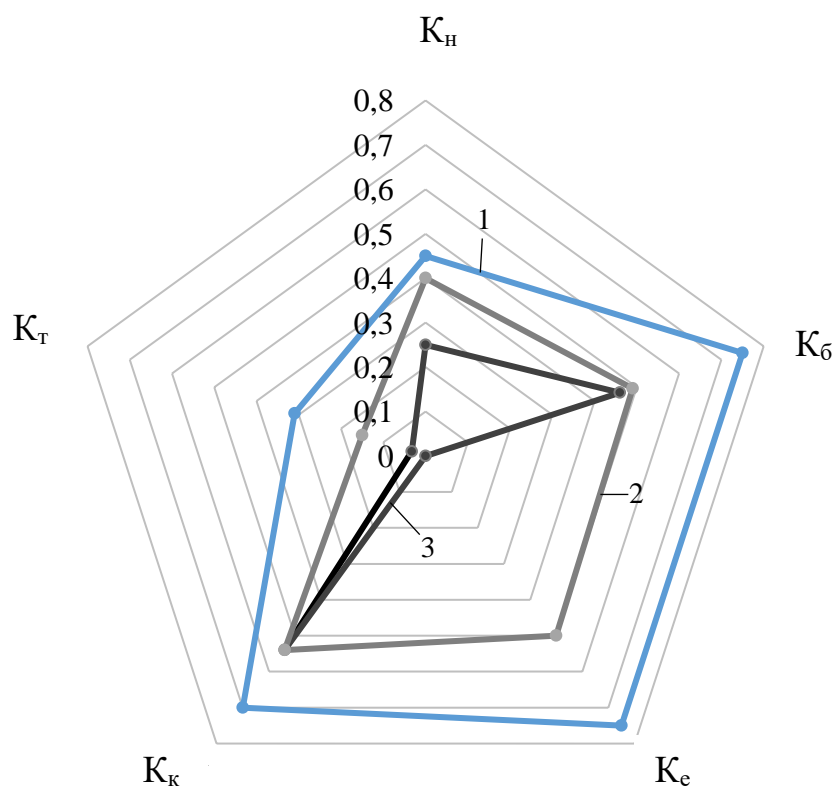
Приріст ΔC_K забезпечує збільшення частки ринку автотранспортних засобів.

3.2 Інтегральна оцінка якості та конкурентоспроможності легкових автомобілів

Інтегральна оцінка якості та конкурентоспроможності проводилася на основі підходів і математичних моделей, викладених в п. 2.3. Найкращій альтернативі (легковому автомобілю) має відповідати мінімальне значення інтегрального критерію якості. Остаточні результати моделювання та розрахунків, дозволили оцінити показники якості розглянутих базових, гібридних та електромобілів по виділеним критеріям, а також отримати загальну інтегральну оцінку якості автомобілів (табл. 3.2, рис. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати інтегральної оцінки показників якості

Найменування критеріїв	Позначення	Модель автомобіля		
		Aveo	Liaf	Prius
Функціональна стабільність	K_H	0,45	0,25	0,4
Безпека	K_B	0,75	0,46	0,49
Екологічна безпека	K_e	0,75	–	0,5
Комфорт	K_K	0,7	0,54	0,54
Технічні рішення	K_T	0,31	0,033	0,15
Підсумковий критерій	K_I	2,96	1,28	2,08

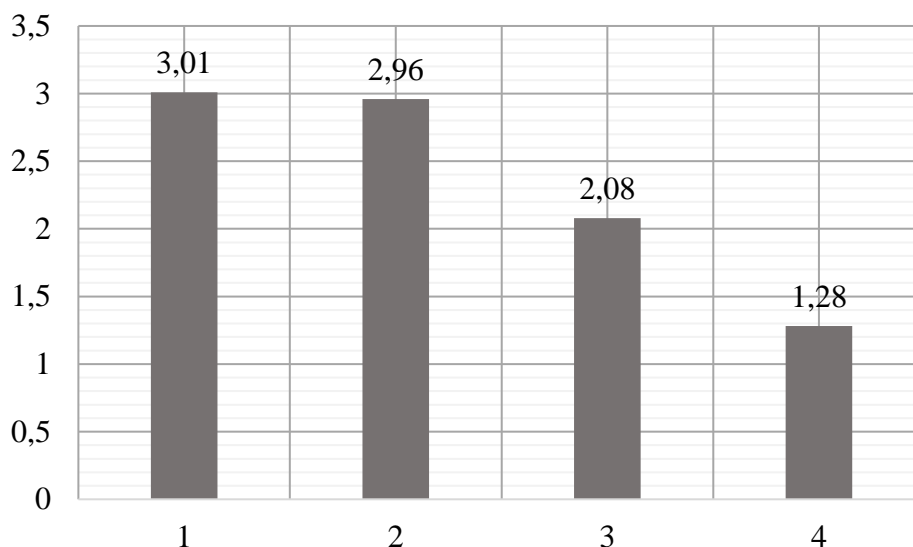


1 – Chevrolet Aveo; 2 – Toyota Prius; 3 – Nissan Leaf

Рисунок 3.2 – Результати оцінки автомобілів по диференціальним показниками

З рисунку 3.2 чітко видно, за якими сукупностям показників електромобілі і гібридні перевершують базові автомобілі.

Результати підсумкової інтегральної оцінки показників якості та конкурентоспроможності автомобілів представлені на рисунку 3.3



1 – Mitsubishi Lancer; 2 – Chevrolet Aveo; 3 – Toyota Prius; 4 – Nissan Leaf

Рисунок 3.3 – Результати підсумкової інтегральної оцінки показників якості і конкурентоспроможності автомобілів

На початковому етапі проводиться аналіз відділів та рекомендацій по маркам обраних автомобілів, що включає:

- дослідження перспектив даної моделі;
- вибір форми і кольору кузова автомобіль;
- загальний дизайн автомобіля.

Аналіз отриманих значень інтегральної оцінки показників якості і цілі легкових автомобілів (C_{Φ}) дозволив встановити їх взаємозалежність і, тим самим, сформувані лінію «червоною ціни» (рис 3.4), визначальну раціональну ціну автомобілів як функцію від рівня його якості.

Виконанні дослідження та отримані результати для порівнюваних автомобілів, які експлуатуються в Україні дозволили відповідно рівнянь (3.12, 3.13) оцінити їх конкурентоспроможність ($K_{\text{кон}}$), яка визначається

відношенням «червоною ціни» до фактичної ціни автомобіля і її запас (ΔC_K) (рис. 3.5).

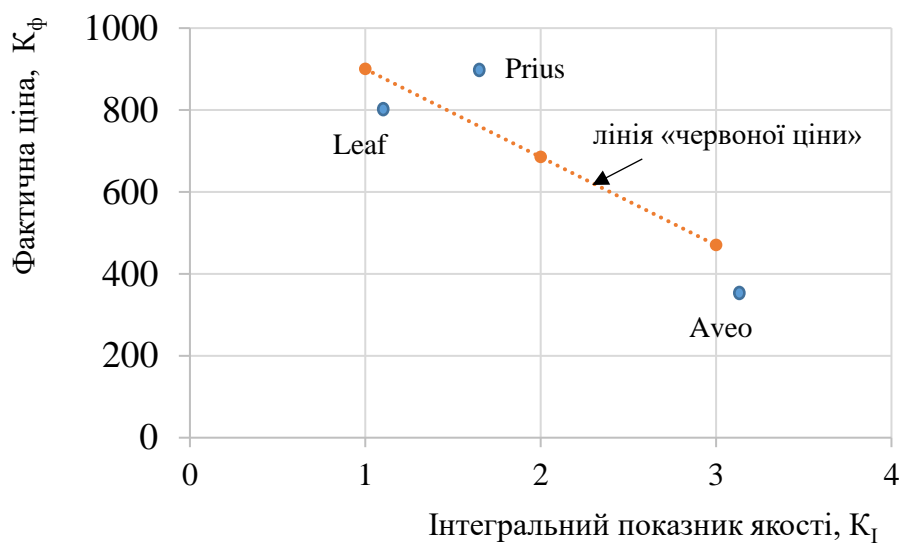


Рисунок 3.4 – Лінія «червоною ціни» і залежність фактичної ціни (C_ϕ) від інтегрального показника якості

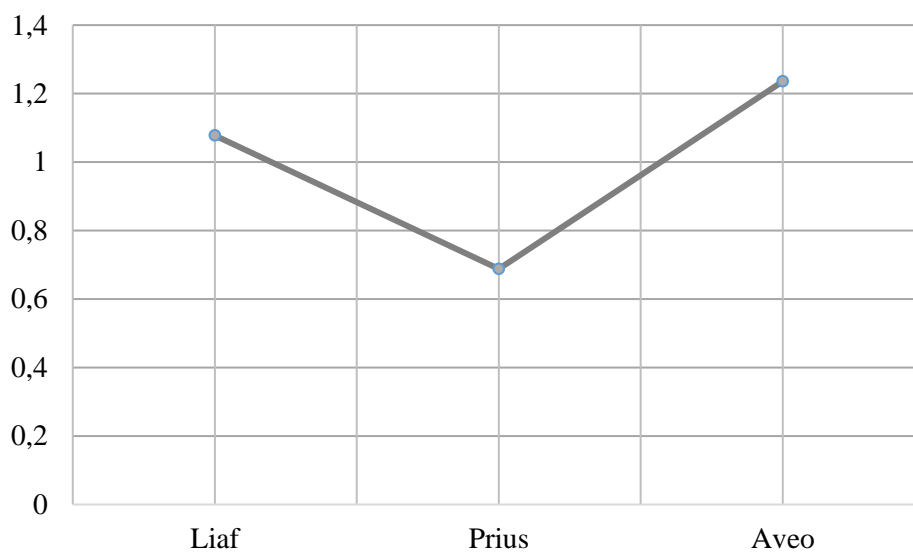


Рисунок 3.5 – Залежності конкурентоспроможності автомобілів ($K_{кон}$) від інтегрального показника якості

Виконанні дослідження дозволили розробити процедуру прийняття рішення про вибір конкурентоспроможного легкового автомобіля, яка включає в себе ряд етапів (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Процедура вибору конкурентоспроможного автомобіля

За результатами даних досліджень приймається, або відхиляється рішення придбання автомобіля.

На другому етапі формується вимога до автомобілів і здійснюється розробка системи показників з угрупованням їх в базовий рівень для подальшої оцінки якості автомобілів.

На наступному етапі, по виділеним (базовим) рівнями і в цілому для всієї їх сукупності наводиться диференціальна і узагальнена інтегральна оцінка якості автомобілів, а також характеристика їх порівняльної конкурентоспроможності.

За результатами даного етапу попередньо вибирається той автомобіль, для якого співвідношення «ціна – якість» є найкращим. У разі необхідності (не з задоволенням споживача даним співвідношенням) здійснюється коригування вимог до автомобіля.

Заключним етапом є проведення оцінки варіантів фінансування проекту придбання автомобіля, рентабельності, окупності, бюджетного ефекту та здійснюється остаточний вибір автомобіля.

Практична реалізація результатів, отриманих в процесі проведення справжніх досліджень забезпечує наступні основні можливості та умови для:

1) Автовиробників і їх дилерів:

- оперативне отримання інформації відособленню експлуатації автомобілів і розробки заходів щодо вдосконалення конструкцій автомобілів;
- підняття іміджу марки автомобілів;
- збільшення обсягу продаж.

2) Споживачів автотранспортних засобів:

- можливість проведення порівняльної узагальненої оцінки;
- придбання більш якісного автомобіля;
- формування та пред'явлення вимог до виробників автомобілів по вдосконаленню конструкції і комплектуючих виробу.

3.3 Вплив якості автомобілів на їх експлуатаційні показники

У більшості країн аварійність на автомобільному транспорті перетворилася в одну з найважливіших соціально-економічних проблем. Не випадково положення з безпекою дорожнього руху Організації об'єднаних націй характеризує як глобальну кризу. За даними Світового банку щорічний економічний збиток перевищує 500 млрд. у.о.

За основними показниками аварійності Україна входить до групи країн з ситуацією, що погіршується. Число загиблих на 100 тис. чол., що в п'ять разів більше, ніж в країнах Європейського союзу. Тяжкість наслідків ДТП в нашій країні в 10–12 разів перевищує значення цього показника в інших країнах. Україна значно виділяється серед економічно розвинених країн за рівнем дорожньо-транспортного травматизму. Так, число загиблих на 10 тис. автомобілів в 5–6 разів перевищує аналогічні показники зарубіжних країн.

Складна обстановка з аварійністю багато в чому визначається постійно зростаючою мобільністю населення і, відповідно, збільшенням кількості автомобілів і приростом протяжності вулично-дорожньої мережі, що не розрахованої на сучасні транспортні потоки. Наслідком такого становища є погіршення умов руху, екологічної обстановки і зростання кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Як показує аналіз, заснований причиною більшість ДТП є порушенням водіями і пішоходами правил дорожнього руху. У цих умовах в останні десятиліття проблема забезпечення безпеки дорожнього руху набула особу актуальності.

Розвиток автомобільного-транспорту приносить не тільки громадські та економічні вигоди, але на жаль, призводить до зростання ДТП зі смертельними наслідками. Число ДТП зі смертельними наслідками можна визначити за формулою

$$D = 10^{-2} K \sqrt[3]{NP^2} \quad (3.14)$$

де D – кількість ДТП зі смертельним наслідком;

K – коефіцієнт безпеки, який змінюється в межах $(1 \dots 4) \cdot 10^{-4}$;

N – кількість автомобілів в регіоні;

P – чисельні поселення в регіоні.

Дане рівняння не в повній мірі характеризує причини ДТП зі смертельним наслідком. Коефіцієнт безпеки враховує особливості дорожніх і природно-кліматичних умов, технічний стан автомобілів, кваліфікацію водіїв, соціальні умови життя населення, організацію контролю безпеки дорожнього руху, але не враховує ряд конструктивних особливостей автомобілів істотно знижують кількість ДТП. На наш погляд, таким показником може виступати інтегральний показник якості автомобілів. Показник якості відображає пасивну і активну безпеку автомобіля. Цей показник дозволяє оцінювати якість безпеки різних класів автомобілів з урахуванням зовнішніх умов експлуатації.

Можна виділити п'ять основних видів факторів, що характеризують рівень безпеки руху. Це соціально-економічні, конструктивні і транспортні, кваліфікація водіїв, організація руху і навколишнього середовища. Останні чотири фактори можуть враховуватися інтегральним показників якості автомобіля, в якому встановлюється відео-камера, інтелектуальні системи освітлення та контролю швидкості руху, системи управління динамікою автомобіля і т.п. Кількість автомобілів які входять в рівняння (3.14) приймаються по обліковій кількості в країні, а не які пересуваються по дорозі. В цьому випадку слід, кількість автомобілів розраховувати з енергетичних витрат. Тому кількість автомобілів, які перебувають на дорогах за добу складе

$$N = \frac{36500Q_{\text{сут}}}{H_0 L_{\Gamma}} \quad (3.15)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – добова витрата палива в регіоні, л;

H_0 – норма витрати палива усереднена л/100 км;

L_{Γ} – середній річний пробіг автомобіля, км.

Усереднена норма витрати палива слід розраховувати за ваговими значеннями автомобілів по класам

$$H_0 = 0,1 H_{0A} + 0,6 H_{0B} + 0,2 H_{0C} + 0,1 H_{0D} \quad (3.16)$$

де H_{0A} , H_{0B} , H_{0C} , H_{0D} – відповідно норма витрати палива за класами автомобілів, л/100 км.

Світова статистика пробігу міського автомобіля свідчить, що 80 % автомобілів проїжджають за день не більше 40 км, а 50 % не більше 20 км. Тому річний пробіг автомобіля можна взяти з розрахунку 10...12 тис. км.

Після перетворення рівняння (3.14) з урахуванням вищевикладеного, кількість ДТП зі смертельним і сходом складе

$$D = 1,7 \cdot 10^{-3} \frac{K}{K_{\text{ет}}} \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{доб}} P^2}{H_0 L_{\Gamma}}} \quad (3.17)$$

Сукупність вище перерахованих параметрів визначає число ДТП зі смертельним наслідком в залежності від якості автомобілів, що великою мірою визначає рівень безпеки дорожнього руху. Слід акцентувати увагу на необхідності підвищення якості автомобілів, що випускаються в країні.

Показник оцінки якості безпеки автомобілів змінюється в межах $K_6 = 0,5 - 2,5$, то можна зменшити кількість ДТП зі смертельним наслідком на 30–50 % за рахунок поліпшення якості автомобілів. Новим підходом в оцінці автомобілів може стати оцифрування якості. Необхідно для всіх моделей автомобілів ввести числовий індекс якості. Вважається, що якість автомобілів враховується споживчої ціною. Однак, в реальності справедливий баланс «ціна-якість» реалізується не завжди. Споживачеві важко узагальнити кілька різних параметрів з технічних характеристик автомобілів. Більш того, зростає небезпечна тенденція, приховування реальної якості автомобілів. Сенс числового індексу якості полягає в тому, щоб було видно наскільки даний автомобіль відповідає еталонному. При цьому індекс якості стає простим і наглядним, а

головне, авторитетним чинником оцінки якості та формування ціни. Важливий момент – індекс якості автомобіля не тільки супроводжує цінник, а й може публікуватися в інтернеті і відкритій пресі. Таким чином, отримуємо відкриті бази даних з індексами якості автомобілів конкретного виробника. По суті – отримуємо безперервний онлайн-моніторинг якості самих різних автомобілів. А ті автомобілі, які не увійдуть до бази даних, можуть істотно втратити в ціні і конкурентоспроможності. Слід зазначити, що і зараз багато автомобілів проходять сертифікацію на предмет як безпеки, так і відповідності певним якісним показникам. Порівняти якість навіть сертифікованих автомобілів споживачеві як і раніше важко. Чисельне значення індексу якості автомобілів можна визначити з виразу

$$I_{\Pi} = 10 - K_I \cdot K_{\text{кор}} \quad (3.18)$$

де $K_{\text{кор}}$ – коефіцієнт коригування з урахуванням умов експлуатації.

Оскільки інтегральний показник залежить від середньої швидкості руху автомобіля, то і індекс якості також буде змінюватися від зовнішніх умов експлуатації. На рис. 3.7 наведено зміна індексу якості автомобілів Nissan Leaf, Toyota Prius, Chevrolet Aveo в залежності від середньої швидкості руху.

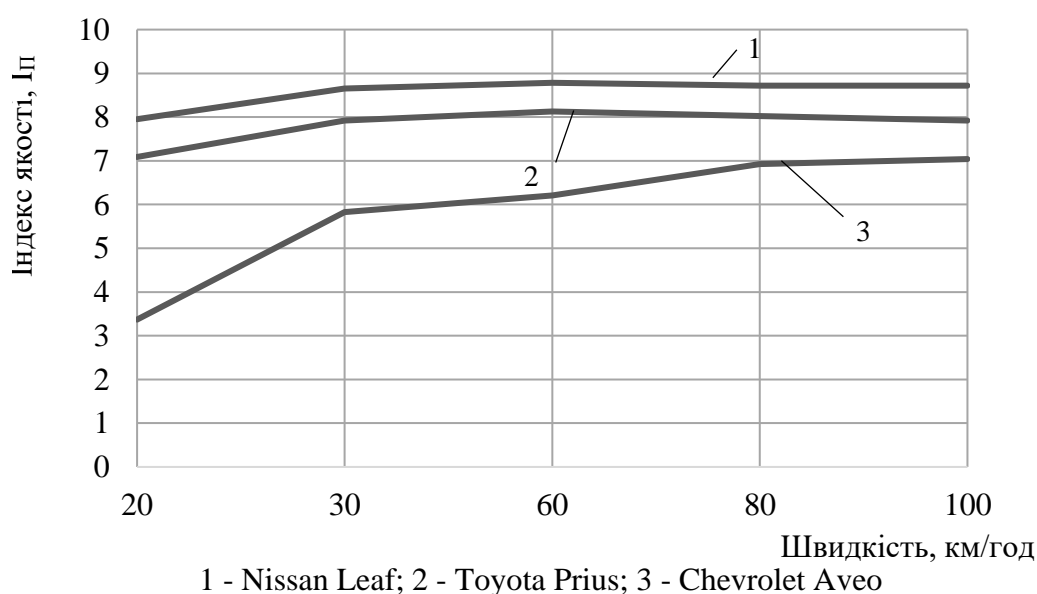


Рисунок 3.7 – Зміна індексу якості автомобілів Nissan Leaf, Toyota Prius, Chevrolet Aveo в залежності від середньої швидкості руху

Як видно з рис. 3.7 індекс якості гібридних та електромобілів змінюється незначно в межах 5–7 %, а базового автомобіля до 40 %. Очевидно, експлуатація базового автомобіля буде доцільна при першій групі умов експлуатації. З рис. 3.7 випливає, що найвищий індекс якості має електромобіль.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ АКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

4.1. Аналіз електрохімічних акумуляюючих систем для тягового електроприводу

Розглянемо характеристики різних типів акумуляторів, такі як питома енергія, термін служби, навантажувальні характеристики, необхідність технічного обслуговування, швидкість саморозряду і т.д.

Свинцево-кислотні акумулятори – одна з найстаріших акумуляторних систем. Ця недорога, надійна акумуляююча система, переносить перевантаження; але вона має низьку питому енергію і обмежений термін служби. Свинцевий кислотний акумулятор використовується в автомобільному транспорті, в інвалідних візках, в системах аварійного освітлення і в джерелах безперебійного живлення (ДБЖ).

Нікель-кадмієві (NiCd) акумулятори також є однією з найстаріших і добре вивчених акумуляторних систем. Ці джерела живлення використовується там, де необхідний тривалий термін служби, високий струм розрядки, екстремальні температури і низька вартість. Через те, що NiCd акумулятори завдають значної шкоди навколишньому середовищу, їх замінюють іншими типами систем. Основні області застосування: електроінструмент, рації, авіаційний транспорт, ДБЖ. У Європі заборонили продавати товари народного споживання з такими типами акумуляторів, але в Україні їх можна придбати.

Нікель-металгідридні (NiMH) акумулятори фактично є заміною нікель-кадмієвих; мають більш високу питому енергію і меншу кількість токсичних металів. NiMH акумулятори використовуються в медичному обладнанні, в гібридних автомобілях, в ракетно-космічній техніці, в промисловості.

Літій-іонні (Li-ion) акумулятори – найперспективніший тип акумуляторних систем; використовується в портативних споживчих товарах, також як і в електромобілях. Li-ion акумулятори чутливі до перевищення

напруги при заряді і, для забезпечення безпеки, в них додається захисний контур, але не завжди. Ці типи акумуляторів дорожче, ніж описані вище.

Сімейство літій-іонних систем можна розділити на три основні типи батарей в залежності від матеріалу катода – це кобальт літію, літій-марганцева шпінель і літій-феррофосфат. Характеристики цих літій-іонних систем наведені нижче.

Кобальт літію або літій оксид кобальту (LiCoO_2) має високу питому енергією, переносить помірні навантаження і володіє невеликим терміном служби. Застосовується в стільникових телефонах, ноутбуках, цифрових фотоапаратах та інших гаджетах.

Літій-марганцева шпінель або літій-марганцевий (LiMn_2O_4), переносить високий струм заряду і розряду, але має низьку питому енергію і недовгий термін служби; використовується в електроінструментах, медичному обладнанні та в електричних силових агрегатах.

Літій-феррофосфатний (LiFePO_4) схожий з літій-марганцевими; номінальна напруга 3,3 В/елемент; більш довговічний, але має більш високу швидкість саморозряду, ніж літій-іонні системи.

1 Внутрішній опір акумуляторів залежить від величини міліампер-годин (мАг), проводки і кількості елементів. Контур захисту літій-іонних батарей додає близько 100 ма.

2 Типорозмір елемента 18650. Розмір елемента і дизайн визначає внутрішній опір.

Існує і безліч інших типів літій-іонних акумуляторів. Тут відсутній популярний літій-полімерний тип акумуляторів. У той час як літій-іонні системи отримали свою назву завдяки архітектурі. Також тут немає жодної згадки про літій-металеві (Li-metal) акумулятори. Цей тип джерела струму ще потребує доопрацювання, але, швидше за все, незабаром вони будуть володіти надзвичайно високою питомою енергією і гарною питомою потужністю. У таблиці 4.1 наведені порівняльні характеристики деяких типів акумуляторів.

Таблиця 4.1 – Порівняльні характеристики більш часто використовуваних типів акумуляторних систем, із зазначенням усереднених параметрів

Параметр	Свинцево-кислотні	NiCd	NiMh	Li-ion		
				Кобальт літію	Літій-марганцеві	Літій ферофосфатні
Питома щільність енергії, Втч/г	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Внутрішній опір, (МОм)	< 100 акумулятор. блок 12 В	100–200 акумулятор. блок 6 В	200–300 акумулятор. блок 6 В	150–300 акумулятор. блок 7,2 В	25–75 на елемент	25–50 на елемент
Життєвий цикл (80 % розряду)	200-300	1000	300–500	500–1000	500–1000	1000–5000
Час швидкої розрядки	8–16 год	1 год	2–4 год	2–4 год	1 год або менше	1 год або менше
Можливість перерозрядки	Висока	Середня	Низка	Низка. Не переносить постійну зарядку		
Саморозряд (місяць при кімнатній температурі)	5 %	20 % ⁵	30 %	Менш 10 %		
Напруга елементу (номінальна)	2 В	1,2 В	1,2 В	3,6 В	3,6 В	3,6 В
Напруга відсічення при розряді (В/елемент 1С)	Приблизно 2,4 і 2,25	1		2,5–3,0		2,8
Напруга відсічення при розряді (В/елемент 1С)	1,75	1,00		2.5–3,00		2,8
Піковий струм навантаження (найкращі результати)	5С ⁹ (0,2С)	20С(1С)	5С(0,5С)	>3С(<1С)	>30С (<10 С)	>30 С (<10 С)
Температура зарядки	Від –20°С до 50°С	Від 0°С до 25°С		Від 0°С до 25°С		
Температура розрядки	Від –20°С до 50°С	Від –20°С до 65°С		Від –20°С до 65°С		
Вимоги до обслуговування	3-6 місяців підзарядки	30–60 днів (розрядка)	60–90 днів (розрядка)	не потрібне		
Вимоги до безпеки	Термічно стабільні	Термічно стабільні, звичайно використовують термозапобіжники		Обозковий захисний контур		

4.2. Особливості експлуатації акумуляторних систем

Для потенційного власника, а також людей, які цікавляться тенденціями розвитку екологічного транспорту першим пунктом викликає інтерес, є акумуляторні батареї електрокара. Оскільки цей елемент в традиційному розумінні автомобіля уособлює паливний бак, отже, виникає безліч аналогій і питань. Які існують акумуляторні батареї? Скільки вони заряджаються? Яка тривалість експлуатації? Як їх обслуговувати? Скільки коштують і які виробники краще? Що робити зі старими АКБ далі?

У сучасному виробництві електромобілів, найчастіше використовують літій-іонні батареї. Середній період експлуатації таких акумуляторів становить близько 8 років, що підтверджують самі виробники АКБ.

Визначальною характеристикою для літій-іонних батарей, є вік і число циклів зарядів батареї, тобто скільки разів дану батарею можна заряджати в період експлуатації. Середнє число повних «зарядок» сучасних акумуляторних батарей для електромобілів становить кілька тисяч циклів.

Крім цього важливу роль грає коректна експлуатація АКБ, яка включає: правильну зарядку і розрядку батареї; розумну експлуатацію в зимовий період; грамотний розрахунок продуктивності; температурний режим використання; використання ПЗ для визначення стану батарей, наприклад Leaf Spy Pro, яка показує, які клітинки акумуляторів Nissan Leaf биті, а які живі.

Більшість літій-іонних акумуляторів працює на графітних електродах кобальтатов літію з напругою в 36 В і продукується потужністю 15 кВт. Також існують літієві джерела живлення, які розрізняються по внутрішніх компонентах на такі типи: нікель-кобальт-марганцеві. Використання кобальту, який трохи дорожче марганцю збільшує термін експлуатації батареї. Невеликим недоліком нікель-кобальт-алюмінієвих батарей, вважається їх чутливість до високих температур. За своїми параметрами вони схожі з попередніми, але дешевше завдяки заміні дорого марганцю,

алюмінієм. На основі сплаву фосфат заліза, вони надійні і стабільні в експлуатації, проте акумуляторів такого типу потрібно більше, оскільки вони функціонують на зниженій напрузі. Відзначимо, що перевага віддається літій-іонним джерел живлення, зважаючи на їх більшої місткості і віддачі енергії. Саме вони позиціонуються, як головний тип акумуляторних батарей для електромобілів.

Замінити акумуляторну батарею можна на будь-якому електромобілі. Однак, це далеко не так просто, як змінити батарейки в пульті ДУ. Заміна акумуляторної батареї в електрокарі швидше нагадує установку комп'ютерного обладнання, коли крім підключення «девайса» по роз'ємів і шлейфам, необхідно встановити ще й різні драйвера. Теж відбувається і тут, після установки акумуляторної батареї вона повинна пройти узгодження та реєстрацію за допомогою програми бортового комп'ютера. Тому швидко зняти акумулятор з одного авто і встановити на інший не вийде. Процедура вимагає певного обслуговування.

Заміна акумулятора електрокара проводиться в разі падіння його ємності, через що істотно скорочується запас ходу і як результат ефективність використання електромобіля.

Механічні пошкодження АКБ електромобілів, якщо не враховувати ДТП, досить рідкісне явище, яке вимагає індивідуального рішення від заміни акумулятора до повної реорганізації системи.

Окремо варто відзначити, що сучасні АКБ електромобілів можна змінювати блоками, тобто тільки «биті» осередки, які перестали працювати. Це істотно здешевлює експлуатацію електромобілів і спрощує ремонт системи.

Що стосується розрахунку ємності акумуляторних батарей, то серйозно замислюватися над їх заміною потрібно тільки після 8 років експлуатації, коли запас ходу починає зменшуватися на 20-30 % щорічно. До цього процес «старіння» і зменшення ємності батарей змінюється в залежності від індивідуальних особливостей моделі, а також додержання правил коректної

експлуатації. Таким чином, навіть з б/у акумулятором, найпопулярніший в Україні електрокар Nissan Leaf здатний проїжджати 100-120 км від початкових 160 км.

Ємність акумулятора електромобіля через кілька років падає. Здебільшого в батареях використовується літій-марганцевий катод, який власне і забезпечує весь функціонал батареї, проте він є чутливим до тепла і відрізняється прискореним руйнуванням і втратою потужності при дедалі більшій температурі. Існує два джерела втрати ємності акумулятора: календарна і експлуатаційна. Календарна втрата ємності – це втрата з часом, а експлуатаційна пов'язана з зарядкою і розрядкою акумулятора.

Експлуатаційні втрати залежать від максимального рівня заряду і від глибини розряду, різниця між якими є відсоток від загального діапазону потужності, який використовується під час циклу.

Технічно термін служби батареї складається з чотирьох змінних: середня температура; стандартне відхилення температури; середній стан заряду; стандартне відхилення заряду.

Згідно з цими критеріями крива втрати (рис. 4.1) ємності акумуляторних батарей з плином часу виглядає наступним чином

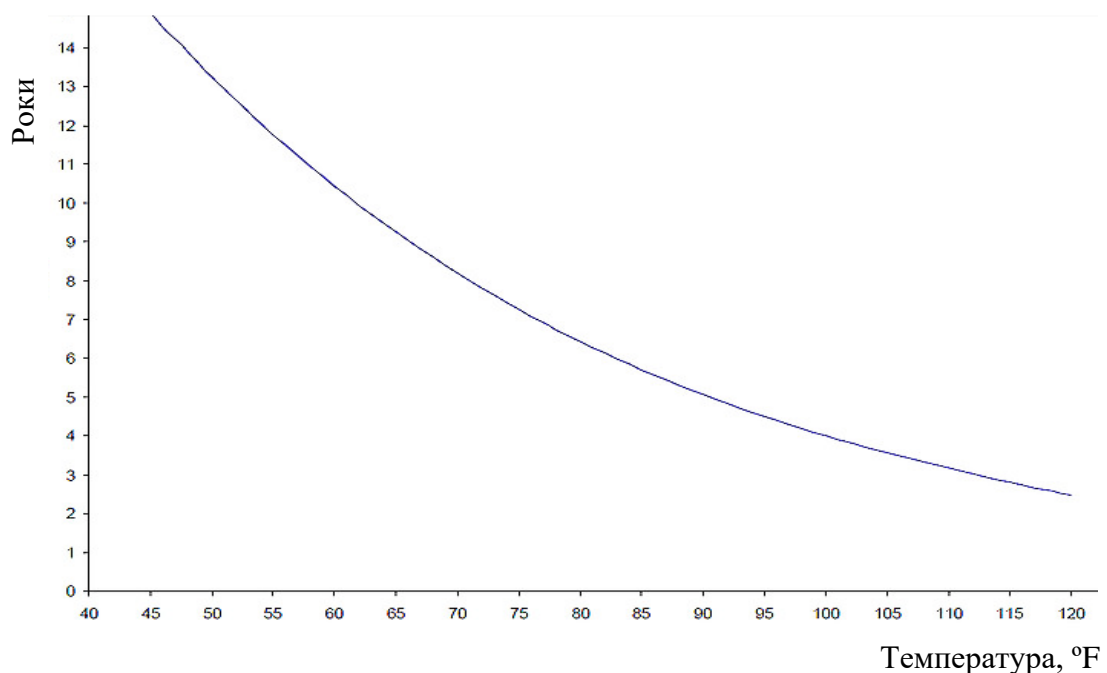


Рисунок 4.1 – Крива втрати ємності акумуляторних батарей з плином часу

Якщо пояснювати більш доступною мовою на конкретному прикладі, то найбільш оптимальним режимом зарядки батареї Nissan Leaf, відповідно зазначених змінних буде: перші 150 циклів – 6 кВт, наступні цикли 10-12 кВт. Це кращий з варіантів, який мінімізує насамперед експлуатаційні втрати потужності. На сьогоднішній день існує 4 способи зарядки електрокарів: використання побутових електромереж в 220 В. Найпопулярніший спосіб зарядки, який згідно зі статистикою використовує 90 % власників електромобілів; зарядка з використанням змінного струму із захистом усередині кабелю для підзарядки, що входить в комплектацію автомобіля; зарядка від однофазної, або трифазної електромережі АЗС із застосуванням спеціального кабелю іншим кінцем; зарядка електромобіля від спеціальних електричних заправних станцій швидким струмом. Незважаючи на те, що більшість власників електромобілів в Україні хотіли б мати власний гараж і зарядну станцію, електрокари це переважно міські авто чиї власники часто обмежені лише паркувальним місцем на стоянці або у дворі. Це не дуже великий недолік, оскільки великі міста вже мають досить розгалуженою інфраструктурою електричних АЗС, проте, на зарядку АКБ до 80 % показників, доведеться витратити від 30 хв. до однієї години.

На поточний момент, якщо орієнтуватися на найдоступніший електрокар України Nissan Leaf і на головний еталон галузі Tesla Model S, то перший оснащується батареями власного виробництва, а основним постачальником акумуляторних батарей для Tesla є компанія Panasonic, також варто відзначити батареї виробництва LG, якими оснащується популярний Chevrolet Bolt.

Працюють над поліпшенням акумуляторів і інші автовиробники, наприклад, нещодавно нову твердотельную батарею з запасом ходу 800 км розробила компанія Fisker, а корейський концерн Samsung представив на Франкфуртському автосалоні свої багатofункціональні акумуляторні батареї. У число інших затребуваних виробників акумуляторних батарей для

електромобілів входять швейцарська компанія MES DEA, Beta Research Development Ltd з Британії, грецька фірма Sunlight, німецька VARTA.

На особливу увагу заслуговує анонсований на 2018 рік запуск найбільшого в світі заводу з виробництва акумуляторних батарей від компанії TESLA. Також, поки ще на рівні стартапів існує кілька компаній, які працюють над удосконаленням АКБ для електромобілів. Серйозні успіхи в цьому напрямку демонструють: британська компанія Super Capacitor Materials – зайнята розробкою конденсаторів здатних замінити традиційні акумулятори; компанія Phinergy – розробляє прототип метало-повітряного акумулятора; стартап з Австрії Kreisel Electric – зайнятий оптимізацією і поліпшенням ергономіки АКБ.

Бачаться різні перспективи, одна з яких утилізація АКБ. Але виникає питання: утилізація - це фактичне знищення дорогого комплектуючого, яке вже не годиться для електромобіля, але ще цілком підлягає використанню в менш вибагливою сфері, як же можна ще використовувати ресурс, що залишився батарей?

Провідні виробники електрокарів пропонують первісну альтернативу утилізації: використання старих АКБ в побутових системах накопичення енергії від альтернативних джерел. Тобто використовувати колишні батареї електромобілів в якості акумуляторів для накопичення енергії, що виробляється сонячними батареями і вітряними генераторами. До слова, ідея не нова, адже Tesla давно виробляє комплекси АКБ ніяк не зв'язані з електрокарами, а що випускаються для альтернативної енергії сонячних панелей.

Якщо застосувати цей досвід в Україні, можна розраховувати на те, що продаж б/у електромобільних батарей в Україні здатна перетворитися в бізнес. Альтернативна енергетика в Україні розвивається і якщо ефективність подібного використання батарей буде доведена або реалізована окремими «ентузіастами», то власники електромобілів зможуть продавати старі батареї користувачам «зеленого тарифу» за цілком прийнятні гроші.

Ще одним варіантом, який вже почали втілювати деякі компанії - це будівництво заводів для зберігання, переробки і ремонту вживаних акумуляторів, поки такий проект реалізований концерном BMW, але незабаром очікується відкриття подібного підприємства компанії Renault.

4.3. Формування підходів до безпечної експлуатації акумуляюючих систем

Останнім часом тема самозаймання літій-іонних акумуляторів часто мелькає в заголовках новин: то смартфон загориться, то хOVERборд, а то і автомобіль. Так що ж відбувається всередині акумулятора під час термічного розгону і чому виникає самозаймання?

Літій-іонні акумулятори складаються з анода і катода, розділених пористим полімерним сепаратором. Активним матеріалом катода найчастіше є оксиди перехідних металів з вбудованими в кристал іонами літію. У аноді зазвичай використовується графіт. Електроліт, яким залита електрохімічна комірка, являє собою органічний розчин солей літію. При першій зарядці, виробленої фірмою-виробником, при встановленні літію в анод на електродах (особливо на аноді) утворюється захисний іон-провідний шар (SEI), що складається з розклатася електроліту. Цей шар захищає електроди від паразитичних реакцій з електролітом. Найчастіше причиною самозаймання акумуляторів є коротке замикання всередині електрохімічної комірки. Електричний контакт між анодом і катодом може виникнути з багатьох причин. Це може бути, наприклад, механічне пошкодження осередки. Ще внутрішнє коротке замикання виникає через порушення технології виробництва при нерівній нарізці електродів або попаданні металевих частинок між анодом і катодом, що веде до пошкодження пористого сепаратора. Схема роботи літій-іонного акумулятора наведена на рисунку 4.2.

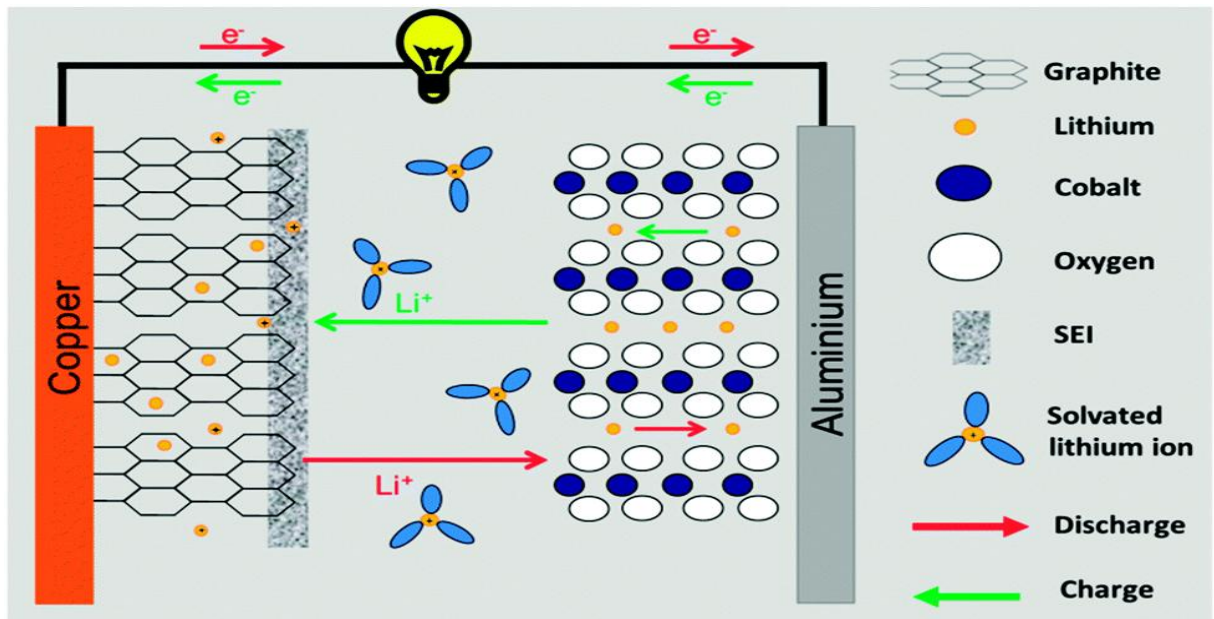


Рисунок 4.2 – Схема роботи літій-іонного акумулятора

Також причиною внутрішнього короткого замикання може бути «проростання» ланцюжків металевого літію (дендритів) через сепаратор, наведених на рис. 4.3. Такий ефект виникає, якщо іони літію не встигають вбудуватися в кристал анода при занадто швидкій зарядці або низькій температурі, а також якщо ємність активного матеріалу катода перевищує ємність анода, в результаті чого на поверхні анода з'являються мікроскопічні відкладення, які поступово зростають.



Рисунок 4.3 – “Проростання” ланцюжків металевого літію (дендритів)

Отже, після того, як сталося коротке замикання, акумулятор починає нагріватися. Коли температура досягає 70–90°C, іон-який проводить захисний шар на аноді починає розкладатися. А далі літій, вбудований в анод, вступає в реакцію з електролітом, виділяючи легкі вуглеводні: етан, метан, етилен і т. д. Але, не дивлячись на наявність такої вибухо-небезпечної суміші, загоряння не відбувається, так як в системі поки немає кисню.

Так як реакції з електролітом екзотермічні, температура і тиск усередині акумулятора продовжують підвищуватися. Коли температура досягає 180–200°C, матеріал катода, зазвичай представляє з себе оксид перехідних металів з вбудованим в кристал літієм, вступає в реакцію диспропорціонування і виділяє кисень. Ось тут-то і відбувається самозаймання і ще більш різкий стрибок температури. Паралельно йде термічний розклад електроліту (200–300°C), також виділяє тепло. Виглядає це так, рисунок 4.4.



Рисунок 4.4 – Самозаймання літій-іонного акумулятора

І, врешті-решт, в реакцію з електролітом (якщо він ще залишився) вступає графіт, а коли температура досягає 660°C, плавиться алюмінієвий

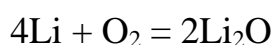
струмоприймач. Вище 900°C температура зазвичай не піднімається, так як розкладатися вже нічому.

Крім внутрішнього короткого замикання існують і інші причини самозаймання: перегрів акумулятора, неправильна зарядка/розрядка (перевищення максимально допустимого напруги, зарядка на високих токах, занадто глибока розрядка), і т.п. Але всі ці причини призводять до одного результату: термічному розгону і розкладання електроліту при взаємодії з електродами. Розрізняються лише порядки вищеописаних реакцій і їх швидкість.

Природно, виробники акумуляторів передбачили системи захисту від самозаймання, і чим більші і потужніші акумулятор, тим більше ступенів захисту він містить. Одним з видів захисту від невеликого короткого замикання є пористий сепаратор, який при локальному підвищенні температури стає непроникним і перешкоджає, наприклад, подальшого зростання дендритів всередині акумулятора. Але іноді температура підвищується занадто швидко, і сепаратор просто плавиться, в результаті чого анод стикається з катодом.

Також акумулятори обладнані запобіжниками і клапанами, які при підвищенні тиску і температури всередині або відключають електроди від ланцюга, або сприяють виходу назовні скупчився газу. В останньому випадку, так як гази легкозаймисті, при контакті з киснем зовні виникає полум'я. Приклад дії захисних клапанів можна було спостерігати при аварії за участю автомобіля Tesla Model S, де акумулятор був пробитий великим металевим предметом. Так як в Теслі клапани акумуляторів були спрямовані вниз на асфальт і окремі блоки були добре ізольовані один від одного, згоріла лише передня частина акумулятора (як сказав Елон Маск, якби той же металевий предмет пробив бак з бензином, машини б згоріла повністю).

При горінні літію надворі утворюється оксид Li_2O



Інші лужні метали утворюють пероксиди (Na_2O_2) і супероксиди (KO_2 , RbO_2 , CsO_2). Металевий літій легко підпалити навіть в полум'ї спиртівки. Спочатку горять залишки гасу (або масла), потім починає горіти сам метал. Білий колір горіння свідчить про високу температуру реакції. Експеримент проводять під тягою, оскільки утворюється їдкий аерозоль оксиду літію.

Літій реагує не тільки з киснем, а й з азотом. Нітрид літію утворюється при взаємодії простих речовин навіть при кімнатній температурі $6\text{Li} + \text{N}_2 = 2\text{Li}_3\text{N}$.

Марки і хімічний склад літа наведені в таблиці 1 (по ГОСТ 8774-58).

Літій виготовляють відповідно до вимог даного стандарту за технологічним регламентом, затвердженим в установленному порядку. Літій виготовляють у вигляді злитків марок ЛЕ-1, ЛЕ-2. Хімічний склад літію повинен відповідати нормам, зазначеним у табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Хімічний склад літію

Марка	Код ОКП	Хімічний склад, %									
		Літій, не менше	Домішки, не більше								
			Натрій	Калій	Кальцій	Магній	Марганець	Залізо	Алюміній	Окис кремня	Азот нітридний
ЛЕ-1	70 2653 1001	99,9	0,04	0,005	0,03	0,02	0,001	0,005	0,003	0,01	0,05
ЛЕ-2	70 2653 1002	99,0	0,1	0,01	0,03	0,05	0,005	0,01	0,005	0,05	0,05

Примітка. За погодженням виробника зі споживачем допускається масова частка натрію в марці ЛЕ-1 не більше 0,005%.

Літій-іонний і літій-полімерні акумулятори застосовуються повсюдно по цілком зрозумілої причини. У порівнянні з іншими типами акумуляторів вони володіють більшою питомою ємністю, великим напруженням на елементі, малим саморозрядом, дуже хорошим часом експлуатації та

екологічною чистотою, а також простотою режиму заряду і експлуатації. Більш того, завдяки відносно високій напрузі (2.9 - 4.2 В), багато портативні пристрої можуть працювати від одного осередку, спрощуючи тим самим саму конструкцію пристрою.

Який найголовніший параметр акумулятора - дуже спірне питання. Питомої ємності літій-іонного акумулятора приділяється досить багато уваги, так як це забезпечує максимальний час автономної роботи виробу при мінімальних розмірах. Але є параметри, більш важливі, ніж тривалий час роботи, наприклад, кількість циклів заряду або безпеку акумулятора.

Перед обговоренням ролі зарядного пристрою в продовженні терміну експлуатації акумулятора, розглянемо основні параметри літій-іонного акумулятора. Літій є одним з найлегших металів, одним з найбільш реакційно здатних, має найвищий електрохімічний потенціалом, що робить його ідеальним матеріалом для акумулятора. Літій-іонний акумулятор не містить металевого літію, замість нього використовуються іони, які переміщуються між катодом і анодом акумулятора в процесі заряду і розряду відповідно. Хоча існує безліч різних типів літій-іонних акумуляторів, найбільш поширені 3 види промислово випускаємих акумуляторів, в залежності від хімічного складу катода. Літій-кобальтова хімічна система є найбільш популярною в ноутбуках, фотоапаратах і мобільних телефонах, в основному завдяки високій питомій ємності. Інші хімічні системи потрібні там, де потрібен високий струм розряду, підвищена безпека або там, де визначальним фактором є ціна. Більш того, розробляються акумулятори для гібридних автомобілів, в яких хімічний склад катода є поєднанням переваг кожної з хімічної систем.

На відміну від інших електрохімічних типів, літій-іонна технологія ще не досягла тієї ж ступеня досконалості. З лабораторій виходять нові типи акумуляторів з питомою ємністю, кількістю зарядних циклів і ефективністю, що перевищує сьогоденний рівень. Найбільш важливі характеристики кожного з типів акумуляторів наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристики акумуляторів

Матеріал катода	Переваги	Недоліки
Літій-кобальтові Оксид (найпоширеніший)	Висока ємність	Невеликі зарядно / розрядні струми. Висока ціна
Літій-марганцевий оксид	Низька токсичність. Великі зарядно/розрядні струми. Підвищена робоча температура. Безпечний	Низька ємність. Невелика кількість циклів. Короткий час життя
Літій-фосфат (новий)	Дуже низька токсичність. Дуже великі зарядно / розрядні струми. Підвищена робоча температура. Безпечний	Низька напруга при розряді. Низька напруга при заряді. Низька ємність

Параметри літій-іонних полімерних акумуляторів аналогічні стандартним літій-іонним акумуляторам. Їх можна заряджати та розряджати аналогічним способом. Основною відмінністю між ними є те, що замість рідкого електроліту в стандартному літій-іонному акумуляторі використовується полімерний твердий електроліт, хоча в більшості полімерних акумуляторах для зменшення внутрішнього опору використовується паста. Усунення рідкого електроліту дозволяє зібрати полімерні акумулятори в пакетах з фольги на відміну від важких корпусів, необхідних для літій-іонних акумуляторів. Літій-іонні полімерні акумулятори стають все більш популярними, завдяки простоті і гнучкості виробництва, що дозволяє випускати їх в різних форм-факторах, включаючи дуже тонкі.

Всі акумулятори зношуються і літій-іонні осередки не виняток. Виробники акумуляторів зазвичай визначають закінчення терміну експлуатації акумулятора, коли його ємність знижується до 80 % від початкової. Хоча акумулятори з ємністю менше 80 % можна використовувати і далі, їх час роботи знижується.

Для оцінки терміну роботи акумуляторів зазвичай використовується кількість заряд-розрядних циклів, однак терміни роботи при циклюванні і терміни роботи акумулятора (або терміни експлуатації) можуть відрізнятися. Послідовний заряд і розряд знижує кількість активного матеріалу електрода і змінює його хімічний склад, що призводить в кінцевому рахунку до

підвищення внутрішнього опору і необоротного зниження ємності. Але необоротне втрати ємності і коли акумулятор не експлуатується. Найбільша швидкість зниження ємності відбувається при підвищених температурах і при підтримці напруги на акумуляторі 4,2 В (повністю зарядженого).

Для максимального продовження термінів зберігання, акумулятор потрібно зберігати зарядженим до 40 % номінальної ємності (3,6 В) при температурі 5°C (холодильник). Напевно самим несприятливим місцем для літій-іонних акумуляторів є ноутбуки, підключені до блоку живлення постійно. Зазвичай ноутбуки, теплі або навіть гарячі при роботі, підвищують температуру акумулятора, а зарядний пристрій підтримує акумулятор майже повністю зарядженим. Обидва ці умови призводять до скорочення часу життя акумулятора, який може становити від 6 місяців до 1 року. При можливості споживач повинен бути повідомлений знімати акумулятор і користуватися тільки зовнішнім блоком живлення при роботі від розетки. Правильна експлуатація акумулятора продовжить час його життя до 2-4 або більше років.

Існує два види витрат ємності: оборотні та необоротні втрати. Після повного заряду акумулятор зазвичай втрачає 5 % ємності протягом 24 годин, потім по 3 % в місяць через саморозряду і 3 % в місяць додатково через роботу схем захисту. Вищевказані втрати мають місце при температурі акумулятора 20°C, але вони значно зростають при підвищенні температури і старінні акумулятора. Ці втрати відновлюються при заряді акумулятора.

Непоправна втрата ємності, стосовно до використовуваного терміну, відноситься до необоротних втрат, які не можуть бути заповнені при подальшому заряді. Необоротне зниження ємності відбувається в основному через кількість зарядно-розрядних циклів, напруги на акумуляторі і температури. Чим довше акумулятор підтримується під напругою 4,2 В, або при 100 % рівні заряду (або 3,6 В для літій-іон фосфату), тим швидше відбувається втрата ємності. Це відбувається незалежно від того, чи знаходиться акумулятор в процесі зарядки або він повністю заряджений при

напрузі 4,2 В. Постійна підтримка літій-іонного акумулятора в повністю зарядженому стані призведе до скорочення терміну його служби. Хімічні зміни, що призводять до скорочення терміну життя починаються відразу після випуску акумулятора на заводі і ці зміни прискорюються при додатку високої напруги і високої температури. Необоротної втрати ємності неминучі, але їх можна знизити до мінімуму при дотриманні певних правил при заряді, розряді і просто при зберіганні акумулятора. Застосування циклів з неповним розрядом може істотно збільшити кількість зарядно-розрядних циклів, а зарядка до значень менше 100 % від номінальної ємності може ще більше збільшити термін служби.

Буква «С» – термін, що використовується виробниками акумуляторів для вираження розрядної ємності, вимірюється в міліампер-годинах. Наприклад, акумулятор ємністю 2000 мА·г може забезпечити 2000 мА·г на навантаженні протягом однієї години до того, як напруга на акумуляторі знизиться до рівня нульової ємності. У ряді прикладів зарядка акумулятора по режиму $C/2$ означає заряд струмом 1000 мА (1А). Величина С є важливим параметром для зарядних пристроїв, оскільки визначає необхідний зарядний струм і час, необхідний для повного заряду акумулятора. Величина кінцевого струму заряду, для акумулятора ємністю 2000 мА·г з необхідним кінцевим струмом $C/10$, означає, що заряд акумулятора необхідно завершити при зниженні зарядного струму до 200 мА.

Для продовження часу життя акумуляторів збільшують кілька факторів. Для збільшення кількості зарядно-розрядних циклів застосовують:

– неповний розряд, що всього лише 20 %-30 % ємності акумулятора перед наступною зарядкою істотно збільшує кількість циклів. Загальне правило таке, що 5 або 10 неглибоких розрядів дорівнюють одному повного розряду. Хоча неповний розряд забезпечує кількість циклів, що вимірюється тисячами, зміст повністю зарядженого акумулятора під зарядним напругою також скорочує час життя. Слід при всякій нагоді уникати повного розряду акумуляторів (до 2,5 В або до 3 В в залежності від електрохімічної системи);

– уникайте заряджати до 100 % ємності. Це можна зробити, знижуючи кінцеве зарядна напруга. Зниження кінцевого напруги збільшить кількість циклів і час експлуатації при зниженні ємності акумулятора. Зниження напруги від 100 мВ до 300 мВ збільшить кількість циклів від 2 до 5 разів і більше. Літій кобальтійна система більш чутлива до кінцевого напруги, ніж другі. Літій-іон фосфатні елементи зазвичай заряджаються напругою меншим, ніж більш поширені літій-іонні акумулятори;

– вибирайте правильний метод закінчення заряду. Вибір зарядного пристрою з мінімальним кінцевим зарядним струмом ($C/10$ або $C/7$) також збільшить час життя, якщо не заряджати до 100% ємності. Наприклад, закінчувати заряд при зниженні струму до значень $C/5$ - це те ж саме, що і знизити зарядну напругу до 4.1 В. В обох прикладах акумулятор зарядиться приблизно до 85% від повної ємності, що важливо для продовження його життя;

– обмежуйте температуру акумулятора. Обмеження температури акумулятора сильно впливає на збільшення часу життя, особливо слід уникати зарядки при негативних температурах. Зарядка при температурі нижче нуля сприяє електрохімічному осадженню металу на аноді, що може призвести до внутрішнього короткого замикання та спричинити виділення тепла, що зробить акумулятор нестабільним і небезпечним. Багато зарядні пристрої мають вбудовані датчики температури для запобігання заряду при екстремальних температурах;

– уникайте великих зарядних і розрядних струмів. Високі зарядні і розрядні струми приводять до зниження кількості циклів. Деякі хімічні системи більш пристосовані для великих струмів, наприклад літій-іон манганіти і літій іон фосфати. Великі струми приводять до надмірних механічних напруг в акумуляторі;

– уникайте дуже глибоких розрядів (нижче 2 В, або 2,5 В). Дуже глибокий розряд швидко і незворотно зіпсує літій-іонний акумулятор. Внутрішнє виділення металу може відбуватися і викликати короткі

замикання, що робить акумулятор нестабільним і небезпечним. Більшість літій-іонних акумуляторів має схеми захисту в складі акумуляторної збірки, які відключають акумулятор якщо напруга менше 2,5 В, перевищує 4,3 В, або якщо струм акумулятора виходить за встановлені межі при заряді або розряді.

Рекомендований метод заряду літій-іонного акумулятора є подача постійної напруги з точністю $\pm 1\%$ при обмеженні струму до повного заряду, а потім його виключення. Методи визначення повноти заряду акумулятора включають облік часу зарядки, моніторинг зарядного струму, або комбінацію методів.

У першому методі використовується зарядка струмом постійної величини в інтервалі від 0,5 С до 1 С при заданій напрузі протягом 2,5–3 годин, таким чином забезпечуючи заряд до 100 % ємності. Можна вибрати і менший струм, але при цьому час заряду збільшиться. Другий метод аналогічний, але вимагає моніторингу зарядного струму. В процесі заряду напруга зростає так само, як і в першому методі. Потім воно досягає заданого граничного значення, яке також називається кінцевим (плаваючим) напругою, і струм починає знижуватися. Початок зниження ємність акумулятора становить 50-60 %. Максимальне напруження прикладається до тих пір, поки струм не знизиться до досить малої величини (від 0,1 С до 0,2 С), в цей час акумулятор зарядиться до рівня 92-99 % і цикл заряду завершиться. В даний час не існує безпечних методів заряду літій-іонних акумуляторів до 100 % ємності.

Продовжувати прикладати напругу після повного заряду акумулятора не рекомендується, оскільки це призводить до прискорення втрати ємності і може викликати внутрішнє виділення металевого літію і привести до короткого замикання, перегріву, та робить акумулятор термічно нестабільним. Правда для досягнення цього буде потрібно місяці.

У деяких зарядних пристрій міститься термистор для моніторингу температури акумулятора. Головне завдання такого моніторингу –

припинення заряду, якщо температура виходить за межі рекомендованого вікна від 0 до 40° C. На відміну від NiCd або NiMH акумуляторів температура в процесі заряду підвищується дуже мало. На рисунку 4.5 показано типовий для літій-іонних акумуляторів профіль зарядного струму, напруги на акумуляторі і ємності в залежності від часу.

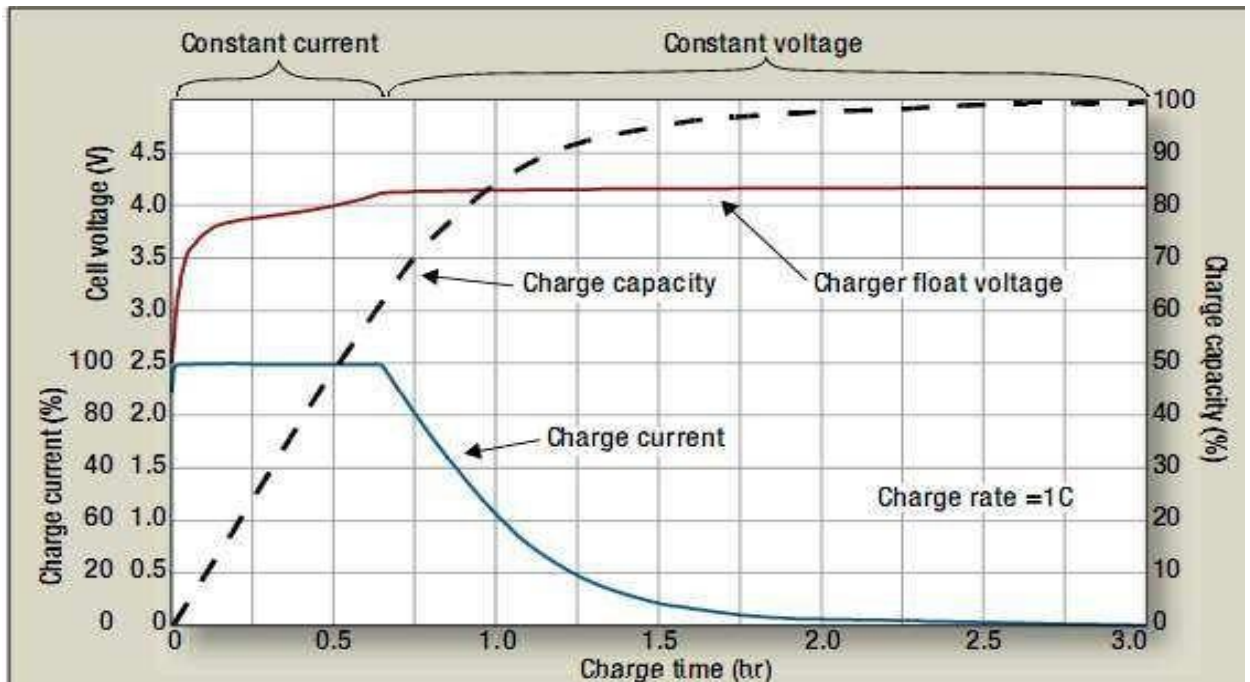


Рисунок 4.5 – Профіль зарядного струму, напруги і ємності Li-ion акумулятора

Основним визначальним чинником для кінцевої напруги є електрохімічний потенціал активних матеріалів, використовуваних в катоді акумулятора, який для літійової системи приблизно дорівнює 4 В. Додавання інших речовин може підвищувати або знижувати напругу. Другим за значенням фактором є компроміс між ємністю акумулятора, кількістю циклів, часом життя і безпекою. Криві на рисунку 4.6 показують співвідношення між ємністю елемента і кількістю зарядно-розрядних циклів.

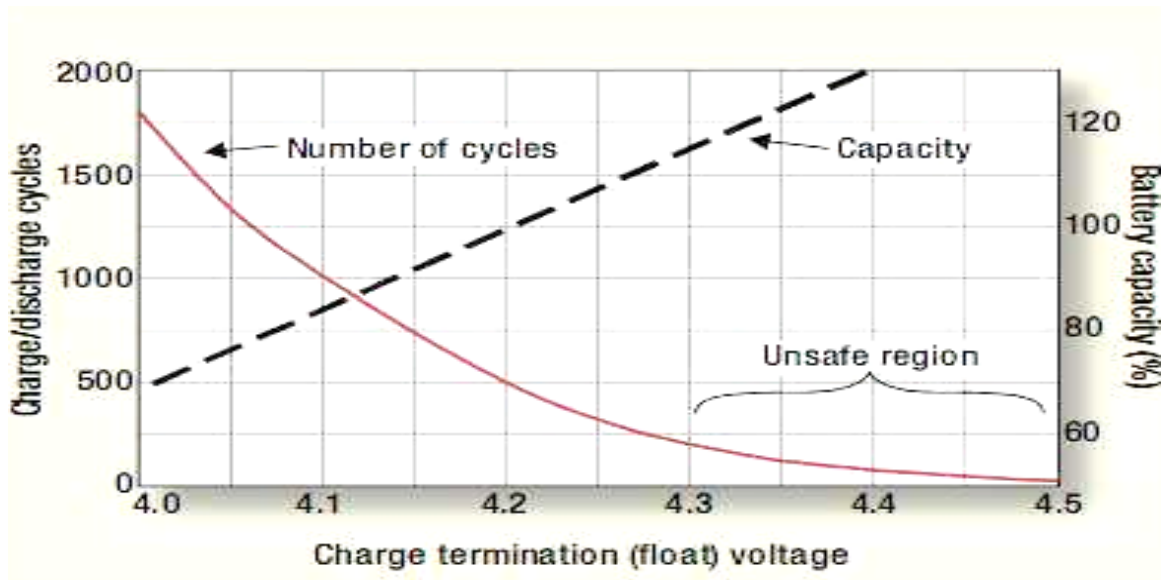


Рисунок 4.6 – Зарядно-розрядні цикли Li-ion акумулятора

Більшість виробників літій-іонних акумуляторів вибирають напругу заряду 4,2 В, виходячи з найкращого співвідношення ємності і часом життя акумулятора. При кінцевому зарядному напрузі 4,2 В акумулятор забезпечує близько 500 заряд/розрядних циклів до того, як ємність знизиться до 80 %. Один цикл складається з повного заряду і повного розряду. Неповні розряди підсумовуються до повного циклу. На рисунку 4.7 показана залежність кількості циклів від величини зарядної напруги.

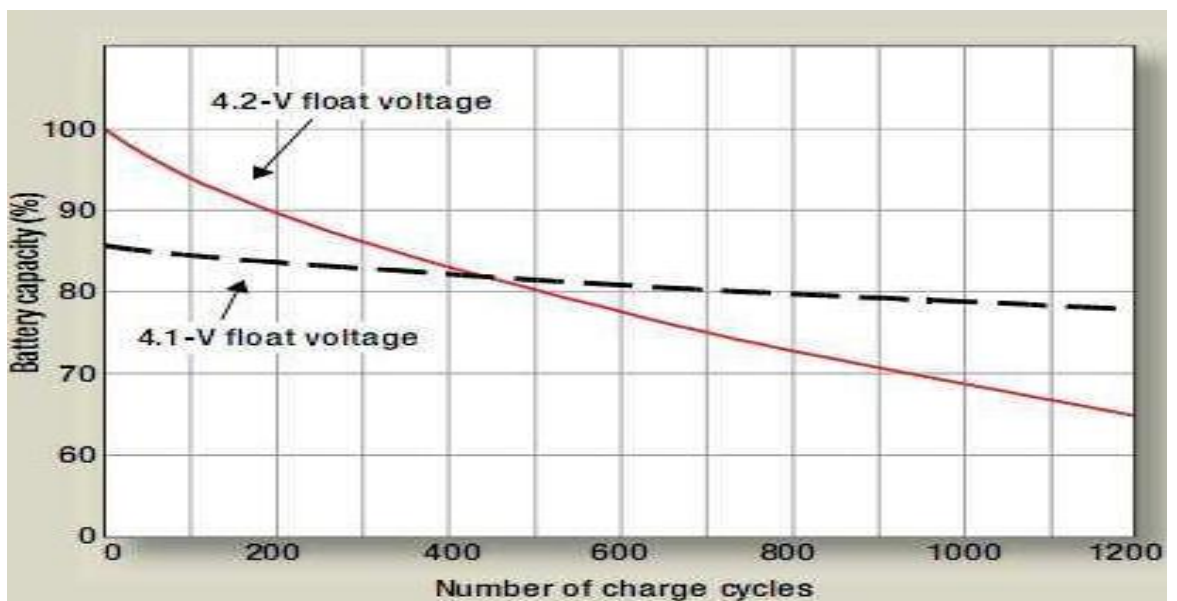


Рисунок 4.7 – Залежність кількості циклів від величини зарядної напруги Li-ion акумулятора

Незважаючи на те, що використання зниженого зарядного напруги або підвищення кінцевого зарядного струму знижують ємність акумулятора, після 500 циклів величина ємності при цих режимах заряду вище, ніж при заряді по стандартному режиму заряду до повної ємності. Через різницю в хімічному складі літій-іонних акумуляторів та інших умов, які можуть впливати на час життя акумуляторів, криві, наведені тут показують тільки оцінку між кількістю циклів і рівнем ємності. Навіть для однакової хімічної системи результати можуть значно відрізнятись у різних виробників через мінімальні відмінностей в матеріалах і пристрої акумулятора.

Виробник акумулятора вказує метод заряду і кінцеву зарядну напругу, а кінцевий користувач повинен отримати заявлені в специфікації ємність, кількість циклів і безпечну експлуатацію. Заряд при напрузі вище рекомендованого небажаний. Безліч акумуляторів містять схеми захисту, які на час відключають акумулятор при перевищенні кінцевої зарядної напруги. Повторне підключення акумуляторної батареї призводить до перезавантаження захисту. На маркуванні акумуляторних батарей часто вказують напругу, наприклад, 3,6 В для акумулятора з одним елементом. Ця напруга не є кінцевою зарядною, а скоріше середньою розрядною напругою.

Незважаючи на те, що зарядний пристрій не керує глибиною розряду, розрядним струмом і температурою акумулятора, і кожен з них впливає на час життя, безліч зарядні пристрої мають особливості, що збільшують час життя. Роль зарядного пристрою в збільшенні часу життя акумуляторів в основному визначається величиною кінцевої зарядної напруги і методом завершення зарядки. Багато зарядні пристрої мають фіксоване значення зарядної напруги 4,2 В з похибкою $\pm 1\%$ (або менше), але в деяких є можливість встановлювати значення 4,1 В і 4,0 В, а також підлаштовувати його. Використовуючи ці особливості зарядного пристрою, можна збільшити час життя акумулятора, розрахованого на заряд при напрузі 4,2 В зарядні пристрої для без підстроювання зарядної напруги теж можна збільшити час життя акумуляторів. Пристрої, що працюють за принципом відсічення

мінімального зарядного струму ($0,1C$ або $C/10$), можуть продовжити час життя акумулятора шляхом вибору рівня струму відсічення.

Режим $0,1C$ заряджає акумулятор до 92 % ємності, але збільшення кількості зарядно-розрядних циклів матиме місце. Режим $C/5$ подвоїть кількість циклів, хоча рівень ємності після заряду зменшиться до приблизно 85 %. Багато мікросхем для зарядних пристроїв дають можливість задавати або режим $0,1C/$ або C/x (підбудовується поріг спрацьовування кінцевого струму заряду).

Існуючі технології не дозволяють одночасно забезпечити тривалий час роботи і великий час життя акумуляторів без зміни їх розмірів. Для отримання максимального часу роботи зарядний пристрій повинен зарядити акумулятор до повної ємності. Це реалізується при напрузі заряду, рекомендованому виробником, типове значення $4,2 V \pm 1\%$. На жаль, заряд і тривале підключення акумулятора близько цього рівня напруги знижує тривалість життя. Одне з рішень - вибрати більш низьку напругу заряду, яка не дасть акумулятору зарядитися до 100 % ємності, хоча потрібно поставити більш ємний акумулятор для збереження часу роботи. Зрозуміло, для багатьох портативних пристроїв батарея більшого розміру є неприйнятним рішенням.

Крім того, застосування режиму $0,1C$ або C/x для кінцевого струму заряду матиме такий же ефект збільшення часу життя акумулятора, як і зниження зарядної напруги. Зниження зарядної напруги на 100 мВ знизить ємність приблизно на 15 %, але подвоїть кількість циклів. У той же час, закінчення заряду при зниженні струму до 20 % ($0,2C$) також знизить ємність на 15 % і дозволить досягти аналогічного подвоєння кількості циклів.

В процесі розряду напруга на акумуляторі повільно знижується. На характер залежності напруги від часу впливає безліч факторів, включаючи струм розряду, температуру акумулятора, вік акумулятора і тип матеріалу анода. В даний час в більшості літій-іонних акумуляторів використовується або кокс, або графіт.

Більш широко використовуваний графіт дає повільне зниження напруги в діапазоні ємності від 80 до 20 %, яке потім різко падає в кінці циклу, в той же час коксовий анод дає більш круте зниження напруги і меншу величину кінцевої напруги 2,5 В. Залишкове значення ємності для коксового акумулятора можна легко визначити за вимірюванням напруги.

Літій-іонні елементи часто з'єднують паралельно для збільшення ємності. Ніяких спеціальних вимог при цьому не висувається крім однакою хімічною системи, виробника і розмірів. Послідовне з'єднання елементів вимагає більшої турботи, тому часто потрібно підбір елементів по ємності і використання балансувальних схем, для того, щоб гарантувати зарядку кожного елемента батареї однакою кінцевою напругою і забезпечити однаковий рівень заряду.

Послідовне з'єднання двох елементів, кожен з яких має свою схему захисту, не рекомендується, так як розбаланс по ємності призведе до перенапруження на одному з елементів. Багатоелементну батарею слід купувати в зібраному вигляді і з правильною схемою захисту від виробника акумулятора.

У комплектуванні гібридних авто використовуються різноманітні джерела живлення, які виготовляються за різними технологіями. Так акумулятор зі свинцевим наповнювачем є першим і традиційним для гібридів. В автомобілі він застосовується як стартерна батарея, відрізняється надійністю, а також невисокою ціною. Поряд з цим його енергетична щільність досить мала і при повній розрядці його механічні функції малостійкі, що пов'язано з сульфитацією пластин. Але серед сучасних свинцевих джерел живлення виділяються акумулятори, які виробляються за технологією AGM. Їм вдалося вирішити проблему механічної нестабільності завдяки волокнам, які повністю просякнуті електролітом і укладені меду пластинами. Також акумулятори цього типу можна вільно заряджати і розряджати невизначену кількість разів. Тому такого роду батареї досить часто використовують в гібридних авто.

Акумулятори типу NiMH, це нікель-металогідридні батареї. Найчастіше їх застосовують як буферний акумуляуючий пристрій. Вони механічно надійні, мають високу енергетичну щільність. Але в стані спокою відбувається дуже швидкий розряд, тривалість якого зменшує кількість циклів. Але цей недолік не заважає виробникам досить часто застосовувати їх при випуску гібрида.

Нікель-кадмієвий акумулятор є прототипом нікель-металогідридного джерела живлення. Він володіє більш сильною стійкістю до повних розрядів. Основний мінус цієї батареї в «ефекті пам'яті», який полягає в тому, що після часткової розрядки відсутня можливість повного заряду, що категорично неприйнятно для гібридних авто. Тому їх експлуатація в виробництві гібридів вважається нераціональною.

Урядами різних країн вже давно проводиться політика, спрямована на зменшення витрат палива і зниження забруднення навколишнього середовища. Робиться це так, щоб особливо не міняти сформовані звички водіння і найбільш відповідає цьому запиту є гібридний транспорт. Лідером в його просуванні на даний момент є Японія, де проблема високого споживання палива і екології вельми актуальна.

Призначенням гібридного силового агрегату є економія палива без шкоди продуктивності. Це досягається шляхом використання одного або декількох електродвигунів, які допомагають двигуну внутрішнього згорання (ДВЗ) при розгоні, і в той же час перетворюють на електрику виникає при гальмуванні кінетичною енергією. ДВЗ в гібридних авто на світлофорі відключається і саме електродвигун відповідає за рух автомобіля на тихому ході. На максимальній же потужності HEV використовує всі свої двигуни.

У HEV використовується механічна трансмісія для передачі енергії від ДВЗ до коліс. В цьому відношенні HEV нагадує звичайний автомобіль з колінчастим валом і зчепленням, така схема також відома як паралельна конфігурація. Економія палива в цьому випадку досягається за рахунок використання меншої ДВЗ, який оптимізований під максимальну

ефективність використання палива, а не під високий крутний момент. У компанії Toyota стверджують, що в їх гібридному автомобілі Prius останнього покоління термічний ККД знаходиться на рівні 40 %. Електродвигун здатний забезпечити більш динамічне водіння, так як він надає кращий крутний момент в порівнянні з ДВЗ аналогічної потужності.

Більшість акумуляторних систем, що використовуються в HEV, мають гарантований термін служби 8 років. Досягається це шляхом оптимізації елементів такої системи під довговічність, а не під високу питому енергоємність, як у випадку з акумуляторами споживчих пристроїв. Виробники роблять в таких елементах товщій і міцний сепаратор, що благотворно позначається на тривалості їх терміну служби. Для максимального зменшення зносу, акумуляторна система HEV повинна працювати в діапазоні ступеня заряду 30-80%, що відповідає напрузі Li-ion елемента 3,5-4,0 В, на відміну від стандартних 3,0-4,2 В.

Режим роботи акумуляторної системи гібридного автомобіля більше імпульсний, і цим вона схожа зі стартерним акумулятором, так як тут також присутні короткі сплески потужності для прискорення, а не довгі безперервні розряди, як в разі електромобіля. Вкрай рідко відбувається розряд акумулятора HEV до низького 20 %-го заряду. При нормальній експлуатації, HEV паралельної конфігурації споживає менше 2 % від наявної ємності акумулятора на одну милю пробігу (1,6 км). Падіння ємності залишається непоміченим, і HEV акумулятори як і раніше добре працюють навіть з менш ніж половиною від початкової ємності.

На рисунку 4.8 показано падіння ємності акумуляторів шести гібридних автомобілів після 256 000 км пробігу. Випробування проводилися в рамках програми Міністерства енергетики США FreedomCAR and Vehicle Technologies (FCVT) в 2006 році відповідно до стандарту SAE J1634 і включали в себе такі гібридні автомобілі як Honda Civic, Honda Insight і Toyota Prius.

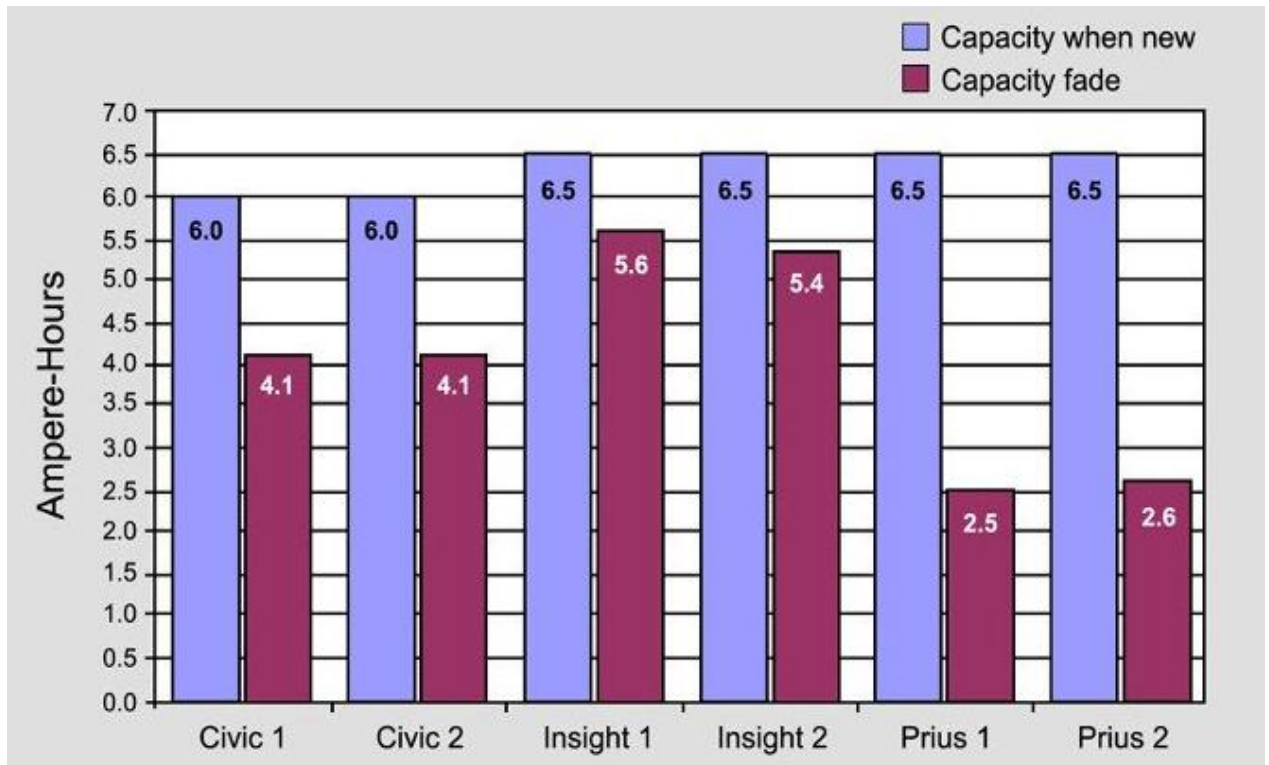


Рисунок 4.8 – Падіння ємності акумуляторів шести гібридних автомобілів

Акумуляторна система двох Honda Civic мала залишкову ємність 68 %, у Insight вона склала 85 %, а у Toyota Prius – 39 %. Навіть якби падіння ємності було б великим, ефективність використання палива серйозно б не постраждала. Insight показав зниження економії палива в розмірі 0,12 л на 100 км, а у Toyota Prius цей показник склав 0,33 л на 100 км. Кондиціонер був вимкнений в обох випадках.

У той же час досить суворі вимоги до акумуляторної системі присутні у гібридних вантажних автомобілів з повною спорядженою масою до 33 тонн. Акумулятор повинен бути здатний до безперервної зарядці або розрядки при температурі 4°C, забезпечувати потужність 10 кВт (200 л.с.) Протягом 10 хв., працювати при температурах від -20°C до 40°C і мати термін служби 5 років. Необхідну довговічність могли б забезпечити суперконденсатори, але вони мають вирішальний недолік у вигляді високої вартості і низької щільності енергії. Свинцево-кислотна електрохімічна система має хороші розрядні

характеристики, але у неї дуже повільний процес зарядки. Літій-іонні акумулятори, особливо LTO технології, є хорошим вибором, але при високих навантаженнях їм буде необхідна окрема система охолодження. Перспективним виглядає експериментальне друге покоління нікель-метал-гідридних акумуляторів, а також не варто скидати з рахунків надійну нікель-кадмієві систему.

Дивно, але загально усталеної думки про гібридний транспорт не існує, до сих пір час від часу виникають суперечки з приводу його ефективності і економічності. На конференціях, присвячених сучасним автомобільним акумуляторам, від опонентів HEV часто можна почути про краще економічності дизельних автомобілів. Виробники ж гібридів, безперечно використовують і маркетингові інструменти, категорично заперечують подібні претензії. Правда ж, напевно, знаходиться десь посередині. При міському режимі водіння HEV явно демонструє кращу паливну економічність, але при цьому дизель менше споживає на шосе. Поєднання обох цих технологій напевно забезпечать найкращий варіант, але висока вартість дизель-гібридних рішень може не окупиться при низьких цінах на паливо, хоча подібні транспортні засоби доступні в Європі.

Гібридні автомобілі представницького класу комплектуються повноцінним двигуном внутрішнього згорання потужністю 250 л.с. і електродвигуном потужністю 150-400 л.с. Такі транспортні засоби напевно знайдуть своїх покупців, особливо при наявності державного субсидування. Трохи шкода, що ті, хто ходить пішки, їздить на велосипеді або користується громадським транспортом, таких бонусів не отримують. Здоровий глузд підказує кожному, що для максимального збереження енергії необхідно мінімізувати водіння, а при його необхідності використовувати невеликі транспортні засоби.

Вольфганг Хатц, колишній глава відділу досліджень і розробок Volkswagen Group, говорив, що гібридна технологія є дуже дорогим способом заощадити невелику кількість палива, і за його заявою, Volkswagen

робив гібридні автомобілі тільки через політичний тиск. На його думку, саме дизельні двигуни є найбільш енергоефективними, особливо на трасах.

Але, можливо, саме у цього автовиробника і було найкраще рішення - Volkswagen 1-Liter Car (рисунок 4.9). Як можна зробити висновок з назви, цей концепт-кар споживає всього лише 1 літр палива на 100 км. Щоб підтвердити серйозність розробки, тодішній глава концерну Volkswagen Фердинанд Піх особисто приїхав на цьому автомобілі зі своєї штаб-квартири в Вольфсбурзі на зустріч аукціонерів в Гамбург. Середнє споживання палива в цьому заїзді склало всього лише 0,89 літра на 100 км.



Рисунок 4.9 – Volkswagen 1-Liter Car

Цей автомобіль вважався найбільш економічним в світі, але його серййне виробництво так і не було запущено. Досягти такого низького споживання палива вдалося завдяки покращенням аеродинаміки і зменшення ваги. У той час як стандартний автомобіль має коефіцієнт лобового опору 0,30, у Volkswagen 1-Liter Car цей показник становив усього лише 0,16. Карбонові кузовні панелі і рама з магнію дозволили зменшити вагу до 290 кг.

Дизельний 1-циліндровий двигун розвивав потужність 8,5 л. с. (6,3 кВт), а 6,5-літровий бак забезпечував дальність ходу 650 км. Середня витрата палива становив 0,99 літра на 100 км.

Хоча 1-Liter Car і не був запущений в масове виробництво, Volkswagen вдалося продемонструвати, що понад дбайливе використання викопного палива цілком можливо. Такий персональний транспорт став можливий завдяки зниженню ваги до рекордних 290 кг, що менше навіть ніж одна 540-кілограмова акумуляторна батарея в електромобілі Tesla S. Замість того, щоб споживати 150-200 Вт/ч на кілометр, як це відбувається в разі електричного транспортного засобу, 1-Liter Car витрачав тільки 40 Вт/год. І незважаючи на те, що відбувалося спалювання викопного палива, шкоди навколишньому середовищу наносилось менше, ніж при виробництві електрики еквівалентного пройденого відстані.

Більшість гібридних автомобілів використовують повністю електричний силовий агрегат, позбавлений механічного з'єднання ДВС з колесами. Для руху така конфігурація використовує виключно електропривод, і ДВЗ активується тільки тоді, коли заряд акумуляторної системи недостатній для живлення електродвигунів. Пробіг на повністю зарядженому акумуляторі у PHEV становить приблизно 50 км.

PHEV ідеально підходить для їзди на роботу або для інших коротких поїздок. На невеликих відстанях витрати палива не відбувається, і до того ж в деяких країнах проїзд по платних дорогах на електротранспорті безкоштовний. Але тим не менш, слід бути готовим до збільшення плати за електрику, якщо зарядка такого авто буде відбуватися в домашніх умовах.

На відміну від HEV паралельної конфігурації, де навантаження на акумулятор виникає тільки в короткі моменти часу, у PHEV акумуляторна система експлуатується в режимі виснаження, що призводить до її більшого зносу і відповідно знижує довговічність. У той час як падіння ємності акумулятора Toyota Prius HEV до 39 % буде впливати на загальну

продуктивність лише незначно, то таке ж падіння у PHEV призведе до зменшення можливого пробігу з 50 до 20 км.

Chevrolet Volt комплектується 16 кВт/год літій-іонним акумулятором, який важить 181 кг і здатний живити електродвигун потужністю 149 л.с. Робоча температура при водінні і зарядці такого акумулятора повинна складати 20-25°C. Розетка з напругою 115 В зарядить цей акумулятор за 8 год., а 220-вольтна - за 3 год. На Chevrolet Volt можна подолати 64 км до того, як запусяться 4 циліндри 1,4-літрового двигуна внутрішнього згоряння, який активує 53 кВт генератор змінного струму для вироблення електроенергії.

Незважаючи на всі переваги PHEV, довгострокова економія при його використанні може бути меншою за очікувану, особливо якщо при житті такого автомобіля йому буде необхідна заміна акумулятора. Процес старіння акумулятора є великою проблемою, про яку автовиробники не особливо люблять згадувати в рекламних буклетах. Водії, які звикли до автомобілів з ДВЗ, завжди очікують від нього достатньої потужності і при спеці, і при холоді, також і вікова деградація продуктивності в цьому випадку мінімальна. Акумулятор ж не може повністю відповідати цим очікуванням, і водій повинен бути готовий до зниження пробігу в зимовий період, а також до поступового невеликого зниження ємнісних показників з віком.

У сучасних автомобілях важлива вже не тільки чисто транспортна складова, необхідний і комфорт, і безпека, і навіть задоволення від водіння. Відсутність в автомобілі систем обігріву та кондиціонування вже здається чимось незвичайним. І якщо тепло є побічним продуктом роботи ДВЗ, то в PHEV його вже потрібно генерувати окремо, а ще більшою проблемою є кондиціонер, який споживає 3-5 кВт потужності. З цього випливає, що моменти комфорту в PHEV повинні бути передбачені більш економічними, зважаючи на свою навантаження на акумуляторну систему.

Але PHEV має і свого споживача, який цінує екологічну складову і задоволення від безшумного водіння, що приводиться в дію електрикою. Це

велика привабливість для покупця, адже електричний силовий агрегат більш "природний" в порівнянні з ДВЗ. Водій такого транспортного засобу повинен адаптуватися до його експлуатації, адже заряджати його краще вночі, коли електрика дешевше, і тримати в умі обмеження пробігу. На щастя, вже з'являється все більше зарядних станцій, які поступово знімають ці обмеження.

5. Класифікація електромагнітних завад

5.1 Загальні відомості ЕМС електрообладнання гібридного та електромобіля

Електромагнітна перешкода (ЕМП) – електромагнітний, електричний і (або) магнітний процес, який утворюється будь-яким, в тому випадку природним, джерелом в просторі і (або) провідному середовищі, і який небажано впливає або може впливати на корисний сигнал при його передачі, прийомі і (або) перетворенню в заданий вид.

Несподівана електромагнітна перешкода (НЕМП) – це перешкода, яка утворюється джерелом штучного походження, яке не призначене для порушення функціонування технічного засобу.

В області електромагнітної сумісності (ЕМС) під будь-яким джерелом розуміють тільки джерело перешкоди, який утворюється ненавмисно або від недостатньо прийнятих технічних і організаційних заходів, або через особливості фізичного процесу.

Електромагнітна перешкода, яка утворюється в просторі, називається випромінюваною, а що утворюється в провідному середовищі - кондуктивної. ЕМП утворюються, як правило, в результаті випадкових процесів в їх джерелах. Тому особливістю ЕМП є імовірнісний характер, якщо виключити окремі випадки. Аналіз ЕМП на рецептори, визначення характеристик, моделювання, нормування параметрів і їх вимірювання базується на статистичному підході.

Крім перешкод штучного походження на електромагнітну обстановку впливають перешкоди природного походження. Ці перешкоди підрозділяються на земні (електростатичні ЕМІ, які обумовлені накопиченням і подальшим збігом електростатичних зарядів від час-ток атмосферних опадів і пилу і атмосферні, які утворюються електричними розрядами під час грози, вони лежать в діапазоні частот до 30 МГц, їх

максимальне значення зосереджено в області 2...30 кГц [25]) і неземні (шум неба, перешкоди сонячної радіації, вторинний космічний шум).

По відношенню до системи або до окремого електротехнічного засобу (ЕТС) електромагнітна обстановка може бути зовнішньої, або внутрішньої. Відповідно до цього підрозділяються і ЕМІ.

Внутрішньосистемні радіоперешкод – ненавмисна до перешкод, які циркулює між радіотехнічними засобами (РТС) однієї радіосистеми.

Міжсистемна радіоперешкод – ненавмисна радіоперешкод, яка утворюється між РТІ різних радіосистем.

Міжсистемна радіоперешкод – ненавмисна радіоперешкод, яка утворюється між РТІ різних радіосистем.

Рецептор – будь-який технічний пристрій, який реагує на електромагнітний корисний сигнал і (або) на ЕМІ. Цей термін введений для оцінки впливу НЕМІ на різні технічні пристрої, а не тільки на радіоприймач.

Рецептор – це пристрій, який одночасно електронно-обчислювальна машина, радіосистема, електронний пристрій автоматики та інші. Рецептором ще може бути жива істота (біологічний об'єкт). До рецептора відносяться такі поняття як: сприйнятий-можливість, поріг сприйнятливості, стійкість перед перешкодами, перешкодозахищеність, захисне відношення.

Радіоелектронний засіб (РЕЗ) – сукупність радіотехнічного пристрою, який використовується для передачі (прийому) радіосигналів, і електронного пристрою, який використовується для перетворення сигналу з заданим видом. Реалізація такої сукупності дозволила отримати нові властивості технічних засобів в порівнянні з радіотехнічними засобами.

Електромагнітна обстановка (ЕМО) – в заданій області простору – сукупність електромагнітних, електричних та (або) магнітних полів, а також струмів (напруги) завад та сигналів, який впливає або може впливати на функціонування рецептора.

Якість ЕМО визначається характеристиками ЕМС рецептора, який функціонує або призначеного для функціонування в заданій області простору.

При вирішенні завдань організаційного та технічного характеру, пов'язані з формуванням ЕМО, її поділяють на існуючу і допустиму. Якщо джерела електромагнітного випромінювання попередньо відомі, постійні місця їх розташування, то ЕМО, яка формується такими джерелами, визначається як існуюча.

На практиці доводиться мати справу в основному з допустимою ЕМО, коли до існуючих джерел електромагнітного випромінювання в будь-який момент можуть додатися інші, які раніше не брали участі у формуванні, наприклад, блискавки або близько розташовані високовольтні лінії електропередач, які з тієї чи іншої причиною можуть виявитися в аварійному режимі.

Радіочастотний ресурс (РЧР) – сукупність можливих для використання радіочастотних електромагнітних полів, які створюють з метою передачі і прийому інформації або енергії.

Основні ознаки РЧР: матеріальність, восстанавлюваність на основі природних фізичних законів, обмеженість, доступність і неоднорідність властивостей по смугах частот. До терміну РЧР відносяться такі поняття як: радіослужба, радіоканал, виділення смуг частот, розподілу смуг частот, присвоєння частоти радіоканалів, частотно-просторе рознесення, тимчасове рознесення.

Основою аналізу НЕМЗ є їх класифікація. Але ще не існує загальноприйнятої і досить повної класифікації НЕМЗ. Тому за основу візьмемо класифікацію по ряду ознак, яка приведена в табл. 5.1.

НЕМЗ та відповідно їх джерела діляться на чотири класи: станційні, індустриальні, природні, контактні. Кожен клас має свої підкласи – випромінюючі і кондуктивні. Види НЕМЗ відносяться до всіх класів і підкласів (табл. 5.1). Приведемо визначення класів НЕМЗ.

Таблиця 5.1 – Аналіз дій завод

Клас	Підклас	Вид (для всіх класів і підкласів)
Станційні	<u>Випромінюючі:</u> Основні і не основні випромінювання: позасмугові; гармоніки; субгармоніки; комбінаційні; інтермодуляційні; шумові; паразити.	<u>По частоті і спектру:</u> низькочастотні; високочастотні; синусоїди; модульовані; імпульсні; шумові; імпульсно-шумові.
Індустріальні	<u>Випромінюючі:</u> електромагнітні; електрична андукція; магнітна індукція. <u>Кодуктивні:</u> симетричні; не семитричні; провал напруги; перенапруга; комутаційні; індукційовані; завади віддзеркалення.	<u>По часу:</u> безперервні; тривалі; короткочасні; рідко імпульсні; регулярні; нерегулярні. <u>По відношенню завади до рецептору:</u> вузькосмугові; широкосмугові; адитивні; мультиплексні;
Природні	<u>Випромінюючі:</u> атмосферні; космічні; електростатичні; потужний електромагнітний імпульс (ЕМІ).	зовнішні; внутрішні; міжсистемні; внутрісистемні; внутріапаратні; когерентна; некогерентна.
Контактні	<u>Випромінюючі:</u> від одного випромінювача; від декілька випромінювачів (інтермодуляційні контактні).	<u>По відношенню рецептору до завади:</u> допустимі; недопустимі; приємлимі; блокуючі; перехресні; перехресні амплітудно-фазові; інтермодуляційні.

Станційна – відноситься до класу завад від антени різних пристроїв радіопередачі; проявляє свою дію на такий рецептор, як приймач на його робочій частоті або на сусідніх побічних каналах прийому; створюється основним випромінюванням передавача та його гармоніками, або іншими неосновними випромінюваннями.

Індустріальна – відноситься до класу завад від електротехнічних, електронних і радіоелектронних пристроїв (в останніх крім випромінювання через антену), які використовуються в побуті, промисловості, транспортних об'єктах, медицині, військовій техніці і наукових дослідженнях. Дії завад цього класу на рецептори проявляється в більшості випадків в виді імпульсних процесів, характеристики яких залежать від типу конкретного пристрою; в наслідок різноманітності джерел індустріальна завада є найбільш поширеною в діапазоні частот від десятків герц до 1 ГГц, а в ряді випадків і до більш високих частот (табл. 5.1).

При аналізі індустріальних завад важливе значення мають поняття ближньої і дальньої зони поширення електромагнітної енергії в залежності від відстані до джерел завад в припущенні, що розміри випромінювача завад $l \ll \lambda$, де λ – довжина хвилі випромінювання. В ближній зоні на відстанях від джерела $r/\lambda \leq 1$ де r – від- носна відстань до джерела завади

$$\dot{r} = \frac{r}{r_0}, \quad (5.1)$$

де $r_0 = \lambda/2\pi$ – абсолютна відстань до джерела випромінювання завади; поле ще не сформувалось в плоску хвилю і може представляти собою переважно поле магнітної індукції H , якщо в джерелі завади тече значний струм при відносно малій напрузі, або поле електричної індукції E , якщо в джерелі тече малий струм при відносно великій напрузі. Поняття «відносно» означає, що ближня зона характеризується двома складовими індукції H і E , але в зале- жності від джерела завад може переважати одна із складових. Відомо, що H і E зв'язані між собою хвильовим опором, який вимірюється в

омах: $Z_{xв} = E/H$, причому обидві складові по часу знаходяться в фазі, але в просторі здвинуті на 90°.

Електромагнітне поле у вигляді плоскої хвилі (радіохвилі) для середньої зони випромінювання формується на відстанях $r'/ = 1 - 2$, при цьому хвильовий опір $Z_{xв} = 377$ Ом (рис.5.1.).

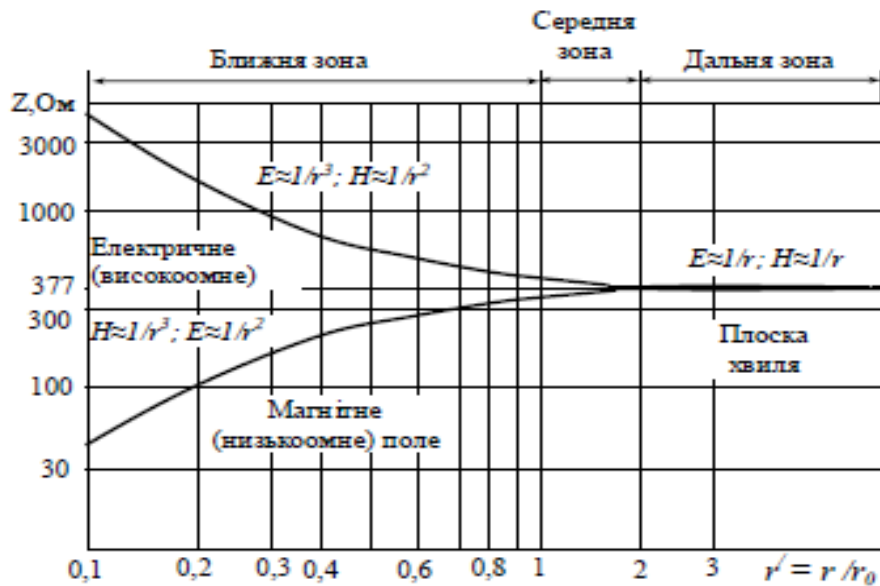


Рисунок 5.1 – Хвильовий опір електричної (E) і магнітної (H) складової поля ближньої зони в залежності від відстані до джерела завад $r' = r/r_0$

Порівнявши хвильовий опір складових поля індукції, можна відмітити, що поле E є високоомним по відношенню до хвильового опору плоскої хвилі, а поле H – низькоомним. Що стосується напруженості поля, то воно зворотно пропорційне кубу відстані до джерела завади.

На частотах менше 100 МГц індустриальні завади в більшості випадків визначаються ближньою зоною випромінювання при відстані від джерела завад: до 5 км на частоті 10 кГц, до 500 м на частоті 100 кГц, до 50 м на частоті 1 МГц, до 5 м на частоті 10 МГц, до 0,5 м на частоті 100 МГц. В зв'язку з цим можна визначити, що основні конструкторсько-технологічні рішення повинні базуватися на характеристиках поля ближньої зони поширення завад. Електричне поле ближньої зони впливає на рецептор через

паразитний ємнісний зв'язок з джерелом, а магнітне поле – через паразитний індуктивний зв'язок. Це необхідно враховувати, наприклад, при розробці монтажних схем складних технічних комплексів чи електроустаткування автомобілів.

В цілому рівень завад випромінювання, які впливають на рецептор залежить від потужності їх джерела, відстані джерело-рецептор, характеристик зони поширення (ближня, середня, дальня) і характеристик середовища поширення електромагнітної енергії.

Користуючись рис. 5.1 можна спрогнозувати розташування (по відстані) РЕЗ на автомобілі, чи виправити (скорегувати) вже існуючі комплекси РЕЗ сучасних гібридних автомобілів.

Користуючись знанням зон випромінювання, не вдаючись до складних технічних рішень, можна значно знизити рівень ЕМЗ в автомобілі. Необхідно тільки знати електромагнітні властивості кожного засобу і в залежності від його чутливості до ЕМЗ, та характеристики власних (їм же створених) завад розташувати їх так, в за-лежності від зон випромінювання, щоб ці технічні засоби як можна найменше впливали на працездатність інших РЕЗ автомобіля (були електромагнітно сумісні).

Індустріальні кондуктивні завади у вигляді струмів провідних середовищ розповсюджуються в мережах живлення, керування, комутації, заземлення і корисного сигналу. Головне джерело кондуктивних завад – це джерела живлення різних типів. Часто зустрічаються кондуктивні завади у вигляді наведених струмів, які обумовлені індуктивними і ємнісними зв'язками між провідниками, наприклад монтажні схеми, провідні лінії зв'язку і мережі живлення 220 В; оскільки ці завади визначаються полем індукції, їх доцільно називати індукційними.

Природна – відноситься до класу завад, які обумовлені природними фізичними процесами, в виді електромагнітних випромінювань, наприклад в атмосфері з частотами від одиниць герц до 10 МГц. До класу природних завад треба віднести електромагнітну заваду, яка виникає внаслідок

електризації різних тіл, в тому числі елементів конструкції, і яка проявляється внаслідок струмів стікання накопичених електричних зарядів і (або) іскрових зарядів між елементами конструкції. Такі завади проявляються в діапазоні частот від декілька герц до 1 ГГц.

Контактна – відноситься до класу завад, які утворюються перевипромінюванням струмопровідних механічних контактів з нелінійною струмовою провідністю при їх опроміненні полем досить потужного пристрою, який випромінює електромагнітне поле. Завади цього класу представляють собою сукупність імпульсних і шумових процесів.

Проведемо аналіз EMC електрообладнання гібридного автомобіля на прикладі автомобіля Lexus GS450h.

Електрообладнання автомобіля Lexus GS450h знаходиться в досить тісних просторових умовах, це видно з рис. 5.2, на прикладі силового електрообладнання автомобіля. З цієї схеми видно, що НЕМЗ мають наступні шляхи впливу: MG1 на MG2; MG2 на MG1;

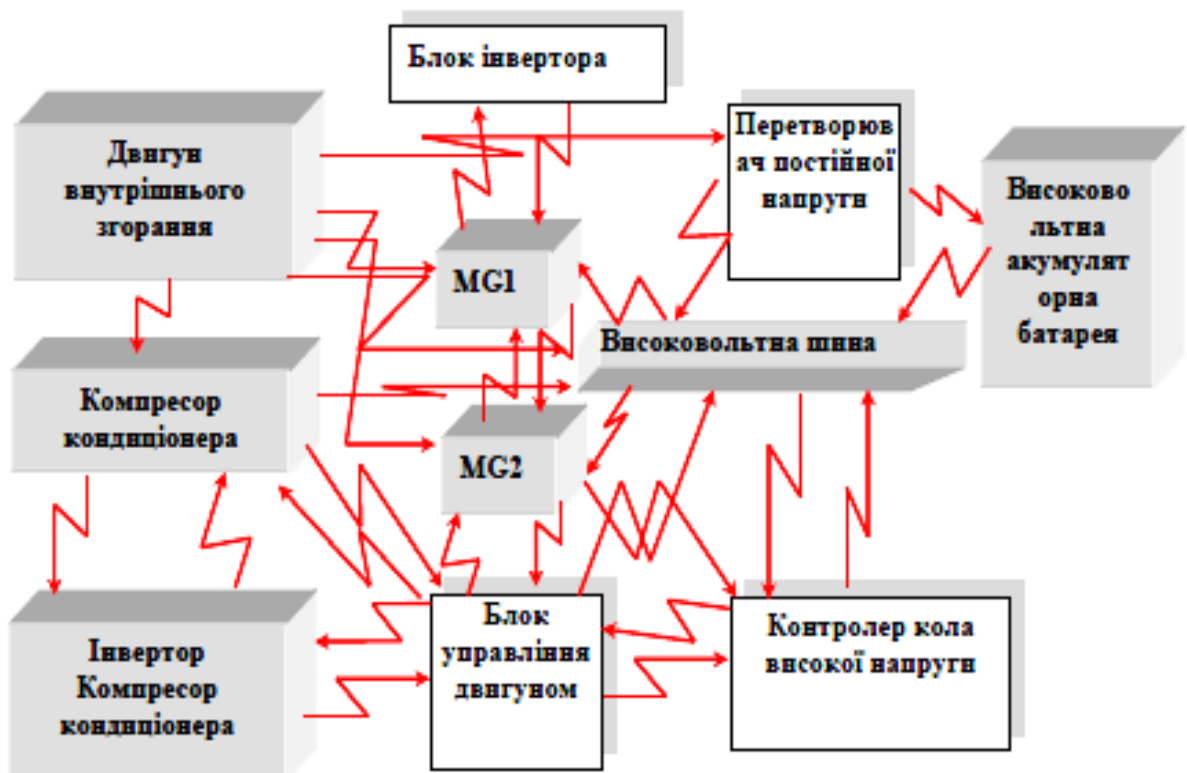


Рисунок 5.2 – Схема впливу НЕМЗ в силовому колі автомобіля Lexus GS450h

MG2 і MG1 на блок інвертора (як кондуктивна складова НЕМЗ, так і НЕМЗ випромінювання); також зворотній напрямок: блок інвертора на MG2 і MG1; двигун внутрішнього згорання на все без виключення електроустаткування автомобіля; компресор кондиціонера на інвертори та ін.

Основні напрямки дії НЕМЗ представлені на рис. 5.2. І це тільки силова частина електроустаткування автомобіля.

Аналізуючи радіотехнічне та електротехнічне устаткування автомобіля та кола управління і сигналізації, можна зробити висновок, що все електроустаткування автомобіля працює у дуже жорстких умовах ЕМС, де в тісних просторових умовах приходиться функціонувати як електротехнічним пристроям, так і радіотехнічній техніці. А тісна співпраця цих двох компонентів практично неможлива без врахування їх ЕМС, особливо у наявних просторових умовах. Бо корисні сигнали управління чи інформування в системі електрообладнання автомобіля мають досить низький рівень (від 10 мВ до 650 В), а електромагнітні завади можуть значно перевищувати цей рівень, наприклад, кондуктивна НЕМЗ від блока інвертора може приймати значення до 22 В (перехідні процеси), а складова випромінювання НЕМЗ (в залежності від відстані рецептора завади, та зони випромінювання, рис. 5.1), може дорівнювати 85 В (технічні данні блока інвертора).

Двигун внутрішнього згорання взагалі є джерелом широкосмугових електромагнітних завад, спектр яких повністю перекриває робочі діапазони всіх наявних електро- та радіозасобів автомобіля.

Неможна зневажати й тим фактом, що автомобіль Lexus GS450 h, як система в цілому, є джерело потужних НЕМЗ, які впливають на функціонування інших систем (міжсистемні електромагнітні завади).

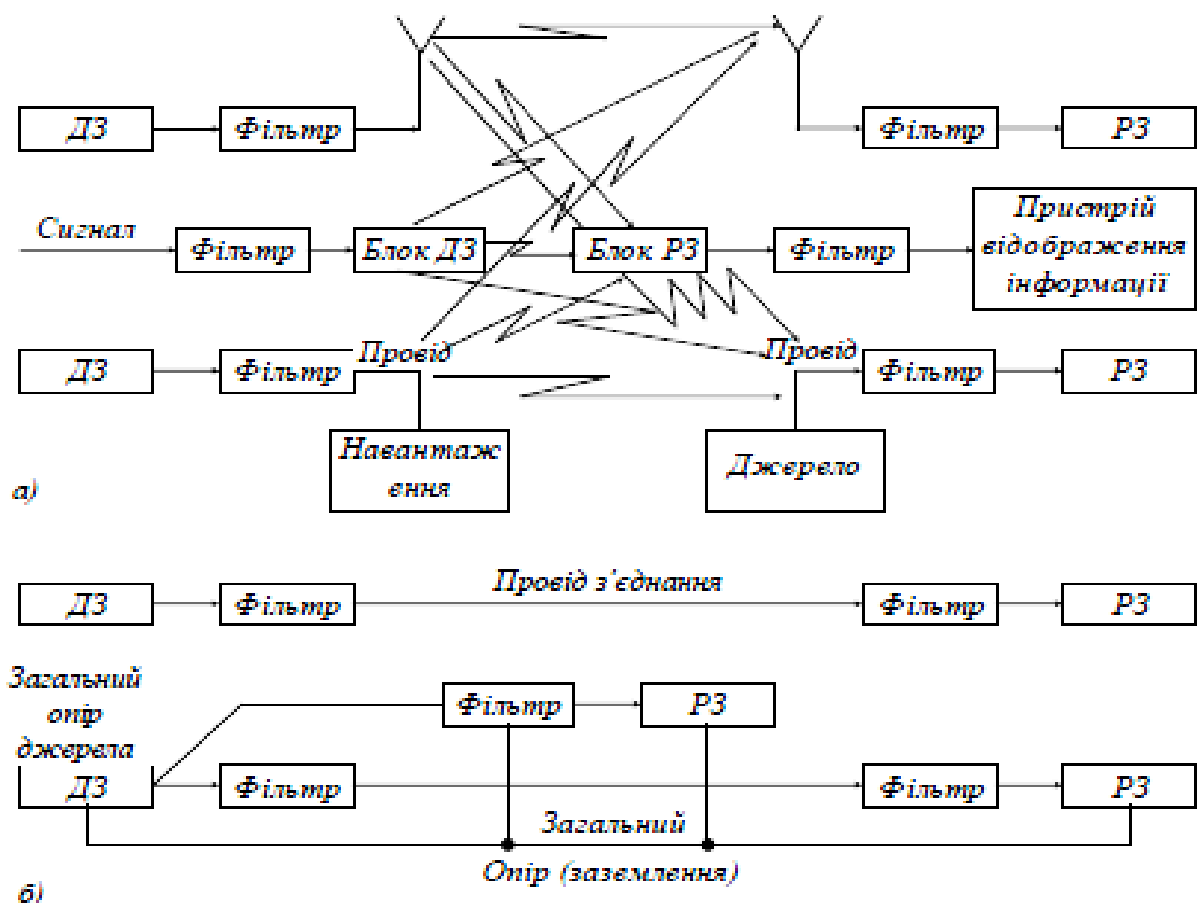
5.2. Визначення основних джерел та рецепторів завад

Базуючись на прикладі імовірних шляхів поширення ЕМЗ, які обумовлені випромінюванням (ЗВ) і провідністю (ЗП) (рис. 5.4), дамо їх класифікацію.

Шляхи ЗВ: антена – антена, антена – блок, антена – провід, блок – антена, блок – провід, провід – антена, провід – блок, провід – провід, блок – блок.

Шляхи ЗП: провід – провід, опір загального заземлення, внутрішній опір загального джерела.

На цьому етапі необхідно виявити усі можливі ДЗ в системі: передаючі пристрої, генератори, джерела живлення, модулятори системи передачі цифрових сигналів інформації і управління, колекторні двигуни, реле, соленоїди, кремнієві вентиля та ін. (рис. 3 операція 1). Потім слід визначити або оцінити смуги частот і часові інтервали кожного ДЗ (рис. 5.3 операція 2). Часові характеристики дозволяють враховувати можливі моменти виникнення НЕМЗ.



а) – між антенами, блоками і проводами (ЗВ);

б) – за рахунок провідності (ЗП)

Рисунок 5.4 – Основні шляхи розповсюдження ЕМЗ:

Потім необхідно виявити всі рецептори завад (РЗ), в яких можуть виникати збої і відмови (рис. 3 операція 3). До них відносяться, наприклад, кінцеві виконавчі пристрої, пристрої репродукування інформації, індикатори. Результатом впливу завад на ККВН може привести до короткочасної або повної відмови виконавчого пристрою, що, в свою чергу, веде до виникнення аварійної ситуації.

Далі слід або визначити пороги чутливості (рис. 5.3 операція 4), або оцінити ступінь погіршення роботи при впливу завади.

Так як завади звичайно не впливають безпосередньо на кінцеві пристрої, необхідно знати найбільш чуттєві РЗ, з яких сигнали поступають на дані пристрої. До таких РЗ, наприклад, антени і вхідні мережі УВЧ, між блочні лінії зв'язку, кабельні мережі, які виконані без екрану (рис. 5.3 операція 5). При цьому також оцінюють мінімальні рівні завад, які погіршують роботу пристроїв (рис.5. 3 операція 6).

Смуги частот, про які вже згадували, можна оцінити за допомогою графіків рівнів випромінюючих та сприймаючих завад від частоти. Частотний діапазон основних ДЗ і РЗ на ВЗ лежить в межах 100 – 30·10⁶ Гц. Деякі ДЗ займають значний частотний діапазон, оскільки, або перебудовуються по частоті, або являються імпульсними пристроями. Аналогічно можна оцінити і ширину смуг частот РЗ. Деякі ДЗ являються фіксованими по частоті (наприклад мережі живлення змінного струму частотою 50, або 400 Гц), а деякі РЗ займають вузький діапазон частот.

Данні про смуги частот можна фіксувати також у вигляді таблиці або матриці. Аналізуючи технічні засоби електроустаткування автомобіля можна зробити наступні висновки:

– всі ДЗ мають біль високі рівні потужності, чим рівні чутливості віх РЗ (виконується не завжди);

- смуги частот деяких ДЗ лежать в частотному діапазоні потенційних РЗ або перекривають його;
- смуги частот деяких ДЗ не попадають в діапазон частот потенційних РЗ, однак завади можуть впливати по побічним каналам;
- різниця рівнів ДЗ і РЗ може бути відносно невелика при цьому НЕМЗ являються маловірогідними. При досить великій різниці рівнів вірогідність виникнення НЕМЗ суттєво зростає (що залежить від взаємного розташування ДЗ і РЗ).

В дійсності причиною багатьох НЕМЗ являється вплив випромінювання ДЗ поза робочою смугою частот, який попадає в робочу смугу частот РЗ, або наявність у РЗ побічних каналів, які сприймають заваду утворену ДЗ в його робочій смузі.

При прогнозуванні НЕМЗ слід використовувати попередньо відомі данні або визначити їх за допомогою вимірювань. Якщо такі дані відсутні, то можна використати математичні моделі, що розроблені для ДЗ і РЗ, які близькі до реальних. Інколи можна спрогнозувати побічні смуги частот. Однак, якщо різниця основних частот ДЗ і РЗ перевищує одну декаду (помилки в визначенні рівнів можуть складати 30 – 50 дБ), це не гарантує вірогідність прогнозу, оскільки можливе виникнення паразитних резонансів і гармонік вищих порядків.

5.3. Оцінка основних джерел завад і рецепторів завад

Метою оцінки основних джерел і рецепторів завад є відбір декілька найбільш імовірних пар ДЗ – РЗ, а потім лише для них прогнозують наявність НЕМЗ. Такий метод найбільш зручний.

Процес відбору полягає у наступному:

- складається матриця всіх комбінацій ДЗ – РЗ, причому до матриці заносяться відомості про рівні завад і чутливості рецепторів в незалежності від їх діапазону частот;

– відбираються пари по амплітуді (відбір являється не точним, так як при цьому не враховуються частоти);

– відбираються пари по частоті, при цьому враховуються рівні завад в основній і побічної смузі частот.

Розглянемо детальніше процес відбору. Складання матриці включає записи (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Різниця в потужності ДЗ і чутливості РЗ, дБ·м

Можливості РЗ	Можливості ДЗ					
	ДЗ-1	ДЗ-2	ДЗ-3	ДЗ-4	...	ДЗ-N
РЗ-1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	...	a_{1n}
РЗ-2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	...	a_{2n}
РЗ-3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	...	a_{3n}
...
РЗ- N	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	a_{n4}	...	a_{nn}

- 1) всіх можливих ДЗ в першу строку матриці;
- 2) всіх можливих РЗ в лівий стовпець матриці;
- 3) різниць рівнів ДЗ і РЗ без урахування смуг частот до стовпців матриці.

В матрицю не заносяться данні про передавачі і приймачі, які призначені для сумісної роботи. В результаті отримуємо матрицю різниць в потужності ДЗ і чутливості РЗ, загальний вид якої представлений в табл. 5.2.

Відбір по амплітуді (табл. 5.3). Для кожної з пар ДЗ – РЗ імовірні такі комбінації:

1. Завада в основній смузі частот ДЗ і РЗ (випадок ОО рис. 5.5, а). Діапазон частот випромінювання ДЗ повністю перекриває діапазон РЗ. (При цьому для РЗ смугу робочих частот необхідно збільшити з кожного краю на 20 %. Для смугових підсилювачів смуги частот збільшуються на одну октаву.) Якщо перекриття існує, то верхню ліву частину відповідного

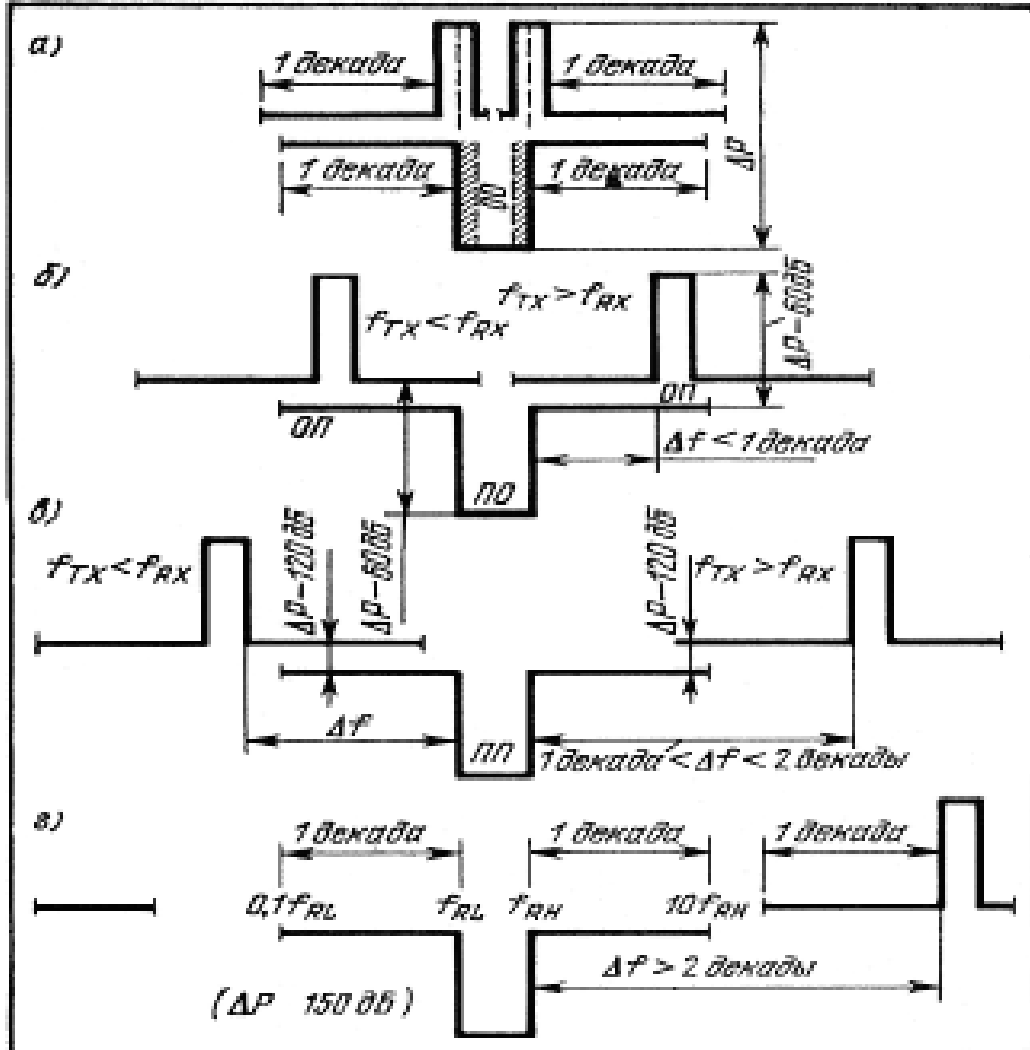
квадрату табл. 3 записують поправку 0 дБ, в нижню частину того ж квадрату записують дані з табл. 2.

2. Основні випромінювання ДЗ попадають в побічні канали прийому РЗ (випадок ОП) і побічне випромінювання ДЗ – в основний канал РЗ (випадок ПО) (рис. 5.5, б). При цьому необхідно визначити, чи існує для кожної пари табл. 3 перекриття по частоті в межах одної декади від граничних частот ДЗ і РЗ. Якщо розніс частот не перевищує одної декади, то до верхньої лівої частини відповідного квадрату табл. 5.3 записується поправка –60 дБ, в нижню ліву частину записуються дані з табл. 5.2 з урахуванням по-правки (–60 дБ).

Таблиця 5.3 – Поправка і результуючий рівень НЕМЗ, дБ

Можливості РЗ	Можливості ДЗ					
	ДЗ-1	ДЗ-2	ДЗ-3	ДЗ-4	...	ДЗ-N
РЗ-1	-x σ_{11}	-x σ_{12}	-x σ_{13}	-x σ_{14}	...	-x σ_{1n}
РЗ-2	-x σ_{12}	-x σ_{22}	-x σ_{23}	-x σ_{24}	...	-x σ_{2n}
РЗ-3	-x σ_{13}	-x σ_{32n}	-x σ_{33}	-x σ_{34}	...	-x σ_{3n}
...
РЗ- N	-x σ_{n1}	-x σ_{n2}	-x σ_{n3}	-x σ_{n4}	...	-x σ_{nn}

3. Побічне випромінювання ДЗ попадає в побічний канал прийому РЗ (випадок ПП) (рис. 5.5, в). В цьому випадку для урахування перекриття по частоті смуга ДЗ повинна бути відсунена відносно смуги РЗ на 1 – 2 декади. При відсутності перекриття до верхньої лівої частини відповідного квадрату табл.5.3 записується поправка –120 дБ, а в нижню праву записуються дані з табл. 5.2 з урахуванням поправки (–120 дБ).



а) – ситуація 1 (ОО); б) – ситуація 2 (ОП) і 3 (ПО); в) – ситуація 4 (ПП);
 г) – ситуація 5 f_{RL} (f_{RH}) – нижня (верхня) частота настройки приймача

Рисунок 5.5 – П’ять ситуацій при відборі пар ДЗ – РЗ по амплітуді:

4. Завади, які випромінюють джерела потужних полів, електромагнітних імпульсів та ін. (рис. 5.5, г). Якщо при цьому смуги частот ДЗ і РЗ зміщені одна відносно одної більше, чим на 2 декади, то в табл. 5.3 вноситься поправка (–150 дБ).

В результаті отримуємо матрицю поправок і результуючий рівень НЕМЗ в децибелах, де

$$\sigma_m = \theta_m - x, \tag{5.2}$$

де $x = 0$, або 60, або 120, або 150 дБ, в залежності від комбінацій (рис. 5.5).

Відбір по амплітуді дозволить зменшити кількість можливих пар ДЗ – РЗ. При цьому також будуть зменшені рівні завад для пар, які залишились.

Відбір по частоті. Наступним етапом в процесі відбору є подальше зменшення пар ДЗ – РЗ з урахуванням двох можливих випадків:

- 1) Розбіжність між ДЗ і РЗ відсутня (їх смуги суттєво перекриваються);
- 2) Розбіжність між ДЗ і РЗ значна, і тому в смугу РЗ попадає невелика частина потужності, яка випромінюється ДЗ.

При відборі пар ДЗ – РЗ по частоті складається матриця табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Поправка і результуючий рівень НЕМЗ, дБ

Можливості РЗ	Можливості ДЗ					
	ДЗ-1	ДЗ-2	ДЗ-3	ДЗ-4	...	ДЗ-N
РЗ-1	$-Y$ c_{11}	$-Y$ c_{12}	$-Y$ c_{13}	$-Y$ c_{14}	...	$-Y$ c_{1n}
РЗ-2	$-Y$ c_{12}	$-Y$ c_{22}	$-Y$ σ_{23}	$-Y$ c_{24}	...	$-Y$ c_{2n}
РЗ-3	$-Y$ c_{13}	$-Y$ c_{32n}	$-Y$ σ_{33}	$-Y$ c_{34}	...	$-Y$ c_{3n}
...
РЗ- N	$-Y$ c_{n1}	$-Y$ c_{n2}	$-Y$ c_{n3}	$-Y$ c_{n4}	...	$-Y$ c_{nn}

В випадку 1 смуга частот РЗ може бути:

– більша смуги ДЗ або дорівнює їй ($BR=BT$); РЗ приймає всю потужність, яка випромінюється і поправку вносити непотрібно;

– менша смуги ДЗ ($BR<BT$); РЗ сприймає тільки частину потужності, яка випромінюється, що враховується поправкою по смузі. Ця поправка для $\Delta f = 0$ залежить від співвідношення смуг:

$$Y(\Delta f = 0) = k \lg(BR / BT), \text{ дБ} \quad (9.3)$$

де BR і BT – смуги частот РЗ і ДЗ по рівню 3 дБ, Гц;

k – постійна для цієї пари ДЗ – РЗ (наприклад $k = 10$ для шумоподібних (некогерентних) випромінювань, $k = 20$ для імпульсних сигналів або перехідних процесів (когерентних випромінювань)).

Отримані результати поправок (Y) заносяться до табл. 5.4 в верхню частину відповідного квадрату, а до нижньої частини того ж квадрату записується рівень завади (c_{np}) з урахуванням поправки. Відбір по частоті дозволяє убрати ще декілька пар ДЗ – РЗ, а для тих, що залишились, зменшити рівень завад.

На попередніх етапах відбору не враховувався вплив просторової ізоляції для відібраних пар ДЗ – РЗ. При цьому передбачалось, що перехідне загасання між ДЗ і РЗ відсутнє, а це не відповідає дійсності (втрати при розповсюдженні НЕМЗ для пари паралельних дротів). На цьому етапі з початку визначають просторове розташування пар ДЗ – РЗ, а також розташування стін, блоків, відсіків, перегородок, монтажних жмутів, кабелів та ін. Потім виявляють шляхи розповсюдження НЕМЗ для кожної з пар, які залишились. Поле випромінювання завади може бути ближнім і дальнім. В процесі відбору враховуються також і дальні поля, які в меншій мірі схильні до зміни.

Після визначення величин втрат проводяться розрахунки рівнів завад (вноситься поправка величини втрати) для кожної пари ДЗ – РЗ. На підставі проведеного відбору і розрахунків робиться висновок щодо очікування від конкретної пари електромагнітної несумісності (чи перевищує рівень завад допустимий). Ці розрахунки та висновки по ним являються початковими даними для наступного етапу методики оцінки ЕМС.

Формули для врахування втрат при поширенні НЕМЗ.

$$g_H = 10 \lg H_{i \text{ EMI}}$$

$$10 \lg \left(\frac{Sp}{4\pi h_B^2} \right) + \text{кН},$$

$$10 \lg \left(\frac{l p w_p}{4 \pi h_B^2} \right),$$

де λP – довжина хвилі, яка відповідає найвищій частоті прийому рецептору;

hB – відстань від випромінювача (антени, блоку або проводів);

SP – площа поверхні блоку РЗ, яка повернута до РЗ (антени, блоку або проводів);

H – мінімальна ефективність екранування металевого блоку, дБ, $H = 10$ або 40 дБ при впливу магнітного і електричного поля (або електромагнітного) відповідно;

$k = 2$ при зв'язку між металевими блоками, $k = 1$ якщо випромінювач не являється блоком;

lP – довжина кабелю (проводу), який являється РЗ;

ω – відношення вихідних і вхідних проводів, які являються РЗ.

Формула (4) справедлива для визначення втрат між такими парами РЗ – ДЗ, як антена – антена, антена – блок, антена – провід; формула (5.2) - блок – антена, блок – блок, блок – провід; формула (6) - провід – антена, провід – блок. Для РЗ – ДЗ, провід – провід втрати енергії НЕМЗ можна визначити по табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Втрати при розповсюдженні ЕМЗ для пари паралельних проводів ($R = 50$ Ом)

Втрати V , дБ		Частота f , Гц												
		$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$3 \cdot 10^5$	10^6	$3 \cdot 10^6$	10^7	$3 \cdot 10^7$	10^8	$3 \cdot 10^8$
Без екрану	I	80	68	58	48	39	30	21	12	8	7	7	7	7
	II	93	82	72	62	52	43	34	26	18	11	8	7	7
	III	0	89	80	69	60	50	41	32	26	20	17	13	12
Один провід екранований	I	80	68	58	48	39	30	21	12	8	7	7	7	7
	II	93	82	74	71	70	70	70	70	70	68	56	46	42
	III	0	89	80	69	60	50	41	32	26	20	17	13	12

Проводи екрановані	I	80	68	58	48	39	30	21	12	8	7	7	7	7
	II	93	82	74	78	85	95	102	115	120	118	110	74	70
	III	0	89	80	69	60	50	41	32	26	20	17	13	12

В табл. 5.5 приведені дані втрат потужності ЕМЗ при їх поширенні для пари паралельних проводів в децибелах

де I- $l=10$ м, $d=1$ см або $l=1$ м, $d=1$ мм;

II- $l=2,2$ м, $d=1$ см;

III- $l=1$ м, $d=1$ см або $l=0,1$ м, $d=1$ мм; для інших l, d, R III справедлива з врахуванням поправки $-20 \lg (50 l / dR)$.

Врахування втрат при розповсюдження ЕМЗ дозволяють зменшити кількість імовірних пар ДЗ – РЗ до найменшого значення.

У підрозділу 5.4 приведено приклади аналізу та оцінки ЕМС елементів системи електрообладнання автомобіля Lexus GS450h у відповідності до представленої методики.

5.4. Визначення параметрів електромагнітних завад від провідника

Крім розглядової методики оцінки ЕМО в автомобілі, далі пропонується визначення основних параметрів наведених електромагнітних завад і через електрорушійну силу (ЕРС). Це дає змогу провести електромагнітну оцінку з урахуванням реальних геометричних розмірів провідників. Представимо визначення ЕРС, через розрахунок індукції провідника, в якому
наводиться НЕМЗ.

З метою спрощення розрахунку індуктивності “товстого” провідника (який має кінцевий розмір) будимо вважати, що контур має прямокутну форму (рис. 5.6) довжиною $l+t$ і висотою $m-r$. Індуктивністю іншої частини контуру можна зневажати, маючи на увазі, що найбільшого значення

магнітне поле досягає у поверхні “товстого” провідника. Струм $i(t)$ в проміжку часу τ змінюється лінійно (рис. 5.7).

У відповідності з законом повного струму значення напруженості магнітного поля H на відстані Y від центру товстого провідника може бути знайдено з рівняння

$$i(t) = H2\pi y, \tag{5.3}$$

де $i(t)$ – струм, який протікає по “товстому” провіднику;

H – напруженість магнітного поля;

y – відстань від центру “товстого” провідника до розгляданої точки.

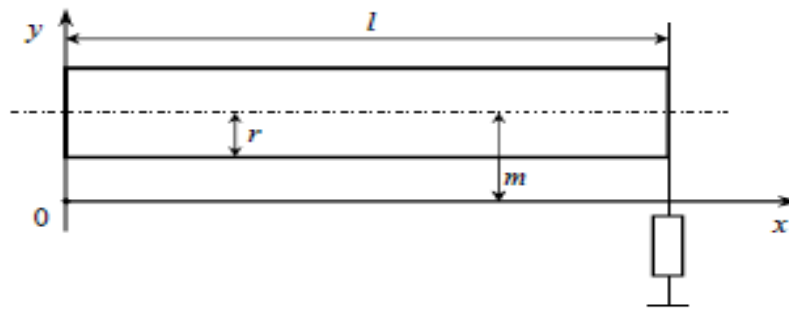


Рисунок 5.6 – До пояснення розрахунку “товстого провідника”

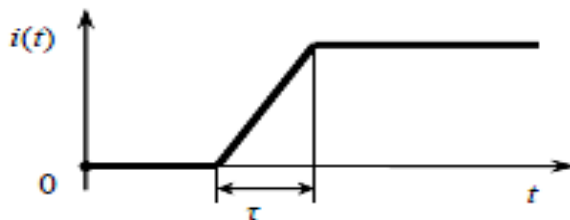


Рисунок 5.7 – Закон зміни струму в “товстому” провіднику в проміжку часу τ

Тоді магнітне поле H знаходиться: а індукція в розгляданій точці: y t і $H^2 \cdot V = \mu_0 H^2$, (8).

А значить потік зачеплення Φ з контуром буде визначатися:

$$\Phi = \int_0^l \int_0^{2m} \int_0^{\tau} \int_0^y \mu_0 H^2 dx dy dt dy$$

Визначимо ЕРС завади:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_{\text{rm}}^{\text{ln}} \mathbf{m} \cdot \mathbf{l} \, d\Phi = 2 - 0;$$

$$t \, di \, dtt \, di \, \text{rm} \, \text{ln} \, I \, m \, l \, e \, 2 - 0;$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = L \, e^{-I} \, e^{IeL};$$

$$\text{rm} \, \text{ln} \, m \, l \, e \, 2 - 0,$$

де μ_0 – магнітна стала; m – відстань від землі до центральної осі проводу; r – радіус проводу; l – довжина проводу; $i(t)$ – струм, який протікає по товстому провіднику;

y – відстань від центру товстого провідника до розглядової точки;

Φ – потік зачеплення; τ – проміжок часу; e – електрорушійна сила;

L – індукція товстого провідника.

Запропонована методика оцінки ЕМЗ передбачає, що всі РЕЗ автомобіля працюють в сталому режимі. Але ЕМЗ утворюються і при різних перехідних імпульсних процесах, які діють або випадково, або у відповідності з алгоритмом роботи даної апаратури.

Частотний діапазон таких завад може бути відносно вузьким (менше одної октави) або частіше широким (багато октав). Рівень їх залежить від частоти, амплітуди і тривалості імпульсу, а також від крутизни його фронту і зрізу. В табл. 5.6 приведені типові значення параметрів імпульсних завад, які виникають при перехідних процесах в різних джерелах.

Таблиця 5.6 – Параметри імпульсних завад

Джерело завад	Частота повторення, с ⁻¹	Тривалість імпульсу, с
Люмінесцентні лампи	10 ²	10 ⁻⁷
Системи запалення: на холостому ходу в робочому режимі	10 ² 10 ³	10 ⁻⁸
Реле і соленоїди звичайні	10 ³	10 ⁷
Колекторні двигуни	10 ³	10 ⁻⁸
Вмикачі	10 ⁻⁴ 10 ⁻³	10 ⁻⁶ 10 ⁻⁷

5.5. Приклади оцінки ЕМС елементів системи електрообладнання гібридного автомобіля

У зв'язку з тим, що всі лінії живлення, сигналізації та управління прокладені в одному загальному жмуті, то виникає необхідність розрахувати їх електромагнітну сумісність.

Нижче приведені необхідні розрахунки з урахуванням номінальних електротехнічних характеристик, як джерела завади, так і її рецептора.

Розглянемо модель ємнісного зв'язку між двома провідниками. Один провід, позначено 1 на рис. 5.8 є мережа, яка впливає і другий, позначено 2 на рис. 5.8 – мережа, яка підпадає під вплив.

На моделі і її схемі заміщення позначено

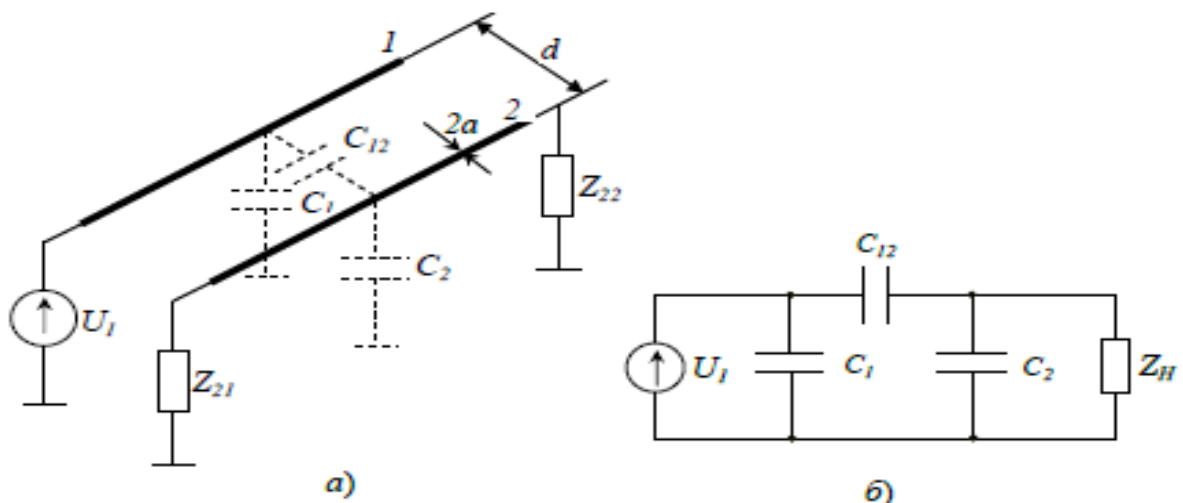
$$\tilde{N}_{12} = \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)} \quad (5.)$$

де C_{12} – паразитна ємність між провідниками 1 і 2;

ϵ – діелектрична проникливість середовища, яка навколо провідників;

C_1 і C_2 – ємності провідників на «землю»;

Z_H – сумарний опір проводу 2 на землю, який не є паразитним елементом, а представляє собою робочий опір схеми.



а) фізична модель; б) еквівалентна схема заміщення

Рисунок 5.8 – Ємнісний зв'язок між провідниками:

Якщо врахувати, що ємністю C_1 можна зневажати, так як вона не впливає на електричний зв'язок провідників в виду того, що джерела завад з'єднуються в паралель, то напругу відносно «землі» мережі 2, яка підпадає під вплив, можна вивести з рівняння чотири полюсників.

Таким чином величини і зв'язані виразом: U_1 і U_2

$$U_2 = U_1 \frac{j\omega \frac{C_{12}}{C_{12} + C_2}}{1 + j\omega \frac{Z_H (C_{12} + C_2)}{1}}. \quad (5.4)$$

Для випадку низькочастотного впливу, коли формула приймає вигляд

$$U_2 = U_1 j\omega Z_H C_{12} \quad (5.5)$$

Якщо ємнісний зв'язок здійснюється по високій частоті, коли

$$Z_H = \frac{1}{j\omega C_{12} + C_2}, \quad (5.6)$$

тоді

$$I_2 = \frac{\mu i}{2\pi C_{21} + Z_n} \ln\left(\frac{d+h}{d}\right) j\omega I. \quad (5.7)$$

Визначимо наведену напругу в колі 2 (рис. 5.8). Згідно з виразом (5.5) для вибраних режимів роботи: $U_2 = j\omega Z_H C_{12} U_1$, табл.5.7. U_1 і U_2

Таблиця 5.7 – Результат розрахунку напруги наведеної в колі 2

U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	U_4 , В

5,49938E-05	0,000106753	0,000161747	0,00030404083
-------------	-------------	-------------	---------------

Переведемо одержаний результат наведення напруги в децибелли (табл. 5.8):

$$g_U = 20 \lg U_{i \text{ eA}}; \quad (5)$$

Таблиця 5.8 – Визначення рівня завад в децибеллах

g ₁ , дБ	g ₂ , дБ	g ₃ , дБ	g ₄ , дБ
34,80627653	40,5675769	44,17669819	49,65985518

Висновок: Розрахунки указують на те, що допустимий рівень не втримується. Лише з початку розгону автомобіля рівень завад має допустимі значення (до 40 дБ).

В процесі протікання струму завади в мережі, яка впливає на інші кола, навколо провідника 1 (рис. 5.9) буде існувати магнітне поле, яке охоплює мережу 2 і наводить в ній індукуючий струм (струм наводки). Струм наводки може бути визначений по формулі взаємно зв'язаних електричних контурів

$$i_2(t) = \frac{\dot{I}_{12}}{Z_{21} + Z_{22}} \cdot \frac{di_1}{dt}, \quad (5.8)$$

де M_{12} – взаємна індуктивність (коефіцієнт взаємної індукції), між провідниками 1 і 2, Гн;

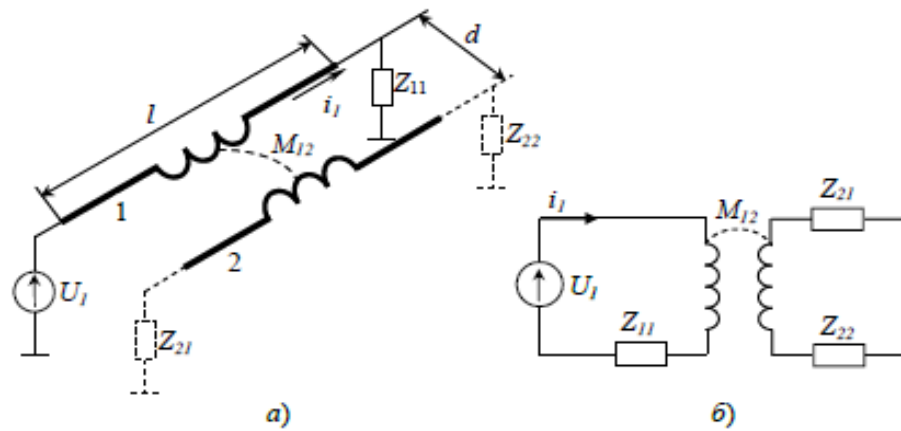
$i_1(t)$ – струм в мережі в функції від часу, А;

Z_{21} і Z_{22} – опір мережі, яка підпадає під вплив, Ом.

Визначити взаємну індуктивність можна у вигляді

$$\dot{I}_{12} = \frac{\mu l}{2\pi \ln\left(\frac{l}{d}\right)}, \quad (5.9)$$

де μ – магнітна проникливість простору, який навколо провідника, Гн/м.



а) – фізична модель; б) – еквівалентна схема заміщення.

Рисунок 5.9 – Магнітний зв'язок між провідниками:

Якщо прийняти, що опори Z_{21} і Z_{22} мають активний характер, то форма наведеного струму в мережі 2 буде відповідати похідної від форми струму в мережі 1.

Коли провідник 1 з струмом завади $i_1(t)$ здійснює вплив на контур «провід–земля» площиною $A=hl$, причому магнітне поле проводу 1 перпендикулярне площині цього контуру (рис. 5.10), то формулу (5.9) можна переписати у вигляді

$$i_2(t) = \frac{\mu l}{2\pi C_{21} + Z_n} \ln\left(\frac{d+h}{d}\right) \frac{di_1(t)}{dt}. \quad (5.10)$$

З формули (5.8) видно, якщо опори Z_{21} і Z_{22} прийняти активними, то наведений в мережі 2 струм по формі буде також відповідати похідної по часу від струму завади в мережі 1.

Якщо врахувати, що згідно з символічним методом $\omega = j\omega$, тоді вираз (5.8) прийме вид: $i_2(t) = \frac{d}{dt} i_1(t)$

$$\mathcal{E} = \frac{\mu i}{2\pi C_{21} + Z_n} \ln\left(\frac{d+h}{d}\right) j\omega I. \quad (5.11)$$

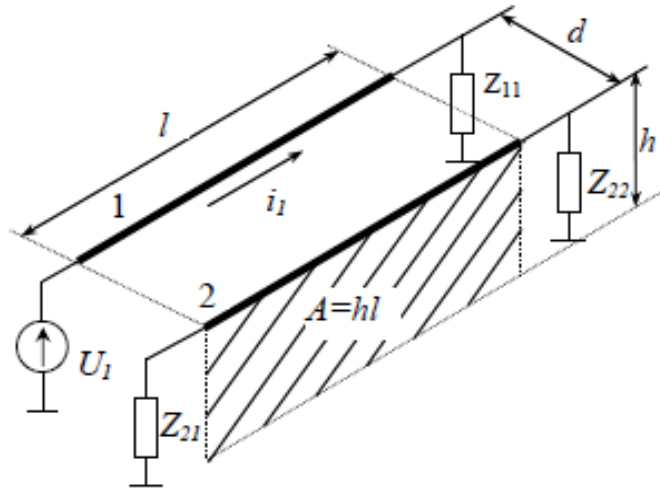


Рисунок 5.10 – Магнітний зв'язок між проводами з струмом завади і контуром РЕЗ

Розрахуємо струм наведеної ЕМЗ, який наводиться від мережі живлення $U_1 = 288/650$ В змінного струму, частота (згідно режимів роботи): $f_1 = 17$ Гц, $f_2 = 33$ Гц, $f_3 = 50$ Гц, $f_4 = 94$ Гц, на кола управління та сигналізації враховуючи магнітний зв'язок між провідниками.

Початкові дані:

Відстань провідників від мережі живлення $d = 0,3$ м; опір провідників на землю $Z_{21} = Z_{22} = 50$ Ом; струм мережі живлення дорівнює $I = 76,9$ А при номінальному навантаженні; відстань від «землі» до провідників $h = 0,005$ м; довжина провідників $l = 0,8$ м; кутова частота для вибраних режимів роботи згідно з виразом (7) приведена у табл. 5.9.

Розрахуємо величину струму згідно з виразом (7) для вибраних режимів роботи, при відповідній кутовій частоті, табл. 5.10

Таблиця 5.9 – Кутова частота для вибраних режимів роботи згідно з виразом (7)

I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A
----------	----------	----------	----------

0,021414	0,041568	0,06298253	0,118407152
----------	----------	------------	-------------

Розрахуємо наведену напругу від ЕМЗ для вибраних режимів роботи [28] (табл.5.10)

$$U_{12} = \sqrt{C_1 + Z_2}. \quad (5.12)$$

Таблиця 5.10 – Розрахунок напругу від ЕМЗ для вибраних режимів роботи

U ₁ ,В	U ₂ ,В	U ₃ ,В	U ₄ ,В
2,141405949	4,156846843	6,298252792	11,84071525

Переведемо одержаний результат наведення напруги в децибели у відповідності з виразом (5.8), табл. 5.11.

Таблиця 5.11 – Визначення рівня завад в децибелах

g ₁ , дБ	g ₂ , дБ	g ₃ , дБ	g ₄ , дБ
126,6139801	132,3752805	135,9844018	141,4675587

Розрахунки указують на те, що допустимий рівень не тільки не витримується, а й перевищує у декілька разів.

Для розрахунку впливу електричної складової електромагнітного поля завади, яка наведена випромінювачем для симетричної мережі звернемося до рис. 5.11.

Якщо врахувати, що провідність Y₁₂ в основному визначається ємністю між провідниками, то нескладно визначити повний струм мережі, який створюється еквівалентним джерелом,

$$i(t) = 2C_{12} lh \frac{dE(t)}{dt}, \quad (5.11)$$

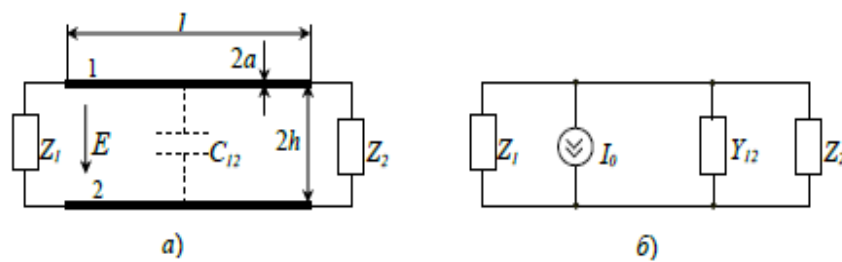
де $C_{12} = \pi \varepsilon_0 \ln(2h/a)$ – внутрішня ємність двопровідної лінії на одиницю її довжини, Ф/м;

$2h$ – відстань між проводами, м;

a – радіус провідника, м;

l – довжина провідника, м;

$E(t)$ – напруженість електричного поля завади, В/м.



а) – фізична модель; б) – еквівалентна схема заміщення
Рисунок 5.11 – Вплив електричного поля на провідник

У зв'язку з тим, що електротехнічні засоби в автомобілі працюють на частотах живлення (згідно режимів роботи): $f_1 = 17$ Гц, $f_2 = 33$ Гц, $f_3 = 50$ Гц, $f_4 = 94$ Гц. або на постійній напрузі знайдемо відповідну їм довжину хвилі (табл. 5.12)

$$\lambda = \frac{\tilde{N}}{f}, \text{ м.} \quad (5.12)$$

де λ – довжина хвилі, м;

c – швидкість світла ($3 \cdot 10^8$) м/с;

f – частота.

Таблиця 5.12 – Визначення довжини хвилі

$\lambda_{1, \text{М}}$	$\lambda_{2, \text{М}}$	$\lambda_{2, \text{М}}$
17647059	9099090	3191489

Середня відстань в між колами впливу та іншим електрообладнанням автомобіля, складає $r = 2$ м.

Отже

$$r \leq \frac{\lambda}{2\pi} \quad (5.13)$$

Це говорить про те, що вся електрообладнання автомобіля, знаходиться в ближній зоні випромінювання (див рис. 5.1). Для визначення напруженості електричного поля скористаємося співвідношеннями

$$E = \left(\frac{I \cdot l_0}{2\pi \varepsilon \omega \cdot r^3} \right) \cdot \cos \varphi, \quad (5.14)$$

де I – струм в провіді антени, А;

l_0 – довжина провідника, м;

$\varepsilon = \varepsilon' / \varepsilon_0$, де $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$, Ф/м – електрична постійна, ε' – відносна діелектрична проникливість повітря, Ф/м;

ω – кутова частота, рад/с;

r – відстань від випромінювача до міста спостереження, м;

φ – кут орієнтації вектору напруженості по відношенню до контуру, який розглядається.

Візьмемо випадок, коли, А, м, м, В результаті отримаємо (табл. 5.13).

Таблиця 5.13 – Визначення напруженості електричного поля завади

E_1 , В/м	E_2 , В/м	E_3 , В/м	E_4 , В/м
681037064	350837257	231552602	123166277

Переведемо одержаний результат напруженості електричного поля завади в децибели у відповідності з виразом (12), табл. 5.14

$$g_E = 20 \lg E_i \text{ в дБ/м}^2$$

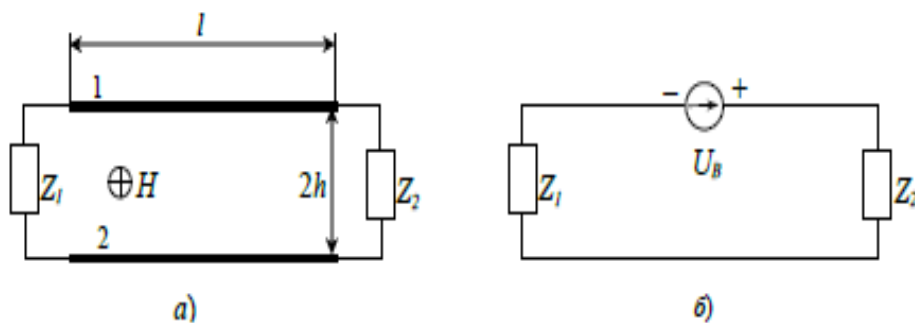
Таблиця 5.14 – Визначення рівня завад в децибелах

g_{F1} , дБ	g_{F2} , дБ	g_{F3} , дБ	g_{F4} , дБ

296,663415	290,902115	287,29299	281,80984
------------	------------	-----------	-----------

Висновок: Знайдена напруженість електричного поля, яка створюється електротехнічними засобами силового електроустаткування автомобіля, не задовольняє вимогам нормативних документів. Це свідчить про те, що умови ЕМС по даному параметру невиконані.

Для розрахунку впливу магнітної складової електромагнітного поля завади, яка наведена випромінювачем, звернемося до еквівалентної схеми, яка приведена на рис. 5.15.



а) – фізична модель; б) – еквівалентна схема заміщення.

Рисунок 5.15 – Вплив магнітного поля на провідник

Під впливом ЕРС в контурі протікає струм:

$$i(t) = \frac{2\mu_0 l h}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{dH(t)}{dt}, \quad (5.15)$$

де Z_1 і Z_2 – опір навантаження лінії, Ом;

l – довжина провідника, м;

$2h$ – відстань між проводами, м;

$H(t)$ – напруженість магнітного поля завади в функції часу, А/м;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала.

Оскільки враховуючи, що згідно з символічним методом

$$\frac{dH(t)}{dt} = j\omega H, \quad (5.16)$$

то формула (5.16) буде мати вигляд

$$I = \frac{2\mu_0 lh}{Z_1 + Z_2} \cdot j\omega H. \quad (5.17)$$

Раніше було визначено, що електрообладнання автомобіля знаходиться у ближній зоні випромінювання (рис. 5.1 та табл. 5.12), тому для розрахунку напруженості магнітного поля завади використаємо співвідношення.

$$H = \left(\frac{I \cdot I_0}{4\pi w \cdot r^2} \right) \cos \varphi. \quad (5.18)$$

Візьмемо випадок, коли, $\varphi = 45^\circ$, $I = 76.9 \text{ А}$, $l_0 = 0.8 \text{ м}$, $r = 2 \text{ м}$,

В результаті отримаємо (табл. 5.15):

Таблиця 5.15 – Визначення напруженості магнітного поля завади

$H_1, \text{ А/м}$	$H_2, \text{ А/м}$	$H_3, \text{ А/м}$	$H_4, \text{ А/м}$
0,00602718	0,00310491	0,0020492	0,00109

Перерахунок отриманого результату напруженості магнітного поля завади в децибелі у відповідності з виразом (17), табл. 5.16

$$g_H = 10 \lg H_i \text{ дБ}$$

Таблиця 5.16 – Визначення рівня завад в дкцибеллах

$g_{H1}, \text{ дБ}$	$g_{H2}, \text{ дБ}$	$g_{H3}, \text{ дБ}$	$g_{H4}, \text{ дБ}$
75,6022807	69,8409804	66,321859	60,748702

Висновок: Знайдена напруженість магнітного поля, яка створюється електротехнічними засобами силового електроустаткування автомобіля

задовольняє вимогам нормативних документів. Це свідчить про те, що вимоги ЕМС по даному параметру виконані.

6. Біологічно важливі параметри магнітного поля електротранспорту

Електричні і магнітні поля призводять до серйозних змін в організмі, впливаючи на людину за допомогою різних фізичних механізмів. Серед цих механізмів можна відзначити зміни в русі іонів і молекул, зміни температури внаслідок нагрівання, часу життя вільних радикалів і орієнтації молекул.

Зараз досить добре зрозумілий (хоча і не повністю) механізм дії магнітних полів високої інтенсивності, які можуть викликати електричну стимуляцію м'язів і зміни або навіть руйнування клітин за рахунок нагріву або електропорації (створення пір в мембрані під дією електричного поля). Однак техногенні магнітні поля низькочастотного діапазону (≤ 300 Гц), які зазвичай оточують нас вдома і на роботі, індують в організмі електричні поля менші, ніж 10^{-3} V / м, або магнітні поля менші, ніж ≤ 100 мкТл.

Механізм дії таких полів в даний час неясний. З чисто фізичної точки зору можливість впливу даних полів на живі організми викликає великі сумніви, тому що вони на кілька порядків менше власного електромагнітного шуму організму [Adair, 1991; Бінго, 2003]. Це власне поле виникає в організмі за рахунок руху заряджених частинок - іонів, протеїнів і т. д. - і може досягати за величиною сотень мікротесел.

Для механізму біологічної дії слабких магнітних полей запропоновані різні біофізичні ідеї [Птіцина та ін., 1998; Бінго і Савін, 2003; Ayrapetyan and Markov, 2006; Sadafi et al., 2006; Vincze et al., 2008]. Це, зокрема, можливість перетворення і посилення процесів на клітинних мембранах, існування резонансного механізму, коли статичне поле (наприклад, геомагнітного поля і, крім цього, в багатьох випадках залежать від напрямку поля щодо магнітного поля Землі [Cleary, 1993]. Біологічні експерименти, включаючи дослідження на людині [Kavaliers et al., 1993; Lyskov et al., 1993; Kavet, 1992], дозволяють зробити припущення, що стрибкоподібні іррегулярні поля (т. е. такі, яким притаманні різкі зміни поля на тимчасових інтервалах секунд і

хвилин) можуть бути біологічно більш ефективними, ніж регулярні синусоїдальні поля.

У взаємодії магнітного поля і організму певну роль відіграє також поляризація, що обумовлена тривимірної геометрією поля [Kavet, 1992]. В цілому ці результати підкреслюють можливе особливе значення таких параметрів впливу поля, які відрізняються від зазвичай розглядаються усереднених за часом величин. Для повного опису впливу на організм магнітних полів, особливо «реальних» змінних транспортних полів зі складною частотної структурою, необхідно розглянути і спробувати якось описати чисельно особливості цих полів, а саме їх складні частотні характеристики, іррегулярністю, нестационарність і поляризацію. До сих пір ця робота знаходиться в зародковому стані.

6.1. Оцінка поляризації

Магнітне поле є вектором, тому його зміни в часі можна описати як зміни довжини вектора і його напрямки. Коливання тільки довжини вектора з інверсією його напрямки називається лінійною поляризацією; зміна тільки кута напрямку вектора (обертання вектора) називається круговою поляризацією. Одночасна лінійна і кругова поляризація дає еліптичну поляризацію. Наприклад, магнітні поля в околиці силових ліній є типовими еліптично поляризованими полями.

Еліптично поляризоване поле можна отримати за допомогою двох котушок зі взаємно перпендикулярними осями. Якщо фази струмів (тимчасові структури) в котушках однакові (фазові зміщення 0 або 180 °), то сумарна магнітне поле буде лінійно поляризованим. Якщо фази струмів відрізняються на 90 ° при однаковій інтенсивності, то результуюче поле буде мати кругову поляризацію. У разі проміжних фазових зсувів результуюче магнітне поле буде еліптично поляризованим. Для аналізу поляризаційної

структури поля були розроблені спеціальні методи, алгоритми обчислень і програми.

Якісний аналіз. Цей метод полягає в візуалізації обертання вектора магнітного поля в трьох ортогональних площинах: XY, YZ і XZ [Villoresi et al., 1998]. Дані були попередньо відфільтровані, і потім в обраних частотних інтервалах побудовані вектори магнітного поля для кожної площини. Ці вектори показують напрямок і величину проекції повного вектора варіації магнітного поля на кожен площину. Довжина і кут нахилу векторів обчислювалися за компонентами магнітного поля з тимчасовим кроком 0,1 с. Таким чином, можна простежити зміну вектора магнітного поля в часі і просторі.

Кількісний аналіз. Був розроблений спеціальний метод і алгоритм, заснований на обчисленні розподілу ймовірності фазового зсуву між магнітними компонентами в кожній з трьох площин: XY, YZ і XZ. Обчислення проводилися наступним чином:

1. Магнітне поле піддавалося фільтрації смуговими фільтрами (для всіх трьох компонент) для того, щоб виділити варіації в різних частотних інтервалах.

2. Десятихвилинні файли (інтервали) даних кожного компонента поля поділялися на 5-секундні файли (120 файлів кожен по 500 точок).

3. Для кожного файлу (інтервалу) обчислювався фазовий зсув τ (в секунду) між двома компонентами в кожній площині (XY, XZ і YZ). Для цього спеціальна комп'ютерна програма визначала мінімальну різницю J між двома рядами даних (між двома компонентами магнітного поля) за формулою

$$J = \sum_{i=1}^N [B_1(t_1) - B_2(t_i + \tau)], \quad (6.1)$$

де $N = 500$;

t_1 - поточний час;

B_1 і B_2 - відповідні компоненти магнітного поля.

4. Величини в секундах перераховувалися в градуси. Один період коливання дорівнює 3600.

5. Вірогідність фазових зсувів P обчислені і побудовані у вигляді гістограм для площин XY , XZ , YZ .

6.2. Основні принципи електромагнітної безпеки

В даний час багато фахівців підтримують ідеї, що склалися в Швеції, щодо електромагнітної безпеки. Там вважають, що гранично допустима величина магнітної індукції дорівнює 0,2-0,3 мкТл. При цьому вважається, що розвиток захворювань найімовірніше при тривалому опроміненні людини полями вищих рівнів (кілька годин на день, особливо в нічні години, протягом періоду понад рік).

Дослідники з Університету Карнегі в Пітсбурзі (США) сфорлювали підхід до проблеми можливого впливу магнітного поля, який вони назвали «розсудливе запобігання». Даний принцип взятий на озброєння також ВООЗ. Вважається, що поки наші знання щодо зв'язку між здоров'ям і впливом електромагнітних полів залишаються неповними, але існують сильні підозри щодо негативних наслідків для здоров'я, необхідно вживати заходів щодо забезпечення безпеки за рахунок різних способів захисту.

В даний час введені такі основні нормативні документи щодо захисту від електромагнітних випромінювань: ГОСТ Р 50648 «Стійкість до магнітних полів промислової частоти», ГОСТ Р 51317.4.3 «Стійкість до радіочастотного електромагнітного поля», ГОСТ 29339-92 «Захист інформації від витоку за рахунок побічних електромагнітних випромінювань і наведень. Загальні технічні вимоги », СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах». В рамках перерахованих документів і в світлі принципу "розсудливого запобігання» має бути забезпечений захист від

магнітних полів промислової частоти, так само як від електромагнітних полів більш високого діапазону [20].

Інженерно-технічні захисні заходи будуються на використанні екранування електромагнітного поля безпосередньо в місцях перебування людини або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Останнє, як правило, застосовується на стадії розробки виробу, службовця джерелом поля. Екранування – це один з найбільш розроблених підходів до вирішення завдання щодо зниження неприпустимих рівнів електромагнітних полів. Зазвичай маються на увазі два типи екранування: екранування джерел електромагнітного поля від людей і екранування людей від джерел поля.

Захисні властивості екранів засновані на ефекті ослаблення напруженості і спотворення електричного поля в просторі поблизу заземленого металевго предмета. При частотах менше 10 кГц екрани зі звичайних провідних матеріалів непрацездатні, і тому необхідно використовувати магнітні, точніше магнітомягкіє, сплави. Основний принцип захисту від магнітних полів промислової частоти полягає в замиканні ліній магнітного поля в товщі матеріалу з малим магнітним опором і забезпеченні непроникнення їх або всередину замкнутого обсягу, або з замкнутого обсягу назовні.

Аж до теперішнього часу для виготовлення магнітних екранів традиційно використовують випускаються промисловістю кристалічні магнітомягкіє сплави. До них відносяться: високий вміст сплава (80 % Ni – 20 % Fe), сплави з середнім вмістом нікелю (50 % Ni – 50 % Fe) і сплави на основі заліза (кремниста сталь, низьковуглецевий сталь). Однак останнім часом в екранування все більш широке застосування знаходять аморфні сплави на основі кобальту. Магнітні характеристики деяких з перерахованих сплавів представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Магнітні характеристики кристалічних і аморфних сплавів

Параметр	Аморфний сплав		Кристалічний сплав	
	70 % Co	80 % Co	80 Ni +20 Fe	3 Si + 97 Fe
Початкова магнітна проникливість	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$15 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$
Максимальна магнітна проникливість	$8 \cdot 10^5$	$15 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^3$
Індукція насичення, Тл	0,5	0,5	0,8	2,0
Електроопір, мкОм·м	1,3	1,3	0,55	0,6

З табл. 6.1 видно, що аморфні сплави мають дуже високі значення магнітної проникності. У ЦНДІ КМ «Прометей» (Санкт-Петербург) спільно з ГУ СЗНЦ гігієни МОЗ Росії проводилися роботи по дослідженню розробляються в даний час магнітомягких аморфних сплавів для використання в ефективних засобах захисту людей від впливу магнітних полів промислової частоти 50 Гц. Згідно з цими дослідженнями, коефіцієнт екранування в діапазоні частот (50-1000 Гц) знаходиться в межах від 10 до 500 [Кузнецов та ін., 2004].

Однак для цілей екранування транспортних магнітних полів необхідно досліджувати можливості екранів в ультранизькочастотних діапазоні, і зокрема в діапазоні 0,01-1 Гц, так як саме в цьому діапазоні концентрується найбільша потужність полів, виміряних в міському та міжміському електротранспорті, який працює на постійному струмі. Характер же взаємодії електромагнітного поля з речовиною екрану в значній мірі визначається частотою впливу. Тому ми провели спеціальне дослідження екранів з аморфного сплаву з метою захисту від УНЧ – магнітних полів, генерованих електротранспортом.

Резюмуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що транспорт на електротязі є найпотужнішим джерелом магнітного поля в

електромагнітному середовищі, навколишнього сучасної людини. Сьогодні техногенне магнітне поле в діапазоні частот 0-50 Гц на міських вулицях формується саме в результаті руху електротранспорту, при цьому в мегаполісах з добре розвинутою системою громадського транспорту його частка в електромагнітному забрудненні досягає 90 %. Слід зазначити, що в вагонах поїзда, трамвая, тролейбуса чи метро, на зупинках і платформах магнітне поле від транспорту може перевищувати природне геомагнітне поле Землі в десятки разів

Магнітні поля транспортних систем, що працюють як на постійному, так і на змінному струмі, відрізняються від полів силових ліній, які мають переважно синусоїдальний характер з основною частотою 50 або 60 Гц. Ми показали, що транспортні магнітні поля являють собою складну суперпозицію варіацій з різними амплітудами, частотами і з різною геометрією. Однак основна потужність транспортних полів концентрується в УНЧ (0,001-10 Гц) діапазоні. Цей факт надзвичайно важливий з екологічної точки зору. Справа в тому, що УНЧ-магнітна довкілля має особливе біологічне значення, оскільки відповідає основним фізіологічним ритмам мозку, серця, частоту дихання. До того ж можна очікувати особливої чутливості живих систем, виробленої протягом еволюції, до цього специфічного діапазону змін магнітного поля, так як варіації магнітного поля Землі знаходяться якраз в основному в межах 0,001-10 Гц.

Інший важливий результат – це те, що транспортні магнітні поля нестаціонарні, мають іррегулярне структуру, для якої характерні імпульси і скачки поля. Дослідження, проведені в Канаді, показали, що серед людей, які працюють в присутності імпульсних електромагнітних полів, т. Е. Швидко мінливих (пов'язаних в основному з включенням і вимиканням генераторів струму), спостерігається збільшення в 1,9 рази числа нещасних випадків у порівнянні з тими, хто зайнятий на інших виробництвах [Baris et al., 1996]. Ряд досліджень (наприклад, [Лебедева та ін., 1988; Kavet, 1992], а також огляд [Птіцина та ін. 1998] та посилання в ньому) говорить про те, що

нестационарне поле (т. Е. Зміни стійкого стану поля) і іррегулярні хвильові форми полів біологічно більш ефективні, ніж стійкі поля з регулярною синусоїдальною формою хвиль.

З урахуванням всіх цих фактів можна зробити очевидний висновок, що слід продовжити пошуки способів захисту водіїв та пасажирів електротранспорту від шкідливого впливу різкозмінних низькочастотних магнітних полів. Можливо, це можуть бути багатошарові екрани, виготовлені з матеріалів на основі сплавів з аморфною і нанокристалічної структурою, які будуть зменшувати УНЧ-магнітні поля в 5-10 разів.

6.3. Датчики для вимірювання магнітних полів

Магнітні датчики широко застосовуються в даний час для вимірювань магнітного поля Землі і його варіацій в навігаційних цілях, величини і напрямки намагніченості феромагнітних мас різних конструкцій і об'єктів, значень магнітних моментів постійних магнітів з різних сплавів, а також магнітних полів від електричних струмів потужних силових установок, підстанцій і електротранспорту (трамваї, тролейбуси, електрифіковані залізниці, включаючи метрополітен, електро та гібридні автомобілі).

Магнітні поля вимірюються в великому динамічному діапазоні амплітуд від одиниць нанотесла до 1 Тл в широкому діапазоні частот 10-109 Гц з використанням магнітних датчиків, що працюють на різних фізичних принципах. У зв'язку з цим магнітні датчики умовно поділяють на три категорії: для реєстрації малих магнітних полів ($\leq 0,1$ нТл), середніх магнітних полів (≤ 1 мТл) і великих магнітних полів (> 1 мТл).

Зосередимо увагу на середніх магнітних полях, в які входить постійне геомагнітне поле Землі, його варіації і магнітні поля від електрифікованого транспорту. Для проведення цих вимірювань можуть бути використані магнітні датчики, засновані на різних фізичних принципах: надпровідні магнітометри (SQUID), волоконно-оптичні, квантові магнітометри з

оптичним накачуванням, протонні магнітометри, ферозондові [Ramsden, 1994], індукційні, магніторезистивні та магнітостатическіе (torsion) магнітометри.

Всі перераховані вище магнітні датчики мають свої переваги й недоліки. Наприклад, найбільш високу чутливість і температурну стабільність мають SQUID і квантові магнітометри, але вони можуть використовуватися тільки в стаціонарних лабораторних умовах або в магнітних обсерваторіях. Протонні магнітометри широко застосовуються в геофізичних додатках (обсерваторії, експедиції, наземні і морські магнітні зйомки). Однак робота цих приладів залежить від установки щодо магнітного меридіана і їх дія обмежена в великих градієнтах магнітних полів. Феромагнітні і індукційні прилади використовуються як в стаціонарних, так і в польових умовах. Проте їх застосування обмежене в сильних магнітних полях з великими градієнтами. Магніторезистивні датчики (AMR і GMR) є найбільш широкосмуговими малогабаритними, проте мають обмежену чутливість і високу залежність від температури.

Магнітостатическіе магнітометри характеризуються досить високою чутливістю, незалежністю від сильних градієнтів магнітних полів, великим динамічним діапазоном по амплітуді, плоскою амплітудно-частотною характеристикою, вони прості у виготовленні і економічні в сенсі споживання харчування. Ці магнітометри володіють також високою лінійністю ($\leq 0,001\%$), реєструють велику крутизну зміни магнітних полів (1 мТл/с) і реально відтворюють на виході хвильову форму магнітного поля.

У табл. 6.2 наведені діапазони вимірювання інтенсивності магнітного поля магнітними датчиками, розробленими на різних фізичних принципах, і додані експериментальні дані по магнітостатическіе магнітометри. Середні магнітні поля знаходяться в діапазоні від 0,1 до 1 млн нТл.

амплітуда, поляризація, тобто, геометричні характеристики) може бути відповідальним за біологічні ефекти, необхідно вимір всіх аспектів магнітного поля, а не тільки його амплітуди. Таким чином, потрібно вимірювати хвильову форму поля. Індукційні магнітометри не дозволяють це зробити, оскільки вони вимірюють похідну магнітного поля.

Всіх цих недоліків позбавлені прилади магнітостатического типу. До того ж магнітостатическі магнітометри вимірюють три компоненти магнітного поля, мають малі розміри і на відміну від приладів інших типів здатні вимірювати статичну складову магнітного поля. З огляду на зазначені вище особливості, можна констатувати, що магнітостатическі магнітометри є найбільш підходящим варіантом для моніторингу транспортних магнітних полів, виробленого для цілей екології людини та електромагнітної безпеки.

6.4. Джерела електромагнітних полів

Постійне збільшення числа джерел електромагнітних полів (різних частотних діапазонів) в середовищі існування людини веде до зростання чисельності населення, яке зазнає виробничим і позавиробничих впливів цього фактора. Нижче для прикладу наводяться характеристики найбільш поширених джерел магнітних полів в діапазоні 0-50 Гц, які впливають на людину в звичайному житті.

Сильні техногенні магнітні поля на частоті 50 Гц (60 Гц в США) можна виявити в безпосередній близькості від домашньої побутової техніки: наприклад, поле в 1 мкТл – від холодильника, 10 мкТл – від кавоварки, 100 мкТл – від мікрохвильової печі [Bennett, 1994]. Ці поля створюються в основному круговими струмами малого діаметра, і їх інтенсивність швидко спадає майже до нуля на відстанях від джерела менше 1 м.

Деякий медичне обладнання, а також ряд апаратів фізіотерапевтичного, в тому числі косметологічного, призначення виробляють магнітну індукцію значної величини - десятки і сотні мТ. Постійне поле від медичного

томографа, відповідно до вимірів [Рубцова та ін., 2006], становить 450 мТ, а в зоні рук лікаря при дослідженні – 1,5 тонн на деяких сучасних томографах поля досягають значень 5-7 Т. Інтенсивність магнітних полів від медичного обладнання також швидко спадає з віддаленням від джерела. Крім того, в більшості випадків люди не проводять багато часу в безпосередній близькості від таких великих полів, тому шкідливий вплив останніх на широку публіку все-таки мінімально.

Магнітні поля на частотах 50-60 Гц, які генеруються на деяких виробництвах і спостерігаються поблизу ліній електропередач, можуть бути досить великої амплітуди і можуть розсіятись на набагато більші відстані в просторі, ніж поля від перерахованих вище побутових і медичних приладів.

Через свою більш значної протяжності під дію цих полів потрапляє більше людей, і тому вони можуть представляти більш серйозну екологічну загрозу. Однак і тут мова йде максимум про десятки метрів. Наприклад, підвищені рівні магнітних полів – від 3-5 до 10 мкТл – спостерігаються в робочих зонах сталеливарного виробництва (до перших десятків метрів), де для плавки використовуються електропечі [Bracken, 1993]. Провід працює ЛЕП створюють в прилеглому просторі електричне та магнітне поля на відстанях десятків метрів.

Дальність розповсюдження електричного поля залежить від класу напруги ЛЕП. Залежно від призначення і номінальної напруги ЛЕП підрозділяються на наддалекі (500 кВ і вище), магістральні (220-330 кВ), розподільні (30-150 кВ) і підводять (менше 20 кВ). Чим вище напруга, тим більше зона підвищеного рівня електричного поля. Дальність розповсюдження магнітного поля залежить також від навантаження лінії. Оскільки навантаження ЛЕП може неодноразово змінюватися як протягом доби, так і зі зміною сезонів року, розміри зони підвищеного рівня магнітного поля також варіюються. Для прикладу можна навести результати вимірювань інтенсивності магнітних полів наддалекої ЛЕП з напругою

765 кВ. Магнітне поле безпосередньо під ЛЕП становило ~ 10 мкТл, а на відстані ~ 50 м від них – кілька мікротесел.

Внесок магнітних полів на промислових частотах 50 Гц (60 Гц в США) в загальний рівень навколишнього середовища невеликий, так як фази полів змінного струму зазвичай близькі і тому поля в значній мірі взаємно компенсують один одного.

6.5. Фазово-градієнтний метод вимірювання магнітного поля в електромобілі і гібридному автомобілі

Електрифікація дорожнього транспорту є в даний час пріоритетним напрямком розвитку науки, технологій і техніки. Це пов'язано з такими факторами і ризиками, як зміна клімату, здоров'я населення, залежність від енергії, а також вартість вихідних матеріалів

Дорожній транспорт є основним джерелом забруднення середовища в місці знаходження автомобіля. У містах концентрація шкідливих вихлопів особливо велика. Зростає число доказів, що пов'язують автомобільне забруднення міст з серйозними ризиками для здоров'я, як наприклад, з респіраторними і кардіо-респіраторні захворювання, а також з раком легенів. За відомостями Всесвітньої організації охорони здоров'я, шкідливі вихлопи автомобілів призводять до великої кількості смертей, ніж автомобільні аварії. Виходячи з цього, Європейське співтовариство останнім часом інвестує в розробки екологічного автомобіля «green car» суми близько мільярда євро. Заміна звичайних автомобілів, що використовують двигуни внутрішнього згорання, на електричний транспорт – електромобілі і їх гібриди – представляється логічним рішенням і панацеєю від екологічних бід.

Перевагою електромобілів в порівнянні з автомобілями, оснащеними двигунами внутрішнього згорання, є відсутність шкідливих вихлопів в місці знаходження автомобіля і екологічність, зважаючи на відсутність нафтового палива, антифризів, трансмісійних та моторних масел, а також фільтрів для

цих рідин. Додатковим суттєвою перевагою є низька вартість експлуатації електромобіля.

Однак, світові виробники електричних автомобілів зіткнулися з серйозною проблемою забезпечення електромагнітної безпеки користувачів електричного автомобільного транспорту. Існує стурбованість населення і засобів масової інформації з приводу можливих ризиків для здоров'я і безпеки руху через вплив електромагнітних полів (ЕМП), які будуть генеруватися в електричному автотранспорті сильними струмами, поточними в електропроводах і кабелях.

Ці прагнення підкріплюється численними роботами, що свідчать про те, що ЕМП промислової частоти (50-6 Гц) можуть становити загрозу здоров'ю, зокрема, можуть провокувати канцерогенні захворювання, пухлини мозку, різні неврологічні порушення, депресії. Крім того, магнітні поля (МП) наднизької частоти уповільнюють реакцію людини, що може представляти серйозну загрозу безпеці руху, якщо такі явища спостерігаються у водіїв. При цьому слід врахувати два «обтяжуючих обставини»: по-перше, водії і пасажери електромобіля будуть перебувати в безпосередній близькості до джерел МП, і по-друге, вони будуть піддаватися експозиції полів протягом тривалого часу.

У побуті людина користується електробритвою або мікрохвильовою піччю протягом декількох хвилин або десятків хвилин, а в автомобілі люди часто проводять багато годин. Обидва перерахованих вище чинника збільшують ризик негативного впливу МП.

У той час як у всіх типах автомобілів присутні зовнішні ЕМП, включаючи МП Землі, а також ЕМП від різних бортових електронних пристроїв, електричний і гібридний автомобілі завдяки своїм конструктивним особливостям генерує суттєві внутрішні ЕМП в широкому діапазоні частот. Електрообладнання в електромобілях и гібридних автомобілях є джерелом змінного ЕМП, що має сильну тимчасову і просторову неоднорідність в діапазоні частот від часткою Герца до сотень

мегагерц. З екологічної точки зору найбільш важливою є магнітна складова ЕМП, так як доведено, що саме вона може призводити до негативних наслідків для здоров'я. МП також можуть становити ризик для електромагнітної сумісності різних електротехнічних засобів і електронних пристроїв електромобіля.

Таким чином, вимір і оцінка МП, а також визначення їх топології в електричному автомобілі є актуальним завданням. До сих пір робіт про детальні магнітних вимірах в гібридних автомобілях дуже мало, а опубліковані статті з тестування МП в повністю електричних автомобілях практично відсутні. Однак підсумовування відомих до теперішнього часу відомостей та порівняння з даними, отриманими для інших видів електричного транспорту дозволило виявити характерні, загальні для таких полів, риси. На відміну від синусоїдальних полів від ліній передач (на частоті 50 або 60 Гц), ЕМП в електричному автомобілі є мультичастотного полями, т. Е. Вони є суперпозицією полів, що генеруються безліччю джерел на борту автомобіля. Крім того, виявлено, що МП в електромобілі є іррегулярні, що швидко змінюються в часі і вкрай неоднорідними в просторі салону.

Перераховані характерні риси МП в електромобілі ускладнюють докладні і точні вимірювання цих полів в салоні автомобіля, що рухається. Для коректних вимірювань полів і їх градієнтів в салоні і в безпосередній близькості від електромобіля необхідно враховувати велику просторову неоднорідність поля в салоні автомобіля, аддитивну індустриальну перешкоду, а також природне постійне і змінне геомагнітне поле в тому ж діапазоні частот.

Для моніторингу всередині салону автомобіля просторово сильно неоднорідних МП і побудови 3D-топології необхідно використання численних рівномірно розподілених датчиків МП. У даній роботі для вирішення цього завдання, пропонується метод тестування МП в електромобілі, який базується на диференціальних методах вимірювання.

Одним з диференціальних методів є фазово-градієнтний метод, вперше запропонований в для дослідження підсилювачів ультранизьких частот ($F = 0,001-100$ Гц) геомагнітних варіацій. Це метод дозволяє за трьома трикомпонентним магнітним датчикам, розташованим трикутником на невеликій відстані один від одного (магнітний градієнтметр), побудувати вектора градієнтів і фазових швидкостей магнітних варіацій для будь-якої з трьох компонент МП. Вектора градієнтів геомагнітних хвиль, як правило, спрямовані до локального джерела пульсацій, а вектора фазових швидкостей – від джерела.

Градiєнти та фазові швидкості магнітних варіацій можна визначати по фазовим затримок і різницям величин амплітуд варіацій між двома будь-якими парами магнітного градієнтметра, що складається з трьох рознесених датчиків. Оскільки координати магнітних датчиків і відстань між ними відомо, то можна визначити градієнти і фазові швидкості для двох пар датчиків, обраних з трьох датчиків магнітного градієнтметра, і потім побудувати вектор фазової швидкості і градієнта варіацій наступним чином:

– для вектора фазової швидкості

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \arctg \frac{V_{12} \cos(a_1) - V_{13} \cos(a_2)}{V_{12} \sin(a_1) + V_{13} \sin(a_2)} \\ V = V_{12} \cos(\alpha + a_1) \end{array} \right\} \quad (6.2)$$

– для вектора градієнта

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \arctg \frac{G_{13} \cos(a_1) - G_{12} \cos(a_2)}{G_{12} \sin(a_1) + G_{13} \sin(a_2)} \\ G = G_{12} / \cos(\alpha + a_1) \end{array} \right\} \quad (6.3)$$

У виразах (6.2) - (6.3) V_{12} , V_{13} , G_{12} , G_{13} – величини фазових швидкостей і градієнтів в напрямку між парами трикомпонентних магнітних датчиків 1 і 2, 1 і 3; – напрямлення відповідного вектора щодо заданої осі (V і G –

величини фазової швидкості і градієнта). Кути a_1 і A_2 визначаються через координати магнітних датчиків 2 і 3 (базовий датчик 1 розташований на початку системи координат): $a_1 = \arctgn$

$$\left(\frac{x_2}{\gamma_2} \right), a_2 = \arctg \left(\frac{x_3}{\gamma_3} \right). \quad (6.4)$$

Градiєнти та фазові швидкості можуть бути виражені и через інші функції. Використання виразів (6.1), (6.2) в даному методі мають доволіно добру синхронізацію роботи всіх трьох магнітних датчиків (якщо дані не записані в один багатоканальний аналого-цифровий перетворювач) і високу дискретність региструємих даних.

В рамках моделі плоскої електромагнітної хвилі величина фазової швидкості між двома точками визначаються через амплітуди відповідних компонент варіацій МП з урахуванням фазового затримки в такий спосіб

$$V_{12} = \frac{2\pi d_{12}}{T \ln[B_1(t) / B_2(t + \tau)]}. \quad (6.5)$$

У виразі (6.4) для магнітних варіацій з періодом T величини B_1 і B_2 визначаються в момент часу t на першій станції і в момент часу на другий станції (- фазова затримка при проходженні магнітної хвилі відстані d_{12} між двома станціями). Визначивши по (6.4) фазові швидкості V_{12} і V_{13} , можна потім скористатися виразами (6.1) для визначення напрямку і величини вектора фазової швидкості електромагнітних хвиль. При застосуванні цього методу в якості величин B_1 і B_2 можуть бути використані середньоквадратичні значення амплітуд.

Фазово-градієнтний метод знайшов своє застосування для вимірювання магнітних полів в електромобілі. Позначимо величину і градієнт магнітного поля, створюваного електрообладнанням електромобіля в якійсь точці

всередині салону, як B_1 і ΔB_1 , а величину поля і градієнт зовнішніх джерел (індустріальна перешкода і природне постійне і змінне геомагнітне поле) як B_2 і ΔB_2 .

Нехай ΔB_1 багато більше ΔB_2 . Тоді різниця полів в двох точках всередині салону, оскільки ΔB_1 багато більше ΔB_2 , з великою точністю буде виглядати наступним чином

$$\Delta B = (B_1 + \Delta B_1 + B_2 + \Delta B_2) - (B_1 + B_2) = \Delta B_1 + \Delta B_2 \approx \Delta B_1$$

$$\Delta B = (B_1 + \Delta B_1 + B_2 + \Delta B_2) - (B_1 + B_2) = \Delta B_1 + \Delta B_2 \approx \Delta B_1,$$

Тобто, різниця ΔB магнітних полів в двох точках всередині салону є градієнтом внутрішніх джерел електромобіля, а зовнішні поля виключаються.

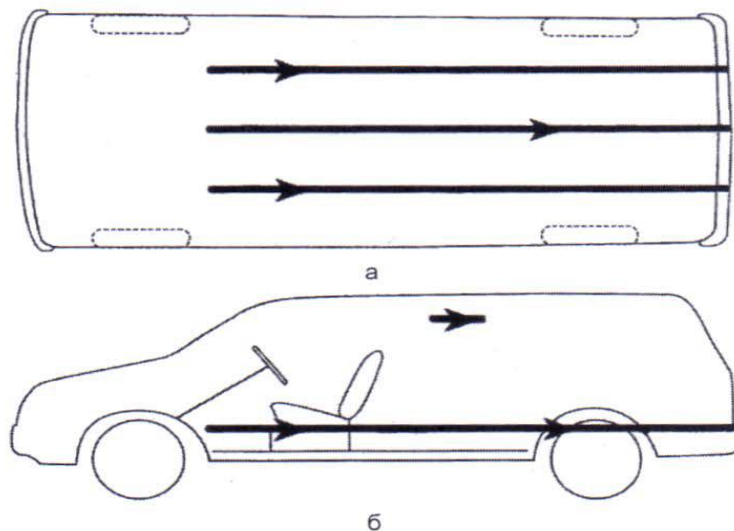
Джерела змінного ЕМП в електромобілях мають невеликі розміри, і їх можна розглядати як випромінюють точкові диполі, поля від яких загасають з відстанню по кубічному закону, тому градієнти ЕМП усередині електромобіля на відстанях до декількох метрів повинні бути досить великі. Дійсно, як було показано прямими вимірами в гібридному автомобілі «Крайслер», просторові градієнти доходили до 1 Гс/м (100 мкТл/м). У той же час градієнти зовнішніх джерел малі в зв'язку з їх віддаленістю і великими розмірами.

Для того щоб виявити топологію МП в електромобілі з урахуванням його крайній просторової неоднорідності, датчики в салоні повинні розташовуватися досить щільно, тобто, кількість датчиків повинно бути не менше 10-20 (рівномірно на відстані десятка сантиметрів на рівні підлоги, на рівні голови водіїв і пасажирів і т. д.).

Для зменшення кількості датчиків пропонується використовувати фазово-градієнтний метод. Так як ми припускаємо, що МП від внутрішніх джерел змінюються з відстанню як поле диполя, то ми можемо використовувати цей метод для побудови тривимірного розподілу МП

всередині салону. У цьому випадку мінімальна кількість трикомпонентних магнітних датчиків – чотири. Три з них утворюють трикутник (наприклад, два датчика на спинках сидінь і один поблизу двигуна / батареї), необхідний для вимірювання полів і градієнтів в площині трикутника, четвертий піднятий вгору або опущений вниз для побудови градієнтів, спрямованих вертикально. У піраміді можна виділити чотири трійки датчиків. Використовуючи ці трійки, можна побудувати чотири вектора градієнтів МП. Величина і напрям цих векторів дозволяє інтерполювати МП на весь салон електромобіля.

На рисунку 6.1 представлена приблизна схема розташування мінімальної кількості датчиків (4 сенсора) в площині підлоги автомобіля (рисунок 6.1, а) і в поздовжньому перетині, перпендикулярному підлозі (малюнок, б). Практичну точність методу слід визначити на експерименті.



а – вид зверху; б – вид збоку. Стрілки, що показують позиції датчиків.

Рисунок 6.1 – Схема розташування мінімальної кількості датчиків для вимірювання магнітного поля і його просторових градієнтів в електричному автомобілі

Запропонований метод дозволить розділити зовнішні і внутрішні поля і визначити джерела збільшених магнітних полів. В результаті можна буде

визначити 3D-топологію магнітних полів в електричному / гібридному автомобілі і виявити критичні точки для електромагнітної сумісності, а також особливості поля і їх джерела, потенційно небезпечні для здоров'я водіїв і пасажирів.

7. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРО І ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

7.1. Причини пожеж та загорянь електро і гібридних автомобілів

Найчастіше причина пожежі гібридного автомобіля в протіканні палива. Це, як правило, вдається розпізнати не відразу. Бензин може майже непомітно просочуватися крізь мікротріщини в зношеному шлангу подачі палива. Коли мотор холодний, запах бензину може бути дуже сильним, навіть в салоні. На гарячому двигуні краплі палива миттєво випаровуються. При русі найменша іскра під капотом може призвести до пожежі (рис.7.1).



Рисунок 7.1 – Пожежа гібридного автомобіля

Куріння в салоні так само може бути причиною загоряння. Що впав попіл або несподівана іскра може призвести до тяжких наслідків. Не можна не згадати і неправильне перевезення небезпечних вантажів. Так само загоряння в автомобілі може статися з вини блискавки під час грози.

Однією з причин електро і габридних автомобілів є несправність в роботі літій-іонного акумулятора, що живить електронну систему цих транспортних засобів.

Літій-іонні акумулятори складаються з анода і катода, розділених пористим полімерним сепаратором. Активним матеріалом катода найчастіше є оксиди перехідних металів з вбудованими в кристал іонами літію. У аноді зазвичай використовується графіт.

Електроліт, яким залита електрохімічна комірка, являє собою органічний розчин солей літію. При першій зарядці, виробленої фірмою-виробником, при встановленні літію в анод на електродах (особливо на аноді) утворюється захисний іон-провідний шар (SEI), що складається з розкладеного електроліту. Цей шар захищає електроди від паразитичних реакцій з електролітом.

Найчастіше причиною самозагорання акумуляторів є коротке замикання всередині електрохімічної комірки. Електричний контакт між анодом і катодом може виникнути з багатьох причин. Це може бути, наприклад, механічне пошкодження осередки. Ще внутрішнє коротке замикання виникає через порушення технології виробництва при нерівній нарізці електродів або попаданні металевих частинок між анодом і катодом, що веде до пошкодження пористого сепаратора. Також причиною внутрішнього короткого замикання може бути «проростання» ланцюжків металевого літію (дендритів) через сепаратор. Такий ефект виникає, якщо іони літію не встигають вбудуватися в кристал анода при занадто швидкій зарядці або низькій температурі, а також якщо ємність активного матеріалу катода перевищує ємність анода, в результаті чого на поверхні анода з'являються мікроскопічні відкладення, які поступово зростають.

Отже, після того, як сталося коротке замикання, акумулятор починає нагріватися. Коли температура досягає 70-90 °C, іон-який проводить захисний шар на аноді починає розкладатися. А далі літій, вбудований в анод, вступає в реакцію з електролітом, виділяючи леткі вуглеводні: етан,

метан, етилен і т.д. Але, не дивлячись на наявність такої вибухонебезпечної суміші, загоряння не відбувається, так як в системі поки немає кисню.

Так як реакції з електролітом екзотермічні, температура і тиск усередині акумулятора продовжують підвищуватися. Коли температура досягає 180-200°C, матеріал катода, зазвичай представляє з себе оксид перехідних металів з вбудованим в кристал літієм, вступає в реакцію диспропорціонування і виділяє кисень. Ось тут-то і відбувається самозаймання і ще більш різкий стрибок температури. Паралельно йде термічний розклад електроліту (200-300°C), також виділяє тепло.

I, в решті-решт, в реакцію з електролітом (якщо він ще залишився) вступає графіт, а коли температура досягає 660 °C, плавиться алюмінієвий струмоприймач. Вище 900 °C температура зазвичай не піднімається, так як розкладатися вже нічому.

Крім внутрішнього короткого замикання існують і інші причини самозаймання: перегрів акумулятора, неправильна зарядка/розрядка (перевищення максимально допустимого напруги, зарядка на високих токах, занадто глибока розрядка), і т.д. Але всі ці причини приводять до одного результату: термічному розгону і розкладання електроліту при взаємодії з електродами. Розрізняються лише порядки вищеописаних реакцій і їх швидкість.

Природно, виробники акумуляторів передбачили системи захисту від самозаймання, і чим більші і потужніші акумулятор, тим більше ступенів захисту він містить. Одним з видів захисту від невеликого короткого замикання є пористий сепаратор, який при локальному підвищенні температури стає непроникним і перешкоджає, наприклад, подальшого зростання дендритів всередині акумулятора. Але іноді температура підвищується занадто швидко, і сепаратор просто плавиться, в результаті чого анод стикається з катодом.

Також акумулятори обладнані запобіжниками і клапанами, які при підвищенні тиску і температури всередині або відключають електроди від

ланцюга, або сприяють виходу назовні скупчився газу. В останньому випадку, так як гази легкозаймисті, при контакті з киснем зовні виникає полум'я. Приклад дії захисних клапанів можна було спостерігати при аварії за участю автомобіля Tesla Model S, де акумулятор був пробитий великим металевим предметом. Так як в Теслі клапани акумуляторів були спрямовані вниз на асфальт і окремі блоки були добре ізольовані один від одного, згоріла лише передня частина акумулятора (як сказав Елон Маск, якби той же металевий предмет пробив бак з бензином, машини б згоріла повністю).

До речі, термічна ізоляція окремих блоків у великому акумуляторі дуже важлива. Якщо у вищезгаданому прикладі акумулятор Тесли не зайнявся повністю через хорошу термоізоляції, то в разі акумулятора на борту Боїнга 787 самозаймання сталося через те, що блоки були недостатньо ізольовані один від одного, що призвело до перегріву всієї системи (рис. 7.2).



Рисунок 7.2 – Загоряння блоків акумуляторі на борту Боїнга 787

Також літій-іонні акумулятори оснащені контролерами, сенсорами, балансирами заряду, і т.д.

Таким чином, одна з головних проблем електро і гібридних транспортних засобів - акумулятори, технічні характеристики яких поки

абсолютно не відповідають вимогам безпечного та ефективного використання. Застосовуються різні типи акумуляторних батарей: метал-гідридні, літій-іонні, літій-повітряні, літій-полімерні і ін. Небезпека даних батарей полягає в тому, що їх напруга становить 400 В, в кілька разів перевищує вольтаж звичайних свинцево-кислотних акумуляторів (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Порівняльні характеристики акумуляторів

Параметри		Ni-Cd	Ni-H ₂	Ni-MH
Номінальна напруга, В		1,2	1,2	1,2
Струм розряду, максимальний		10 С	-	4 С
Питома енергія	Втг/кг	20-40	40-55	50-80
	Втг/л	60-120	60-80	100-270
Термін служби	Роки	1-5	2-7	1-5
	Цикли	500-1000	2000-3000	500-2000
Саморозряд, %		20-30 (за 28 діб.)	20-30 (за 1 діб.)	20-40 (за 28 діб.)
Робоча температура, °С		-50 - +60	-20 - +30	-40 - +60

Існує ймовірність вибухового руйнування при деяких позаштатних режимах або пошкодженнях акумуляторів електромобілей і гібридних автомобілів. Нікель-металогідридні (Ni-MH) акумулятори за своєю конструкцією є аналогами нікель-кадмієвих (Ni-Cd) акумуляторів, а по електрохімічним процесам – нікель-водневих акумуляторів. Питома енергія Ni-MH акумулятора істотно вище питомої енергії Ni-Cd і водневих акумуляторів (табл. 7.1).

Великий розкид деяких параметрів в таблиці 1 викликаний різним призначенням (конструкціями) акумуляторів. Головним матеріалом, що визначає характеристики Ni-MH акумулятора, є водень-абсорбуючий сплав, який може поглинати обсяг водню, в 1000 разів перевищує свій власний обсяг.

Найбільше поширення набули сплави типу LaNi₅ (лантан-нікелевий сплав), в яких частина нікелю замінена марганцем, кобальтом і алюмінієм для збільшення стабільності і активності сплаву. При зарядно-розрядному циклюванні має місце розширення і стиснення на 15-25% кристалічної решітки водородобсорбуючих сплавів через абсорбції і десорбції водню. Такі зміни ведуть до утворення тріщин в сплаві з-за збільшення внутрішнього напруги.

Освіта тріщин викликає збільшення площі поверхні, яка піддається корозії при взаємодії з лужним електролітом. З цих причин розрядна ємність негативних пластин поступово знижується. В акумуляторі з обмеженою кількістю електроліту, це породжує проблеми, пов'язані з перерозподілом електроліту. Корозія сплаву призводить до хімічної пасивності поверхні через утворення стійких до корозії оксидів і гідроксидів, які підвищують перенапруження основний токообразующей реакції металогідридного електрода. Освіта продуктів корозії відбувається зі споживанням кисню і водню з розчину електроліту, що, в свою чергу, викликає зниження кількості електроліту в акумуляторі і підвищення його внутрішнього опору.

Головне достоїнство Ni-MH акумуляторів – значне збільшення питомих енергетичних параметрів Ni-MH акумуляторів перед Ni-Cd акумуляторами.

До недоліків Ni-MH акумулятори можна віднести те, що вони мають більш вузький температурний діапазон експлуатації: велика їх частина непридатна при температурі нижче -10°C і вище $+40^{\circ}\text{C}$, хоча в окремих серіях акумуляторів коригування рецептур забезпечила розширення температурних меж; протягом заряду Ni-MH акумуляторів виділяється більше теплоти, ніж при заряді Ni-Cd акумуляторів, тому з метою попередження перегріву батареї з Ni-MH акумуляторів в процесі швидкого заряду і значного перезарядження в них встановлюють термо-запобіжники або термо-реле, які мають у своєму розпорядженні на стінці одного з акумуляторів в центральній частині батареї; Ni-MH акумулятори мають

підвищений саморозряд, що визначається неминучістю реакції водню, розчиненого в електроліті, з позитивним оксидно-нікелевим електродом (але, завдяки використанню спеціальних сплавів негативного електрода, вдалося домогтися зниження швидкості саморозряду до величин, близьких до показників для Ni-Cd акумуляторів); небезпека перегріву при заряді одного з Ni-MH акумуляторів батареї, а також переполюсування акумулятора з меншою ємністю при розряді батареї, зростає з неузгодженістю параметрів акумуляторів в результаті тривалого циклювання, тому створення батарей більш ніж з 10 акумуляторів не рекомендується усіма виробниками; втрати ємності негативного електрода, які мають місце в Ni-MH акумуляторі при розряді нижче 0 В, незворотні, що висуває більш жорсткі вимоги до підбору акумуляторів в батареї і контролю процесу розряду, ніж в разі використання Ni-Cd акумуляторів, як правило рекомендується розряд до 1 В в батареях незначного напруги і до 1,1 В / ак в батареї з 7-10 акумуляторів.

В літій-іонних акумуляторах катод складається вугілля, анод - з діоксиду літію і кобальту, а в якості електроліту використовується соляний розчин, що містить іони літію. Головна відмінність конструкції Li від Ni-Cd і Ni-Mh акумуляторів (крім хімічного складу, звичайно) – обов'язкова наявність електронного блоку – системи управління батареєю. Це пов'язано з високою хімічною активністю літію, і, як наслідок – великий чутливістю до перезаряду. На даний момент літєві акумулятори – найперспективніший напрямок, тому від виробників, що просувають продукцію в маси, ми чуємо тільки хвалебні оди на адресу літєвих акумуляторів. Насправді ці акумулятори, крім серйозних переваг, мають і не менш серйозні недоліки.

Переваги Li-Ion акумуляторів: найбільша електрична щільність батареї; малу вагу і габарити; в два рази більша, ніж у Ni-Cd, питома ємність – при тих же габаритах; мала токсичність; не схильні до ефекту пам'яті; не вимагають повного розряду; відносно велика кількість циклів життя: при правильній експлуатації – 500-1000; маленький саморозряд: 3-5 % в місяць, плюс система управління батареєю споживає до 3 % в місяць; прості в

обслуговуванні: не потребують тренуваннях, не вимагають суворого дотримання правил заряду і розряду; мають незначний перепад напруги в міру розряду; швидко заряджаються.

Недоліки Li-Ion акумуляторів: не працюють при мінусових температурах; не відновлюються: деградація незворотна, будь-яка спроба «розгойдати» акумулятор не має сенсу; найменший термін життя – до 2 років, причому, що погано – термін життя обчислюється не з початку експлуатації, а з дати виробництва, ознаки старіння починають проявлятися вже через рік; не може віддавати великі струми розряду, правда, над цим зараз повним ходом йдуть роботи; вибухонебезпечні; чутливі до перерозряду і перезаряду: повна розрядка небезпечна і виводить акумулятор з ладу, а спроба зарядити такий акумулятор може призвести до вибуху; чутливі до ударів і перегрівів: виходять з ладу або вибухають – при неправильній зарядці або зарядці в не призначеному для них, несправному або неякісному зарядному пристрої – пожежонебезпечні.

Літій-полімерні акумулятори. Li-Ion акумулятор був би хороший, якби не проблеми із забезпеченням безпеки його експлуатації і висока вартість виробництва. Спроби вирішення цих проблем і привели до появи літій-полімерних акумуляторів (Li-Pol, або Li-Polymer). Акумулятори Li-Polymer відрізняються від Li-Ion типом використовуваного електроліту. Суть технології – нанесення електроліту на пластмасову плівку, яка сама не проводить електрику, але дозволяє безперешкодно обмінюватися іонами (електрично зарядженими атомами або групами атомів). Проте сухий Li-Pol страждає від погіршення провідності і внутрішній опір полімерів занадто високо для обслуговування сучасних потужних передавачів або розкручування жорстких дисків мобільних комп'ютерів.

При нагріванні осередку до 60 °C і вище провідність збільшується, але такі температури неприйнятні для переносних пристроїв. Деякі види Li-Pol-акумуляторів в даний час використовуються в якості резервних джерел живлення в жаркому кліматі або разом з нагрівальними елементами, що

підтримують сприятливу температуру для даного типу акумуляторів. Основна область застосування Li-Pol батарей сьогодні – це мобільні телефони, де підвищення безпеки, зменшення розмірів і ваги пристроїв є досить суттєвим стимулом для вибору саме цієї технології.

Переваги літій-полімерних акумуляторів: істотне зниження розмірів і ваги – можливість виготовлення батарей розміром і товщиною з кредитну картку (металевий корпус необов'язковий); можливість гнучкої зміни форми – може бути реалізований акумулятор будь-якого розумного розміру і потужності; поліпшена безпека – акумулятор більш стійкий до перевантажень, практично не схильний до витоку електроліту.

Недоліки літій-полімерних акумуляторів: менша, ніж у Li-Ion, енергоємність; складніші мініатюрні схеми управління; висока температура для оптимальної роботи – від 60 до 100°C; глибокий розряд негативно позначається на внутрішній структурі акумулятора; висока вартість (вище, ніж у Li-Ion).

Літій-повітряні акумулятори позбавлені вищевказаних невідповідностей між їх працездатністю і ціною. Їм властива можливість акумуляування великої кількості енергії при малій вазі і низькій вартості. Сучасні прототипи літій-повітряних акумуляторів можуть запасати до 1 кВт·ч енергії на 1 кілограм ваги, але такого роду змоги не граничні – найближчим часом планують випустити акумуляторні батареї, енергетичні можливості яких складуть 1 кВт·год на 1 кг.

При проведенні рятувальних операцій можуть бути схильні до небезпеки оперативні служби, розрізаючи корпус гібрида в разі витоку з нього горючої рідини і контакту її з іскрами від аварійно-рятувального інструменту, а при гасінні вогню в електромобілі можуть піддаються великому напрузі (400В) від акумуляторів цих автомобілів.

Аналізуючи вищевикладене, можна з повною впевненістю констатувати, що даний вид автотранспорту ще не зовсім вивчений в області його пожежної, технічної, екологічної і економічної безпеки. Ретельне

вивчення безпеки електромобілів і гібридних автомобілів вченими, спеціалістами автопрому, екологами, економістами, юристами, страховими компаніями та іншими службами збільшить у багато разів їх надійність, довговічність і впевненість водіїв і пасажирів цих транспортних засобів в їх гарантійна надійності.

Компанії-виробники електромобілів і гібридних автомобілів зобов'язані працювати в тісному контакті з науково-дослідними, автомобільно-дорожніми та іншими університетами (інститутами) і установами.

Слід зобов'язати виробників електромобілів і гібридних автомобілів на міжнародному законодавчому рівні інформувати ці установи про нововведення з метою безпеки цих автотранспортних засобів при їх експлуатації. Налагодити міжнародну співпрацю з виробниками електромобілів і гібридних автомобілів, із зарубіжними вченими завдання важке, але при активній участі партнерів і фахівців здійсненна, результативна і в кінцевому підсумку виграють власники цих транспортних засобів, а їх пасажери будуть себе відчувати комфортно і безпечно.

7.2 Гасіння літію

Літій, Li. Фізико-хімічні властивості: Горючий сріблясто-білий м'який метал. Ат. маса 6,94; плотн. 534 кг / м³; т. плавл. 179°С; т. кип. Тисяча триста сімдесят два °С; уд. про. електро. опору. тепл. стгор. - 43221 кДж/ кг; твердого літію 12,70 • 10⁻³ Ом • м, рідкого 45,25 • 10⁻³ Ом • м; коеф. теплопровідності 71,2 Вт / (м • К). При нагріванні на повітрі запалюється. Т. горіння близько 1300 ° С; т. самовоспл в повітрі 180-200 °С. Енергійно розкладає воду. В хлорі, парах бромю і йоду запалюється. Горить в діоксиді вуглецю. Реакція з азотом починається при кімнатній температурі, а при червоному калінні реакція з азотом протікає із запаленням. У концентрованої азотної кислоти плавиться і загоряється. Зберігати в герметичних ємностях з нейтральним середовищем (аргон), не допускати контакту з повітрям і водою.

Розплавлений літій викликає руйнування зварних швів, інтенсивно, з розбризкуванням реагує з будівельними та теплоізоляційними матеріалами (склотканина, азбест, бетон та ін.).

Серйозну небезпеку становить загоряння металевого літію. Використання звичайних засобів пожежогасіння (вода, піна, діоксид вуглецю, галогенпохідні вуглеводні) або підсилює горіння, або веде до вибуху.

При температурі вище 950°C літій швидко руйнує скло, кварц, бетон, вогнетриви, реагує з піском. Літій продовжує горіти в атмосфері азоту і діоксиду вуглецю. Непридатні для гасіння хлорид і карбонат натрію, оскільки при контакті з цими солями палаючий літій витісняє натрій. Не можна застосовувати також порошкові вогнегасники, забезпечені складами ПС-1 і ПС-2, хоча в багатьох інструкціях їх помилково рекомендують для гасіння всіх лужних металів.

Для гасіння палаючого літію розроблені спеціальні порошкові склади ПС-11, ПС-12 і ПС-13 на основі різних флюсів і графіту з гідрофобизуючими добавками.

Не слід використовувати також порошкоподібний графіт, хлорид літію, хлорид калію. При роботі з літієм крім звичайних засобів пожежогасіння необхідно мати наготові достатню кількість одного з перерахованих порошоків.

Літій можна загасити також, витіснивши повітря з вогнища горіння аргоном. Подавати аргон слід так, щоб струмінь газу чи розпилювати рідкий метал. Після припинення горіння залишки металу слід остудити в струмі аргону.

7.3. Загальні вимоги пожежної безпеки власників автотранспорту

Одним з важливих вимог безпечної експлуатації автомобілів є дотримання водієм вимог пожежної безпеки. Причинами пожеж в автомобілях є банальний недолік знань пожежної небезпеки окремих вузлів, агрегатів, застосовуваних пально-мастильних матеріалів, невиконання та недотримання правил пожежної безпеки при технічній експлуатації автомобілів, несвоєчасного і не в повному обсязі проведеного технічного обслуговування. Аналіз пожеж в автомобілях показує, що найбільш частою причиною їх виникнення є коротке замикання при несправності електрообладнання. Коротке замикання відбувається в результаті порушень ізоляції електропроводки і через несправність електрообладнання. При короткому замиканні струм протікаючи по провіднику викликає значне його нагрівання при якому можливе загоряння ізоляції провідника, а потім контактують з ним горючих матеріалів, так і виникає пожежа. Профілактика та попередження коротких замикань полягає в правильному монтажі і експлуатації електропроводки і електроустаткування.

Перевантаження електромережі – це явище, при якому виникають струми набагато перевищують допустимі. Причиною перевантаження є неправильний розрахунок електричних мереж при підключенні додаткового навантаження. Щоб уникнути перевантажень не допускайте підключення додаткового електроустаткування споживаної потужністю яка перевищує, передбаченої проектом.

Перехідний опір – небезпечні в пожежному відношенні значні перехідні опори, які виникають в місцях з'єднання проводів, приєднання їх до вимикачів, розеток, щитків, електроприладів. Провід в місці контакту з великим перехідним опором може нагрітися до температури займання ізоляції. В значній мірі збільшується перехідний опір при короткочасних коротких замикань, які відключаються при справно діючій захисту.

Надійність контакту забезпечується обпресуванням, пайкою або спеціальними зажимами, забезпеченими пружними шайбами.

Пожежі в автомобілях швидкоплинні і надають велику небезпеку для водіїв і пасажирів. Велика кількість електрообладнання та синтетичної обшивки салону в разі пожежі виділяють велику кількість токсичних газів. Наявність порошкових вогнегасників у складі ПС-11, ПС-12 і ПС-13 у салоні є невід'ємною частиною комплектації автомобіля. Вогнегасник повинен бути надійним і справним – це гарантійна безпека.

ЛІТЕРАТУРА

1. Туренко А. Н., Пятак А. И., Кудрявцев И. Н. и др. Экологически чистый криогенный транспорт: современное состояние проблемы // Вестник ХГАДТУ : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХГАДТУ, 2000. Вып. 12/13. С. 42–47.

2. Богомолов В. А., Кудрявцев И. Н., Пятак А. И. и др. Развитие новейших криогенных технологий для перспективных видов автомобильного транспорта // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХНАДУ, 2004. Вып. 12. С. 67–69.

3. Смирнов О. П. Тенденція створення екологічно чистого транспортного засобу // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХНАДУ, 2005. Вып. 17. С. 103–105.

4. Абрамчук Ф. И., Гутаревич Ю. Ф., Долгунов К. С., Тимченко И. И. Автомобильні двигуни : підручник. Київ : Арістей, 2004. 476 с.

5. Розанов Ю. К., Соколова Е. М. Электронные устройства электромеханических систем. Москва : Академия, 2004. 272 с.

6. Смирнов О. П. Синергетичний підхід до створення силової установки автомобіля // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХНАДУ, 2007. Вып. 37. С. 131–133.

7. Смирнов О. П., Калмиков В. И., Боженков В. С., Быков А. М., Воробьев Д. А. Исследование функциональных возможностей вентильных

машин в электроприводе автомобилей // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : наук.-виробн. зб. / АДІ ДВНЗ «ДонНТУ». Горлівка, 2007. № 1(4), С. 129–132.

8. Смирнов О. П., Калмиков В. І. Обоснование использования вентиляльных электрических машин в гибридных силовых установках автомобилей // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХНАДУ, 2007. Вып. 21. С. 31–33.

9. AutoZine Technical School : Under Re-construction : Syllabus. URL: https://www.autozine.org/technical_school/tech_index.html.

10. Смирнов О. П. Аналіз схемних рішень побудови автомобіля з гібридною енергетичною установкою // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХНАДУ, 2006. Вып. 32. С. 41–43.

11. Смирнов О. П., Калмиков В. І. Характерні режими роботи гібридної силової установки автомобіля // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. Харьков : РИО ХНАДУ, 2006. Вып. 18. С. 13–15.

12. Бажинов А. В., Смирнов О. П. Концепция создания экологически чистого автомобиля // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Луганськ : СНУ ім. В. Даля. 2006. № 7. С. 15–19.

13. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. Москва : Изумруд, 2003. 224 с.

14. Смирнов О. П. Теоретические основы повышения топливной экономичности автомобиля за счет использования гибридной энергетической установки // Транспорт, экология – устойчивое развитие : материалы XII науч.-техн. конф. с междунар. участием, 18–20 мая 2006 г. Варна, 2006. С. 80–85.

15. Смирнов О. П., Боженков В. С. Математичне моделювання тягово-швидкісних характеристик гібридного автомобіля // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. 2006. Вып. 2 (8). С. 46–49.

16. Крутов В. И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект. Москва : Машиностроение, 1978. 472 с.

17. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
18. Изерман Р. Цифровые системы управления : пер.с англ. Москва : Мир, 1984. 541 с.
19. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник : в 5 т. Т. 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 616 с.
20. Григорьев Ю. Г., Григорьев О. А., Степанов В. С., Пальцев Ю. П. Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровья населения. Москва, 1977. 91 с.
21. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields : NIEHS Working Group Report / National Institute of Environmental Health Sciences of the National Institutes of Health ; Portier C. J., Wolfe M. S. eds. 1998. № 98-3981. 508 p. URL: <http://niremif.ifac.cnr.it/docs/niehs98.pdf>.
22. Птицын Н. Г., Виллорези Дж., Дорман Л. И., Ючки Н., Тясто М. И. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // Успехи физических наук. 1998. Т. 168, № 7. С. 767–791.
23. Григорьев Ю. Г., Степанов В. С., Григорьев О. А., Меркулов А. В. Электромагнитная безопасность человека : справоч.-информ. пособ. Москва, 1999. 146 с.
24. Птицына Н. Г., Виллорези Дж., Копытенко Ю. А., Тясто М. И. Магнитные поля на электротранспорте и экология человека. Санкт-Петербург : Нестор-История, 2010. 120 с.
25. Кашолкин Б. И., Мешалкин Е. А. Тушение пожаров в электроустановках. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 112 с.

26. Копытенко Ю. А., Исмагилов В. С., Копытенко К. А., Воронов П. М., Зайцев Д. Б. Магнитная локация источников геомагнитных возмущений // Доклады АН. Серия. Геофизика. 2000. Т. 371, № 5. С. 685–687.
27. Исмагилов В. С., Копытченко Ю. А., Хаттори К., Хаякава М. Использование градиентов и фазовых скоростей УНЧ геомагнитных возмущений для определения местоположения очага будущего сильного землетрясения // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46, № 3. С. 423–430.
28. Коробейников А. Г., Копытенко Ю. А., Исмагилов В. С. Интеллектуальные информационные системы магнитных измерений // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 1 (71). С. 39–44.
29. Пожарная тактика / под ред. П. Г. Демидова, Я. С. Повзика. Москва : Ред.-изд. отдел ВВПТШ МВД СССР, 1976. 360 с.
30. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. Москва : Ред.-изд. отдел ВВПТШ МВД СССР, 1980. 255 с.
31. Ревякин А. И., Кашолкин Б. И. Электробезопасность и противопожарная защита в электроустановках. Москва : Энергия, 1980. 159 с.
32. Шаровар Ф. И. Устройства и системы пожарной сигнализации. Москва : Стройиздат, 1979. 272 с.
33. Баратов А. Н., Вогман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. Москва : Стройиздат, 1982. 272 с.
34. Типовые правила пожарной безопасности для промышленных предприятий / П. С. Савельев, Н. Т. Кашкаров, А. П. Брайловский и др. ; под ред. Ф. В. Обухова. Москва : ГУПО МВД СССР, 1976. 53 с.
35. Охрана труда / Б. А. Князевский, П. А. Долин, Т. П. Марусова и др. ; под ред. Б. А. Князевского. Москва : Высшая школа, 1972. 330 с.
36. Черкасов В. Н. Пожарная профилактика электроустановок. Москва : Ред.-изд. отдел ВВПТШ МВД СССР, 1978. 312 с.

37. Электромобиль: Техника и Экономика / В. А. Щетина, Ю. Я. Морговский, Б. И. Центр, Б. А. Богомазов; под ред. д-ра техн. наук В. А. Щетины. Ленинград : Машиностроение, 1987. 253 с.

38. Электротехнический справочник : в 4 т. / под общ. ред. В. Г. Герасимова, А. Ф. Дьякова, А. И. Попова. 9-е изд., стер. Москва : Изд-во МЭИ, 2004. Т. 4 : Использование электрической энергии. С. 526.

39. Пат. 106086 Україна, МПК В60К 6/00. Гібридна силова установка будівельно-шляхової машини / Бажинов О. В., Кравцов М. М., Нікітін С. П., Полярус О. В., Татаринський В. Б. ; власники : Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Бажинов О. В., Кравцов М. М., Нікітін С. П., Полярус О. В., Татаринський В. Б. N u 2015 11385 ; заявл. 18.11.2015 ; опубл. 11.04.2016, Бюл. N 7. 2 с.

40. Пат. 113515 України, МПК (2016.01) F41H 3/00. Спосіб підвищення маскувальної здатності мобільної військової техніки / Бажинов О. В., Нікітін С. П., Цехмейстер О. С., Кравцов М. М., Полярус О. В. ; власники : Бажинов О. В., Нікітін С. П., Цехмейстер О. С., Кравцов М. М., Полярус О. В. N u 2016 09550 ; заявл. 15.09.2016 ; опубл. 25.01.2017, Бюл. N 7. 5 с.

41. Пат. 119713 Україна, МКИ В60К 17/34 (2006.01). Електромеханічна енергетична установка транспортного засобу з накопичувачем енергії / Подригало М. А., Бажинов О. В., Висоцький О. М., Кривий В. І., Дунь С. В., Кайдалов Р. О., Нікітін С. П., Кравцов М. М., Полярус О. В. ; власники : Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Подригало М. А., Бажинов О. В., Висоцький О. М., Кривий В. І., Дунь С. В., Кайдалов Р. О., Нікітін С. П., Кравцов М. М., Полярус О. В. N u 2017 02166 ; заявл. 07.03.2017 ; опубл. 10.10.2017, Бюл. N 19. 6 с.

42. Пат. 127742 Україна, МКИ МПК В60К 1/04 (2006.01). Літій-іонний акумулятор / Бажинов О. В., Бажинова Т. О., Нікітін С. П., Кравцов М. М., Цехмейстер О. С. ; власники : Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Нікітін С. П., Кравцов М. М. N u 2018 00561 ; заявл. 19.01.2018 ; опубл. 27.08.2018, Бюл. N 16. 4 с.

Бажинів Олексій Васильович

Бажинів Тетяна Олексіївна

Кравцов Михайло Миколайович

**ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ
ЕКОЛОГІЧНО-ЧИСТИХ АВТОМОБІЛІВ**

Монографія

В авторській редакції

Підр. до друку 26.10.2018

Наклад 50 примір.

Видавець: ФОП Панов А. М.