

DOI: 10.30977/VEIT.2020.18.0

ISSN: 2226-9266



АВТОМОБІЛЬ І ЕЛЕКТРОНІКА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ



**ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ
ВИДАННЯ**

ВИПУСК

18

ХАРКІВ

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кафедра автомобільної електроніки

Автомобіль і Електроніка. Сучасні Технології

**Електронне наукове фахове видання
(друкована версія)**

18/2020

Vehicle and Electronics.
Innovative Technologies
Electronic scientific professional edition
(printed version)

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2020.18.0

Харків 2020

Журнал засновано в 2011 р. кафедрою Автомобільної електроніки, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2020.18.0

В журналі публікуються матеріали теоретичних та практичних досліджень присвячених перспективним напрямкам розвитку автомобільної електроніки, впровадженню та удосконаленню гібридних автомобілів та електромобілів, моделюванню транспортних процесів і систем, інформаційним технологіям й інтелектуальним системам на транспорті, сучасним технологіям діагностики систем і агрегатів транспортних засобів, а також методичним дослідженням підготовки спеціалістів у сфері транспорту.

Журнал також включає матеріали доповідей учасників Всеукраїнської науково-методичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку вищої освіти в Україні».

Затверджено: Вченою радою університету від 25.03.2011, протокол № 8

Журнал включено до **Переліку електронних наукових фахових видань України, категорія «Б» за спеціальностями – 113, 121, 122, 133, 151, 274, 275**, наказом Міністерства освіти і науки України № 612 від 07.05.2019 та **141, 142**, наказом Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019.

Спеціальності: 113 - Прикладна математика
 121 - Інженерія програмного забезпечення
 122 - Комп'ютерні науки
 133 - Галузеве машинобудування
 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 274 - Автомобільний транспорт
 275 - Транспортні технології (за видами)
 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 142 - Енергетичне машинобудування

Редакційна колегія

Головний редактор: Дзюбенко Олександр Андрійович, к.т.н., доц.

Заступник головного редактора: Аргун Щасяна Валіковна, д.т.н., проф.

Відповідальний секретар: Трунова Ірина Сергіївна, к.т.н., доц.

Члени редколегії: Абрамчук Ф. І. (д-р техн. наук, проф.), Алексієв О. П. (д-р техн. наук, проф.), Бажинов О. В. (д-р техн. наук, проф.), Батигін Ю. В. (д-р техн. наук, проф.), Богаєвський О. Б. (д-р техн. наук, проф.), Богомолов В. О. (д-р техн. наук, проф.), Вдовиченко В. О. (канд. техн. наук, доц.), Волков В. П. (д-р техн. наук, проф.), Воронков О. І. (д-р техн. наук, проф.), Врублевський О. М. (д-р техн. наук, проф.), Гнатов А. В. (д-р техн. наук, проф.), Гурко О. Г. (д-р техн. наук, проф.), Горбачов П. Ф. (д-р техн. наук, проф.), Двадненко В. Я. (д-р техн. наук, проф.), Далека В. Х. (д-р техн. наук, проф.), Клименко В. І. (д-р техн. наук, проф.), Клец Д. М. (д-р техн. наук, проф.), Колодзяжний В. М. (д-р фіз.-мат. наук, проф.), Корогодський В. А. (д-р техн. наук, проф.), Мигаль В. Д. (д-р техн. наук, проф.), Михалевич М. Г. (канд. техн. наук, доц.), Наглюк І. С. (д-р техн. наук, проф.), Нагорний Є. В. (д-р техн. наук, проф.), Ніконов О. Я. (д-р техн. наук, проф.), Подригало М. А. (д-р техн. наук, проф.), Полянський О. С. (д-р техн. наук, проф.), Сараєв О. В. (д-р техн. наук, проф.), Смирнов О. П. (д-р техн. наук, проф.), Солодов В. Г. (д-р техн. наук, проф.), Тропіна А. А. (д-р техн. наук, проф.), Чаплигін Є. О. (канд. техн. наук, доц.), Шуклінов С. М. (д-р техн. наук, проф.), Янютін Є. Г. (д-р техн. наук, проф.)

Адреса редакції: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Автомобільний факультет, Кафедра автомобільної електроніки, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002,

Тел.: (057) 707-36-96;

e-mail: ae.hnadu@gmail.com

Статті друкуються в авторській редакції. Редакція не несе відповідальності за орфографічні, стилістичні чи інші помилки, допущені автором публікації.

ЗМІСТ

Мигаль В. Д., Аргун Щ. В., Гнатов А. В., Жарко Ю. Г. Постановка задачі і викладання результатів наукових досліджень в дисертаційних роботах з технічних наук	6
Войтків С. В. Тенденції і перспективи розвитку електромобілів малої вантажопідйомності.....	17
Михалевич М. Г. Модель тертя для моделювання робочого процесу сухого фрикційного зчеплення.....	28
Абраменко В. Г. Модифікація системи охолодження ГСУ GM Voltec для покращення економічних показників.....	37
Чаплыгин Е. А., Шиндерук С. А., Гаврилова Т. В., Лебедь А. Д. Вероятностная оценка связи напряжения и тока в индукционных измерителях характеристик магнитно-импульсной обработки металлов.....	45
Сараева И. Ю., Хрулев А.Э., Воробьев А. Н., Себко Д. П. Цифровая диагностика для определения герметичности камеры сгорания двигателя автомобиля.....	52
Симбірський Г. Д., Кушнір Е. Д. Застосування інформаційних технологій та мікропроцесорної техніки для зниження аварійності на автошляхах.....	65
Сорока К. О. Розробка інтелектуальних систем транспортних засобів на основі сan мережі.....	76
Двадненко В. Я., Сериков Г. С., Пушкарь О. Б. Разработка устройства для контроля режимов работы тяговой аккумуляторной батареи.....	85

ЗМІСТ ЗА РОЗДІЛАМИ

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Войтків С. В.

Тенденції і перспективи розвитку електромобілів малої вантажопідйомності.....17

Абраменко В. Г.

Модифікація системи охолодження ГСУ GM Voltac для покращення економічних показників.....37

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ. СИНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЕКОМОБІЛІВ

Симбірський Г. Д., Кушнір Е. Д.

Застосування інформаційних технологій та мікропроцесорної техніки для зниження аварійності на автошляхах.....65

Сорока К. О.

Розробка інтелектуальних систем транспортних засобів на основі сan мережі.....76

Двадненко В. Я., Сериков Г. С., Пушкарь О. Б.

Разработка устройства для контроля режимов работы тяговой аккумуляторной батареи..... 85

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ І ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Михалевич М. Г.

Модель тертя для моделювання робочого процесу сухого фрикційного зчеплення.....28

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА І РЕМОНТУ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ. СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ТЕХНІЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМОБІЛІВ

Сараева И. Ю., Хрулев А.Э., Воробьев А. Н., Себко Д. П.

Цифровая диагностика для определения герметичности камеры сгорания двигателя автомобиля.....52

ІНШІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТУ ТА ПІДГОТОВКИ ВІДПОВІДНИХ СПЕЦІАЛІСТІВ

Мигаль В. Д., Аргун Щ. В., Гнатов А. В., Жарко Ю. Г.

Постановка задачі і викладання результатів наукових досліджень в дисертаційних роботах з технічних наук6

Чаплыгин Е. А., Шиндерук С. А., Гаврилова Т. В., Лебедь А. Д.

Вероятностная оценка связи напряжения и тока в индукционных измерителях характеристик магнитно-импульсной обработки металлов.....45

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ І ВИКЛАДАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ДИСЕРТАЦІЙНИХ РОБОТАХ З ТЕХНІЧНИХ НАУК

Мигаль В. Д.¹, Аргун Щ. В.², Гнатов А. В.², Жарко Ю. Г.³

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

³Державне підприємство "Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації"

Анотація. При написанні дисертації здобувачі стикаються з серйозною проблемою правильного викладення отриманих результатів. У зв'язку з цим, суттєво падає якість дисертаційної роботи навіть, якщо рівень їх досліджень і розробок дуже високий. Дана робота присвячена вирішенню цієї проблеми і буде корисна не тільки для тих, хто працює над дисертацією (магістерською, доктора філософії (кандидатською), докторською), але і для тих, хто готує звіти наукових досліджень і для авторів наукових статей.

Ключові слова: наукове дослідження, дисертаційна робота, вимоги, освіта, вищий навчальний заклад, здобувач, якість дисертацій.

Вступ

Підвищення ролі науковця потребує від майбутнього вченого досить високого рівня знань в розробці методів досліджень, організації, проведенні і викладанні результатів наукових досліджень. Це стосується і магістерських робіт, і дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) або доктора технічних наук [1, 2]. При написанні дисертацій здобувачі стикаються з серйозною проблемою правильного викладення отриманих результатів. У зв'язку з цим, суттєво падає якість дисертаційної роботи, навіть, якщо рівень їх досліджень і розробок дуже високий.

Аналіз публікацій

Особлива увага в навчальних закладах при виконанні наукових досліджень спрямована на надання загальних знань щодо вибору теми, опису об'єкта та предмета досліджень, правил оформлення, технології наукових досліджень [3, 4]. Однак при виконанні дисертаційної роботи (ДР) цих знань недостатньо.

В комплексній системі оцінювання якості виконаної дисертаційної роботи є критерій науковості: наукова задача, наукова проблема, наукове положення, науковий результат, наукові висновки, наукові рекомендації, методика досліджень, внесок в науку.

Як показують дослідження ДР, написаних студентами школи післядипломної освіти Університету Пендідікана Індонезії, виявля-

но проблеми пов'язані з вибором об'єкта та предмета дослідження, методології, методів дослідження, постановки завдання [5].

Науковцями розробляються різні системи оцінки якості дисертацій за різними напрямками, наприклад [6–9] тощо.

Крім того, у відкритих джерелах можна знайти так звані «інструкції» з написання дисертацій [10–12]. Але не дивлячись на наявність таких публікацій, дослідження проведені авторами [13] показують, що погана підготовка докторантів дуже часто пов'язана саме з тим, що їм не вистачає інформаційних ресурсів для підтримки у розвитку навичок дослідження і написання дисертації.

Найбільшими труднощами при виконанні ДР є постановка задачі, викладання результатів наукових досліджень, зокрема формулювання мети, об'єкта досліджень, що вважати науковою новизною і практичною цінністю та чим підтвердити достовірність виконаної роботи [4, 14]. Здобувачам необхідне глибоке розуміння мети і об'єкта досліджень і усвідомлення задач, які визначають рівень прийнятих вихідних наукових положень, поставлених задач.

Виконавець ДР не може реалізувати свій задум, якщо він не володіє знаннями і уміннями, технікою і технологією творчості. Крім того, йому необхідно знати конкретні рекомендації методичного характеру по літературному стилю, точності формулювань та трактуванні окремих положень.

Дана стаття базується на раніше опублікованих матеріалах авторів, враховує особливості сучасних вимог до дисертаційних робіт, досвід авторів у написанні статей, що індексуються у базах даних Scopus і Web of Science і, сподіваємося, стане у нагоді здобувачам наукових ступенів і науковцям.

Мета дисертаційної роботи

Метою статті є надання знань щодо обґрунтування й постановки задачі та подання наукової інформації в дисертаційних роботах, що є ключовими критеріями в забезпеченні їх якості.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати важливість етапу постановки задачі в ДР;
- представити і надати стислий опис основних критеріїв при виборі і формулюванні теми ДР;
- розглянути складові розділу «Вступ» і визначити, що відноситься до загальних характеристик ДР;
- сформулювати вимоги до змісту і формувань актуальності роботи, мети, задач, об'єкта і предмету дослідження;
- сформулювати вимоги до обґрунтування наукових положень, новизни і практичних результатів ДР;
- сформулювати вимоги до наукової новизни результатів досліджень;
- надати підказки для підтвердження практичного значення одержаних результатів досліджень з точки зору науково-технічного, економічного та соціального ефектів;
- сформулювати вимоги до висновків ДР.

Постановка задачі дисертації

Основними загальними методичними рекомендаціями щодо виконання наукових робіт в Україні є стандарт ДСТУ 3008:2015 та вимоги Міністерства Освіти і Науки (МОН) України, що пред'являються до дисертаційних робіт. Останнім часом МОН України значно підвищило вимоги до дисертацій, та незважаючи на це, деяким дисертаціям бракує досконалого наукового й методичного рівня, чіткості, логічності, обґрунтованого розкриття кваліфікаційних ознак.

Важливим етапом написання дисертації є постановка задачі.

Правильне визначення наукової задачі конкретизує предмет і науковий результат дослідження, який здобувач планує отримати. Одна й та сама наукова задача може мати

декілька різних постановок, і кожна постановка задачі може мати кілька відмінних методів розв'язання [14].

Недостатня увага здобувача наукового ступеня до обґрунтування й постановки задачі не дозволяє реалізувати йому свій задум і розкрити кваліфікаційні ознаки ДР, які характеризують не тільки науковий рівень проведеного дослідження, але й рівень методичної підготовки та ступінь наукової зрілості здобувача. Тому нам хотілося звернути увагу на деякі характерні недоліки, які й досі мають місце при підготовці ДР здобувачем, а також, у так званій, передзахисний і захисний період. Ці питання є складними, тому їх розгляд постійно обходять, особливо коли необхідно давати письмову оцінку ДР [14].

Вибір і формулювання теми дисертаційної роботи

В дисертаційній роботі здобувач повинен сформулювати науково-практичну задачу, довести можливість її розв'язання вибраними засобами і методами. Дисертація повинна відповідати задачам сучасного розвитку науки і практики.

При виборі теми дисертаційної роботи основними критеріями повинні бути:

- актуальність;
- новизна;
- перспективність;
- наявність теоретичної бази у виконавця й колективу, де буде виконуватися робота;
- наявність засобів досліджень.

Тема повинна вирішувати нову наукову задачу. Наявність в дисертації нових результатів, вклад в науку є визначальними вимогами, які самі по собі робляться заради практики.

Назва теми ДР має відображати наукову задачу дослідження, а значить – не тільки предмет дослідження, але і метод дослідження або очікуваний науковий результат.

Тобто назва роботи (теми) повинна вказувати на предмет дослідження, або за своєю структурою повинна збігатися зі структурою рішення наукової задачі, вказувати предмет дослідження, метод і необхідний результат.

Слова «Дослідження...», «Підвищення...» й «Удосконалення...», якщо вони не відносяться до розвитку науково-методичного апарату або методики досліджень є надлишковими, нічого додаткового не вносять порівняно з назвою теми, яка містить лише назву предмета досліджень [14].

Невдалими варіантами назви тем, є на-

приклад, такі: «Дослідження способів...», «Підвищення ефективності...», «Удосконалення розрахункових...», «Особливості...».

Обравши тему здобувач наукового ступеня повинен усвідомити:

- очікуваний результат;
- актуальність;
- теоретичну важливість;
- практичну значимість;
- особливості і направлення розвитку процесів і явищ, які будуть досліджуватись.

Вибору будь-якої теми повинно передувати ознайомлення з відповідною вітчизняною і зарубіжною літературою за своєю та суміжними спеціальностями. У практичних темах показником перспективності є, в основному, економічний ефект. Замовлені теми, як правило, пов'язані з основними планами науково-дослідницьких робіт університету, кафедри, галузі.

Говорячи про новизну ідеї (а також і теми) не треба забувати відоме положення, відповідно до якого «не все нове є обов'язково прогресивним, так само як і старе – консервативним» [14].

Вступ і загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертаційна робота повинна мати характеристику, яка стисло подається в розділі «Вступ». В цьому розділі після стислої характеристики сучасного стану наукової (технічної) задачі (проблеми), рішення якої посвячена ДР подаються:

- актуальність теми: зв'язок роботи з науковими державними програмами, планами, темами університету, кафедри, підприємств;
- мета і задача досліджень;
- об'єкт і предмет досліджень;
- методи досліджень;
- наукова новизна;
- практичне значення одержаних результатів;
- особистий внесок дисертанта;
- апробація результатів роботи;
- публікації матеріалів дисертації.

Розділ «Вступ» не нумерується, розбивка на підрозділи не допускається. Загальний обсяг вступної частини і загальної характеристики ДР складає 3 – 4 сторінки друкованого тексту.

Актуальність теми роботи характеризує вчасну, злободенну, важливу суспільну потребу в дослідженнях за даною темою роботи. Вона є необхідною умовою корисності результату досліджень. Задача (проблема) зав-

жди виникає, коли старі знання уже виявили свою нездатність (неефективність), а нові ще не набули розвинутої форми. В обґрунтуванні актуальності роботи важливо відобразити кілька підходів у розв'язанні і виборі конкретного варіанта. Також важливо додати посилення на документи, у яких визначені спеціальні замовлення розвитку науки і техніки, розробки методів і способів.

Наукове положення – це вираження у вигляді чітких формулювань основних наукових ідей, як прийнятих за основу при виконанні дослідження, так і висунутих автором. Серед наукових положень виділяють початкові посилення і наукові результати.

Вихідні посилання – це такі наукові положення, які є відправними, вихідними при виконанні дисертаційного дослідження.

Серед характерних типів вихідних посилення можна виділити: поняття, категорії, терміни, визначення, гіпотези, принципи, правила, математичні пропозиції, допущення, обмеження і т.д. [14].

Сформульоване наукове положення повинне бути чітким, зрозумілим і не мати різночитань. При цьому треба уникати зайвих подробиць, деталей і уточнень, які приховують (розмивають) його сенс.

Вимоги до змісту і формувань актуальності роботи, мети, задач об'єкта і предмета дослідження

Наукова задача – це протиріччя, яке характеризується недостатністю наукового знання для свого вирішення.

Наукова задача виражається у вигляді пари, яка включає предмет досліджень і необхідний науковий результат досліджень при цьому, як розуміється, що принаймні один метод рішення задачі відомий (опублікований).

Рішення наукової задачі являє собою взаємопов'язану трійку:

- предмет досліджень;
- необхідний науковий результат досліджень;
- метод досліджень.

Визначити наукову задачу (НЗ) як процесу можна в формі:

$$НЗ = Ц + У + Про + Пре, \quad (1)$$

де Ц – мета;

У – умови;

Про – процедура;

Пре – перетворення в результат.

В цьому процесі постановки наукової задачі слід обдумати можливості:

- умови використання відомих даних;
- перетворення відомих даних;
- корінна їх зміна;
- розширення, доповнення відомих даних;
- уточнення конкретизація відомих даних в інших граничних умовах;
- поширення відомих результатів новий клас об'єктів, систем.

Процес формулювання теми (задачі) сприяє визначенню здобувачем об'єкту і предмету наукових досліджень.

Мета роботи. У вимогах Вищої атестаційної комісії України вказано, що необхідно сформулювати мету роботи й задачі, які будуть вирішуватися здобувачем для досягнення поставленої мети. Окремо наголошується, що при формулюванні мети не треба використовувати такі слова: «Дослідження...», «Вивчення...», бо вони вказують на засіб досягнення мети, а не саму мету [14].

Мета в дисертаційній роботі має бути узгоджена з назвою й включати очікуваний результат і вказувати на яких передумовах вона базується, чим і як досягається.

Тому мету роботи (МР) слід формулювати з трьох складових – предмета (П), метода (М) і необхідного результату (НР) одним реченням:

$$МР = П + М + НР. \quad (2)$$

Тут метод вказує, на яких конкретно наукових передумовах вона базується, чим і як досягається (з використанням яких методів, наукових гіпотез, ідей, явищ, законів, засобів і т.д.). Неможна вважати достатнім такі формулювання мети дослідження, як «обґрунтування й розробка наукових основ, принципів створення нових технологій...», «розробка нових технологічних принципів, контролю, засобів» і т.д. без конкретизації наукових передумов, на яких базується досягнення мети.

Оскільки метод (М) при формулюванні мети (МР) вказує на шлях виконання мети, то часто можна застосувати такі словосполучення як «за рахунок визначення...», «шляхом розробки...», «за рахунок зменшення...», «шляхом застосування технологій...», «з використанням...», «з урахуванням...», «шляхом введення...», «шляхом впровадження...» тощо.

Приклад 1. Розробка і впровадження методів оцінки якості тракторів за їх вібродіаг-

ностичними характеристиками шляхом нормування й контролю вібрації при проектуванні, виготовленні й експлуатації, що дозволяє забезпечити заданий ресурс і ефективність використання тракторів.

Приклад 2. Розробка методології організації робочих процесів пневмодвигуна комбінованої енергетичної установки міського автомобіля, з урахуванням одержання максимальної потужності за мінімальної витрати стисненого повітря, що дозволяє підвищити його економічні та екологічні показники.

Об'єкт дослідження – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію й унаслідок обирається для дослідження [14]. Це, наприклад, вібраційний процес, процеси тертя, процеси діагностування тощо.

Об'єктом дослідження – це те, на що спрямована пізнавальна діяльність дослідника [14]. Правильний вибір об'єкта вивчення відповідно до мети дослідження сприяє обґрунтованості результатів дослідження.

Об'єкт досліджень повинен мати модель (моделі), що дозволяє визначити вплив внутрішніх факторів на процес, що досліджується і їх взаємозв'язок [4].

Предмет дослідження. Під предметом дослідження мається на увазі те, що знаходиться в межах об'єкта і, як правило, збігається з темою досліджень.

Об'єкт і предмет дослідження як категорія наукового процесу співвідносяться між собою як загальне і часткове. В об'єкті виділяється та його частина, яка є предметом [14].

Задачі дослідження – це конкретизація шляхів, методів, засобів поставленої мети (МР), вирішення яких дозволяє отримати необхідний результат (НР). Задача дослідника забезпечити таку глибину і науковий рівень проробки окремих задач дослідження і проблемних задач, щоб дисертаційна робота в цілому відповідала розв'язанню поставленої мети.

Постановку конкретних задач (не більше 6 для кандидатської роботи і 8...9 для докторської роботи) рекомендується робити у вигляді переліку, використовуючи такі дієслова, як: вивести залежність, визначити, вивчити, встановити, описати, розробити, тощо. Прописувати задачі треба ґрунтовно і ретельно. Це пов'язано з тим, що рішення задач у ДР, в більшості випадків, є основою для формування змісту роботи, тобто для вирішення кожної задачі виділяється окремий розділ ДР.

При формулюванні мети, предмета, об'єкта і задач досліджень необхідно пам'ятати, що вони є логічно взаємопов'язані, тобто не вступати в конфлікт. На

рис.1 представлено структуру і взаємозв'язок постановки задачі та оцінки результатів наукових досліджень [14].

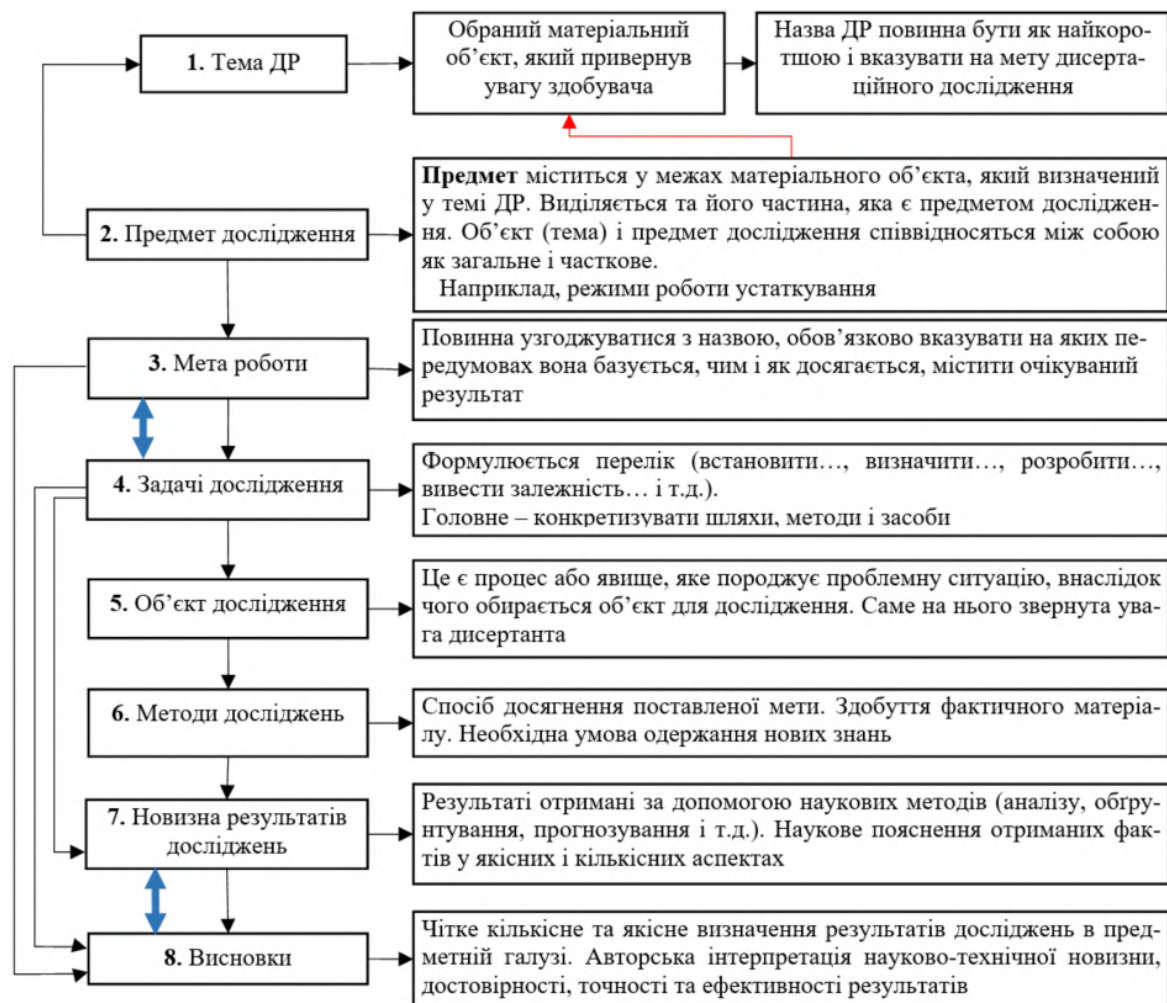


Рис. 1. Структура і взаємозв'язок постановки задачі та оцінки результатів наукових досліджень

Метод досліджень – це науково-методичний апарат апробований на практиці, що пройшов експертизу, за допомогою якого вирішуються ті або інші задачі (проблеми), відбиваються закономірні зв'язки процесів і явищ, що вивчаються. При відсутності у момент дослідження математичної теорії в науково-методичному апараті можуть бути використані емпіричні прийоми, обґрунтовані за експериментальними результатами і евристичні прийоми обґрунтування достовірності. Від правильного вибору методу досліджень залежить їх успішність. Усвідомлене застосування науково обґрунтованих методів досліджень слід розглядати як найголовнішу умову одержання нових знань. Розглядають загальнонаукові (теоретичні), емпіричні та евристичні методи [4]. Добре знання методів

досліджень й можливостей їхнього застосування дозволяє досліднику працювати більш успішно. Критична оцінка обраного методу досліджень в порівнянні з відомим повинна привести до висновку про її наукову новизну та корисність.

Важливо при написанні теоретичної частини ДР сформулювати вимоги до проведення експериментів.

Вимоги до обґрунтування наукових положень, новизни і практичних результатів дисертаційної роботи

В ДР необхідно обґрунтовано подати значимість результатів як першорядний вклад у науку і у практику.

Науковий результат – будь-який результат отриманий за допомогою наукових мето-

дів (аналізу, обґрунтуванню, співставлення, узагальнення тощо).

Новий науковий результат може бути отриманий двома шляхами:

- створенням нового більш ефективного методу дослідження, що відповідає максимальному ступеню творчості;

- вдосконаленням відомого методу дослідження.

Нові наукові результати зазвичай з'являються під час пошуку нового рішення поставленої наукової задачі або при пошуку рішення наукової проблеми [14].

Новий науковий результат – це результат отриманий вперше у світі, раніше невідомий у науці, факт відсутності подібних результатів у попередніх публікаціях інших вітчизняних і закордонних авторів.

Серед отриманих наукових результатів необхідно чітко виділити результати в розвитку методів досліджень, корисність, наукову новизну і достовірність. Для наукових результатів, які є внеском у науку, характерним є досить високий ступінь узагальнення. Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність – це комплексна характеристика ступеня об'єктивної відповідальності отриманого результату дійсному (істинному) значенню (стану) об'єкту. Це його закономірно висловлена обумовленість об'єктивно-існуючими у відповідній предметній області причинно-наслідковими зв'язками. При контролі та діагностуванні ступеня об'єктивної відповідальності діагнозу дійсному (фактичному) стану об'єкту. Достовірність виражається кількісними показниками.

Підтвердженням достовірності результатів є їх обґрунтованість. Необхідно конкретно довести, що положення, висновки й рекомендації виведені в роботі є обґрунтованими (достовірними), тобто реально (об'єктивно) існуючими в техніці або природі. Тільки вагомі докази дають підставу довіряти результатам досліджень.

Наукова новизна результатів досліджень

Одним з найбільш складних, неоднозначних і суперечливих питань не тільки при захисті ДР, але і при підготовці наукових звітів чи написанні наукових статей є визначення наукової новизни наукового результату.

Наукова новизна результатів досліджень визначається за трьома рівнями:

- вперше одержано..., запропоновано..., розроблено...;

- удосконалено результати...;

- здобуло подальший розвиток..., модель оцінки..., концепція..., математична модель...

Ці наукові результати є наслідком:

- розвитку методів (науково-методичного апарату);

- перетворення відомих даних;

- корінна зміна, розширення, доповнення відомих даних;

- уточнення, конкретизації відомих даних;

- поширення відомих результатів на новий клас об'єктів і систем.

Важливо враховувати те, що наукову новизну недостатньо представити у вигляді переліку встановлених наукових фактів, ідей, закономірностей. Вона має розкривати головну наукову концепцію; давати наукове пояснення досягнень у новому якісному й кількісному аспекті. При формулюванні наукової новизни треба показати відмінність отриманих результатів (відкриття нових законів, явищ, закономірностей, розвиток відомих ідей, наукове обґрунтування нових методів розрахунків, вимірювань, технічних рішень тощо), зосереджуючи особливу увагу на рівні досягнутої новизни [14].

При формулюванні наукової новизни варто використовувати наступні типові вирази:

- уперше в галузі...; уперше в світі...;

- розроблено метод..., який відрізняється від відомих...;

- уперше формалізовано...;

- виведені залежності між...;

- доказаний взаємозв'язок між...;

- відомий метод допрацьований в частині... і поширений на новий клас систем...;

- створено концепцію, яка узагальнює... і розвиває...;

- розроблено нову систему... з використанням принципу...;

- досліджено новий ефект..., тощо.

Ці результати можуть бути визнані внеском в науку лише у випадку теоретичного обґрунтування та достовірності результату, його коректності, які сприяють подальшому розвитку науки або окремим її напрямком.

Наукову новизну (НН), в більшості випадків, формулюють одним реченням, яке включає в себе наступні складові [14]:

$$\text{НН} = \text{РД} + \text{ЩВ} + \text{ЧВ}, \quad (3)$$

де РД – рівень досягнутої новизни або результату досліджень в предметній області;

ЩВ – що враховує;

ЧВ – чим відрізняється від відомих досліджень (рішень).

Дослідник може стверджувати про те, що саме йому належить вперше слово в описі досліджуваного процесу або явища тільки після глибокого вивчення винаходів, літературних джерел і консультацій з багатьма фахівцями з досліджуваного питання.

Якщо дослідник використовує слово «уперше», він повинен впевнитись у відсутності подібних наукових результатів публікаціях і патентах інших науковців.

Вперше можуть проводитися дослідження на оригінальні теми, які до цього не досліджувались в тій або іншій галузі наукового знання. Новими можуть бути тільки ті положення наукового дослідження, які сприяють подальшому розвитку науки або окремих її напрямків [14].

Теоретичний вклад в науку формулюється у вигляді наукових положень: теорія, концепція, метод, методологія, закономірність, принцип, формалізований опис, теорема, теоретично-експериментальне і математичне обґрунтування (доказ) та інші.

Типовими фразами для формулювання наукової новизни є такі [14]:

– розроблений метод..., який відрізняється від...;

– уперше формалізовано...;

– виведена залежність між...;

– досліджене поведіння... і показано...;

– відомий метод доопрацьований у частині... і поширений на новий клас систем...;

– досліджено новий ефект...;

– створена концепція, яка узагальнює... і розвиває...;

– розроблена нова система... с використанням принципу...;

– обґрунтований (достовірний результат), уперше оприлюднений (новий результат), упроваджено (корисний результат).

Але при формулюванні наукової новизни не рекомендується використовувати [14].:

– закономірності;

– емпіричні коефіцієнти;

– математичні моделі, які подаються без відповідного наукового та якісного аналізу, за допомогою яких отримані нові наукові результати без підтвердження їхньої практичної перевірки;

– складні рівняння, які вже через свою складність свідчать про недостатню вивченість явища (процесів);

– математичну еквілібристику над відомими рівняннями;

– «математизацію» табличної або графічної інформації, шляхом приведення рівнянь регресії, яка є, фактично, лише іншою формою залежності між величинами тощо.

При формулюванні наукової новизни без її розкриття не можна використовувати наступні вирази:

– «виявлений характер процесу»;

– «проведена оцінка класифікації»;

– «проведене комплексне дослідження»;

– «розроблена математична модель».

Не можна вважати досить аргументованими й такі словосполучення: «теоретично обґрунтовані й експериментально підтверджені ті або інші закономірності, які забезпечують новий якісний ефект...» та інші, без відповідного пояснення даного ефекту з наукових позицій відомих або раніше не установлених фактів [14].

Крім цього, у якості наукової новизни не може бути наданий опис нових прикладних (практичних) результатів, які отримані у вигляді методик, пристроїв, способів, алгоритмів, схем тощо.

Необхідно відокремлювати отримані наукові положення і нові прикладні результати, що виникають із теоретичної задумки.

Підтвердження практичного значення одержаних результатів досліджень з точки зору науково-технічного, економічного та соціального ефектів

Результати досліджень можуть бути підтверджені:

– отриманими авторськими посвідченнями; виданими підручниками або/і навчальними посібниками;

– відповідними актами, розробленими рекомендаціями методичних документів до державних і регіональних програм розвитку транспортної галузі;

– новими нормативами і технічними вимогами на створення нового устаткування, засобів і модернізацію комп'ютерних програм діагностування автомобілів;

– методиками і способами удосконалення умов експлуатації автомобілів, підвищення ефективності технічного обслуговування і використання матеріалів і паливо-енергетичних ресурсів; підвищення експлу-

таційної безпеки автомобілів; охорони навколишнього середовища.

Практичні впровадження засвідчуються актом ствердження керівниками відповідної організації. Науково-технічна ефективність характеризує приріст нових наукових знань і удосконалення підготовки висококваліфікованих фахівців, призначених для подальшого розвитку науки та техніки.

Вимоги до висновків ДР

Автор повинен показати знання прикладів та можливостей рішення аналогічних задач у сумісних областях для використання при обґрунтуванні своїх висновків. У висновках необхідно дати відповіді на поставлені задачі (рис. 1).

У висновках викладають найбільш важливі наукові й практичні результати, які отримані в науковій праці та повинні містити формулювання розв'язуваної наукової задачі, її значення для науки й практики [14].

Після кожного розділу ДР необхідно надавати висновки, які містять:

- стислі результати з чіткими фактами та цифрами;
- формулювання новизни результату;
- обґрунтування вірогідності результату;
- опис практичної цінності результату.

Після кожного розділу експериментальної частини обов'язково повинні буди надані висновки, які містять:

- стислий опис суті експерименту (мету, умови тощо);
- стислий опис отриманого результату з цифрами і фактами;
- формулювання новизни отриманого результату;
- аналіз збігу даних, передбачених теорією, із даними експерименту;
- опис практичної цінності результату.

Загальні висновки ДР. В першому пункті загальних висновків коротко оцінюють стан питання. Висновки наукової праці до кожної поставленої задачі виконують роль закінчення, обумовленого логікою проведення дослідження у формі синтезу накопиченої в основній частині наукової інформації. Цей синтез – послідовний, логічно стрункий виклад отриманих підсумкових результатів і їхнього співвідношення із загальною метою та конкретними задачами, поставленими й сформульованими у вступі. Тут міститься так зване «вивідне» знання, що є новим щодо вхідного знання [14].

При формуванні загальних висновків їх не можна представляти як перелік проведених робіт або просто копіювати висновки, які були надані вкінці кожного розділу. Це пов'язано з тим, що загальні висновки – це те нове, істотне, що складає кінцеві результати дослідження, сформульовані у вигляді визначеної кількості пронумерованих абзаців [14]. Кожен абзац (висновок) не рекомендується робити більшим, ніж 5 рядків. Великий обсяг висновку краще подати переліком.

Приклад 1. «Розширено методи оцінки за вібродіагностичними характеристиками якості тракторів в експлуатації, в основу яких покладено вперше розроблено для тракторів:...»;

Приклад 2. «За результатами експериментальних діагностичних досліджень отримано такі результати:...».

Послідовність викладення виводів визначається логікою побудови дослідження. При цьому визначається не тільки його наукова новизна й теоретична значимість, які впливають із кінцевих результатів, але й практична цінність, практичні пропозиції щодо наукового та практичного використання здобутих результатів, що повинні обов'язково впливати з кола робіт, проведених особисто дисертантом та впроваджених на виробництві [14].

При викладенні теоретичних результатів, які є внеском у науку, типовими є такі ключові слова й вираження [14]:

- теорія, методологія, теоретичні (методологічні, методичні) основи, (положення);
- науковий (науково-методичний, методичний, математичний) апарат (підхід, метод, методика) обґрунтування (аналізу, оцінки, формалізації, синтезу, побудови, оптимізації, прогнозування);
- теоретичне (теоретико-експериментальне, математичне) обґрунтування (доказ);
- закономірність, принцип, правило, гіпотеза, постановка задачі;
- формалізований (математичний) опис, математична модель;
- математична пропозиція (співвідношення), аксіома, теорема, лема, формула (формальне співвідношення), математична залежність.

Усі наукові положення з урахуванням досягнутого ними рівня новизни є теоретичною основою (фундаментом) вирішеної у дослідницькій роботі наукової задачі або наукової проблеми.

Перед зазначеними формулюваннями можуть приводитися у формі дієприкметника зробленого виду минулого часу слова, які уточнюють ступіть внеску автора в одержання відповідного наукового результату, наприклад:

- розроблений (удосконалений) автором математичний апарат...;
- сформульовані (обґрунтовані, запропоновані) теоретичні положення...;
- виявлені (установлені, вперше описані) закономірності...

Такі уточнюючі слова вкрай доцільно приводити усюди, де це можливо й доречно. Уживаючи їх, автор, з одного боку, виходить на рівень найбільш чіткого усвідомлення ступеня свого особистого внеску в науку, а, з іншого боку, сприяє спрощенню й більш оперативному рішенню задач експертизи його досліджень (дисертації).

В більшості формулювання кожного висновку (В) виконують одним реченням, яке повинно розкривати такі складові:

$$V = \text{ПО} + \text{ЩВ} + \text{ЩД}, \quad (4)$$

де ПО – предметна область та рівень досягнутого результату;

ЩВ – що враховує, або як використано;

ЩД – що дозволяє і (або) чим відрізняється від відомих досліджень (рішень).

Чим для більшої кількості об'єктів годиться той або інший новий висновок, тим він цінніший для науки. У висновках необхідно підкреслювати якісні й кількісні показники здобутих результатів, обґрунтувати вірогідність результатів.

Наведені форми визначення (2...4) є прикладами логічного аналізу і міркування, який можна розвивати і змінювати, вводячи до них похідні ознаки, розкриваючи значення використовуваних термінів, зазначаючи об'єкти, що входять до обсягу і змісту понять визначених формулою.

Висновки

Дана стаття присвячена обґрунтуванню вимог до викладення наукових досліджень в дисертаційних роботах, розвитку методології викладення результатів наукових досліджень для отримання якісної дисертації.

В роботі представлені загальні вимоги до поставки задачі і викладення результатів наукових досліджень в дисертаційних роботах. Формалізовані методичні рекомендації, що

стосуються формування мети, новизни роботи та висновків.

Для полегшення використання даних рекомендацій наведені ключові слова, типові фрази, уточнюючі слова і приклади формулювань. Представлено структуру й взаємозв'язок основних складових постановки задачі і оцінки результатів досліджень.

Дана робота призначена для здобувачів наукових ступенів, їх керівників, а також для науковців, які формують наукові звіти, готують результати своїх досліджень для публікації у періодичних виданнях, що індексуються у провідних базах даних.

Література

1. Gnatov A., Argun S., Ulyanets O. Joint innovative double degree master program “energy-saving technologies in transport”: 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, Ukraine, 29 June. 2017. P. 1203–1207.
2. Arhun S., Hnatov A., Hnatova H., та ін. Problems that have arisen in universities in connection with COVID-19 on the example of the Double Degree Master's Program “Electric Vehicles and Energy-Saving Technologies” Riga, Latvia, 05 November. 2020. P. 1–6.
3. Ekinici R. Y. How to Design a Successful Dissertation? 2016. 230 p.
4. Мигаль В. Д. Організація, методи та викладання результатів наукових досліджень: навч.-метод. посіб. Харків: ХНАДУ, 2009. 276 с.
5. Disman D., Ali M., Barliana M. S. The use of quantitative research method and statistical data analysis in dissertation: an evaluation study. International Journal of Education. 2017. Vol. 10, № 1. P. 46–52.
6. Cruz J. M., Artiles M. S., Lee-Tomas G., та ін. The Dissertation Institute: Evaluation of a Doctoral Student Writing Workshop: 2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), October. 2018. P. 1–7.
7. Goodman P., Robert R. C., Johnson J. E. Rigor in PhD dissertation research. Nursing Forum. 2020. Vol. 55 (4). P. 611–620.
8. Hamilton P., Johnson R., Poudrier C. Measuring educational quality by appraising theses and dissertations: pitfalls and remedies. Teaching in Higher Education. 2010. Vol. 15 (5). P. 567–577.
9. Yang Y., Yang S., Fu Y. Construction of the quality evaluation system of master academic dissertation of post graduates major in professional clinical medicine. Chinese Journal of Medical Education Research. 2016. Vol. 15 (12). P. 1205–1209.
10. Biggam J. Succeeding with your master's dissertation: a step-by-step handbook: McGraw-Hill Education (UK), 2015. 250 p.

11. Foss S. K. Destination dissertation: A traveler's guide to a done dissertation: Rowman & Littlefield, 2015. 312 p.
12. Kumar R. Research methodology: A step-by-step guide for beginners: Sage, 2018. 366 p.
13. Glazek K. J., Adu P., McFeeters B. B. Development and preliminary evaluation of a doctoral dissertation support center. Training and Education in Professional Psychology. 2018. Vol. 12 (3). P. 163–173.
14. Мигаль В. Д. Методичні рекомендації до постановки наукової задачі та оцінки результатів дисертаційних досліджень. «Автомобіле- та тракторобудування». Вісник НТУ «ХПІ». 2010. Вип. 33. С. 123–131.
11. Foss S. K. (2015) Destination dissertation: A traveler's guide to a done dissertation: Rowman & Littlefield.
12. Kumar R. (2018) Research methodology: A step-by-step guide for beginners: Sage.
13. Glazek K. J., Adu P., McFeeters B. B. (2018) Development and preliminary evaluation of a doctoral dissertation support center. Training and Education in Professional Psychology. 12 (3). 163–173.
14. Migal V. D. (2010) Metodichni rekomendatsii do postanovky naukovoї zadachi ta otsinky rezultativ dysertatsiinykh doslidzhen. [Methodical recommendations for setting a scientific problem and evaluating the results of dissertation research.] «Avtomobile- ta traktorobuduvannia». Visnyk NTU «KhPI». 33. 123–131. [in Ukraine]

References

1. Gnatov A., Argun S., Ulyanets O. (2017) Joint innovative double degree master program “energy-saving technologies in transport”: 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, Ukraine, 29 June. 1203–1207.
 2. Arhun S., Hnatov A., Hnatova H. et. al. (2020) Problems that have arisen in universities in connection with COVID-19 on the example of the Double Degree Master's Program “Electric Vehicles and Energy-Saving Technologies” Riga, Latvia, 05 November. 1–6.
 3. Ekinici R. Y. (2016) How to Design a Successful Dissertation?
 4. Migal V. D. (2009) Orhanizatsiia, metody ta vykladannia rezultatov naukovykh doslidzhen: navch.-metod. posib [Organization, methods and teaching of research results] Kharkiv: KhNAHU. [in Ukraine]
 5. Disman D., Ali M., Barliana M. S. (2017) The use of quantitative research method and statistical data analysis in dissertation: an evaluation study. International Journal of Education. 10 (1). 46–52.
 6. Cruz J. M., Artiles M. S., Lee-Tomas G. (2018) The Dissertation Institute: Evaluation of a Doctoral Student Writing Workshop: 2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), October. 1–7.
 7. Goodman P., Robert R. C., Johnson J. E. (2020) Rigor in PhD dissertation research. Nursing Forum. 55 (4). 611-620.
 8. Hamilton P., Johnson R., Poudrier C. (2010) Measuring educational quality by appraising theses and dissertations: pitfalls and remedies. Teaching in Higher Education. 15 (5). 567–577.
 9. Yang Y., Yang S., Fu Y. (2016) Construction of the quality evaluation system of master academic dissertation of post graduates major in professional clinical medicine. Chinese Journal of Medical Education Research. 15 (12). 1205–1209.
 10. Biggam J. (2015) Succeeding with your master's dissertation: a step-by-step handbook: McGraw-Hill Education (UK).
- Мигаль Василь Дмитрович**¹, д.т.н., проф, тел. 096-263-3326, e-mail: vasilymigal9@gmail.com,
Аргун Щасяна Валіковна², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com,
Гнатов Андрій Вікторович², д.т.н., зав. каф. автомобільної електроніки, тел. 0667430887, e-mail: kalifus76@gmail.com,
Жарко Юрій Григорович³, к.т.н., провідний інженер із стандартизації, Відділ оцінки відповідності продукції машинобудування, тел. 067-749-41-36, e-mail: 090sert@gmail.com
- ¹Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 61002, Україна, м. Харків, вул. Алчевських 44.
²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
³Державне підприємство "Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації", вул. Мироносицька, 36, м. Харків, Україна, 61002

Problem statement and presentation of results of scientific research in dissertation works in technical sciences

Abstract. Problem. When writing dissertations, applicants face a serious problem of correct presentation of the results. Consequently, the quality of dissertations decreases significantly, even if the level of their research and development is very high. **Goal.** The purpose of the article is to provide knowledge on the justification and formulation of the problem and the presentation of scientific information in dissertations, which are the key criteria in ensuring their quality. **Methodology.** Analytical methods of research of dissertations concerning their quality of presentation were used. **Results.** The paper presents the general requirements for the delivery of the problem and the presentation of research results in dissertations of the technical area. The methodical recommendations concerning the formation of the purpose were formalized, as well as the novelty of the work and conclusions. To

facilitate the use of these recommendations, keywords, typical phrases, clarifying words and examples of wording are provided. The structure and interrelation of the main components of the problem statement and evaluation of research results are presented. **Originality.** Clear instructions on the choice of topic, description of the object and subject of research, and research technology are provided. **Practical value.** This work is intended not only for those who are working on a dissertation (master's degree, doctor of philosophy (PhD), doctoral), but also for those who prepare research reports and for the authors of scientific articles.

Key words: scientific research, dissertation work, requirements, education, higher educational institution, applicant, quality of dissertations.

Migal Vasiliy¹, Professor, Dr. Sc., Professor, tel. +38 096-263-3326, vasiyimigal9@gmail.com,

Shchasiana Arhun², Dr. Sc., Professor, Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Hnatov Andrii², Dr. Sc., chief of the Vehicle Electronics Department, тел. 0667430887, e-mail: kalifus76@gmail.com,

Zharko Yurii³, PhD, leading standardization engineer Department of conformity assessment of engineering products State Enterprise "Kharkiv regional scientific and production center for standardization, metrology and certification", tel. 067-749-41-36, 090sert@gmail.com

¹Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, 44, Alchevskiyh, Kharkiv, Ukraine 61002.

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

³State Enterprise "Kharkiv Regional Research and Production Center for Standardization, Metrology and Certification", st. Myronosytska, 36, Kharkiv, Ukraine, 61002

Постановка задачи и изложение результатов научных исследований в диссертационной работе по техническим наукам

Аннотация. При написании диссертаций соискатели сталкиваются с серьезной проблемой правильного изложения полученных результатов. В связи с этим, существенно падает качество диссертационной работы, даже если уровень исследований и разработок очень высок. Данная работа посвящена решению этой проблемы. Эта статья будет полезна не только для тех, кто работает над диссертацией, но и для тех, кто готовит отчеты научных исследований и для авторов научных статей.

Ключевые слова: научное исследование, диссертационная работа, требования, образование, высшее учебное заведение, соискатель, качество диссертаций.

Мигаль Василий Дмитриевич¹, д.т.н., проф., тел. +38 096-263-3326, vasiyimigal9@gmail.com,

Аргун Щасяна Валиковна², д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com,

Гнатов Андрей Викторович², д.т.н., зав. каф. автомобильной электроники, тел. 0667430887, e-mail: kalifus76@gmail.com,

Жарко Юрий Григорьевич³, к.т.н., ведущий инженер по стандартизации, Отдел оценки соответствия продукции машиностроения, тел. 067-749-41-36, e-mail: 090sert@gmail.com

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, 61002, г. Харьков, ул. Алчевских 44.

²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

³Государственное предприятие "Харьковский региональный научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации", ул. Мироносицкая, 36, г. Харьков, Украина, 61002.

ТЕНДЕНЦІЇ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ МАЛОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

Войтків С.В.¹

¹Науково-технічний центр "Автополіпром"

Анотація. Проаналізовані компоновальні схеми та конструктивні особливості сучасних моделей електромобілів малої вантажопідйомності категорії N₁. Окреслені перспективи створення і організації дрібносерійного виробництва електромобілів малої вантажопідйомності категорії N₁ в Україні.

Ключові слова: електромобіль малої вантажопідйомності, тяговий міст, тяговий електродвигун, тягові АКБ, колісна формула.

Вступ

На протязі останнього десятиліття відбувається бурхливий розвиток електромобілів [1], у т.ч. і електромобілів малої вантажопідйомності категорії N₁. До відомих виробників таких електромобілів – "Goupil Industrie s.a." та "COLIBUS" (Франція), "Alke Electric Vehicles" (Італія), "Addax Motors" (Бельгія), "Garia Utility" (Данія), "MELEX Sp. z o.o." (Польща), "COMARTH Engineering SL" (Іспанія), "Global Electric Motorcars" (США), "Canadian Electric Vehicles (Канада)", тощо долучилися німецькі компанії "StreetScooter GmbH" (2014 р.) та EVUM Motors GmbH" (2016 р.), шведська фірма "Inzile AB" (2012 р.) турецька компанія "Pilotcar Otomotiv San. and Tic. A.S." (2011 р.).

Аналіз публікацій

У 2014-2020 роках багатьма європейським виробниками електромобілів малої вантажопідйомності було спроектовано і підготовлено до виробництва ряд нових моделей.

Турецька фірма "Pilotcar Otomotiv San. and Tic. A.S." у кінці 2020 року розпочинає виробництво і реалізацію на внутрішньому ринку вантажні електромобілі категорії N₁ моделі "Pilotcar P-1000" (рис. 1) [2].

Кабіна електромобіля півкапотного типу [3], розрахована на 2 чол. Тяговий міст електромобіля – інтегрально-балкового типу [4] з тяговим електродвигуном (ТЕД), підвіска коліс – напівнезалежна пружинна з амортизаторами. Підвіска коліс керованого моста – незалежна пружинна з амортизаторами.

Основні розмірні параметри електромобіля показані на рис. 2, а основні технічні параметри наведені у табл. 1.



Рис. 1. Електромобіль малої вантажопідйомності моделі "Pilotcar P-1000"

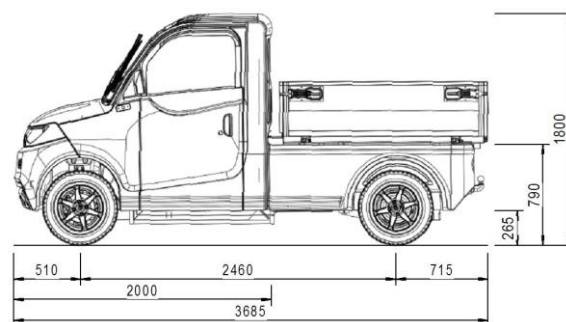


Рис. 2. Електромобіль малої вантажопідйомності моделі "Pilotcar P-1000"

Гальмівні механізми коліс обох мостів – дискові. Шини коліс – типорозміру 165/R13.

Французька компанія "Goupil Industrie s.a." у наступному, 2021 році, планує розпочати реалізацію електромобілів моделі "Goupil G6" (рис. 3) [5].

Він спроектований за колісною схемою 4x2.1п, тобто з переднім керовано-тяговим мостом з незалежною підвіскою коліс.

Таблиця 1 – Технічні параметри електромобіля категорії N₁ моделі "Pilotcar P-1000"

Найменування параметра	Визначення
Колісна формула	4x2.1з
Габаритні розміри – довжина/ширина/ висота, м	3,685/ 1,35/ 1,8
Параметри мас, кг:	
- споряджена маса без тягових АКБ з бортовим кузовом	595
- маса свинцево-кислотних тягових АКБ	575
- вантажопідйомність	870
- повна маса	1980
Номінальна енергопотужність тягових АКБ, кВт·год	14,4
Номінальна потужність ТЕД, кВт	10,0
Середнє споживання електроенергії, кВт·год./100 км	10,4
Максимальна швидкість, км/год.	55
Автономний пробіг, км	120

Підвіска коліс керованого моста – незалежна пружинна типу псевдо "McFerson". Тяговий міст електромобіля розрізного типу з напівнезалежною підвіскою коліс на поперечних важелях, пружинна з амортизаторами. Редуктор головної передачі з диференці-

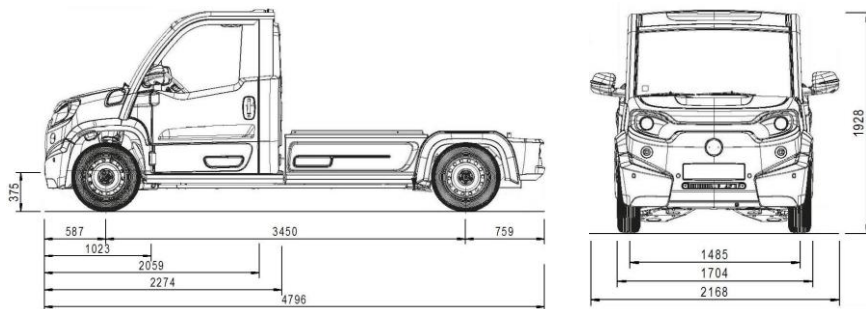


Рис. 4. Електромобіль малої вантажопідйомності моделі "Goupil G6"

Таблиця 2 – Технічні параметри вантажного електромобіля категорії N₁ моделі "Goupil G6"

Найменування параметра	Визначення
Колісна формула	4x2.1п
Габаритні розміри – довжина/ширина/ висота, м	4,796/ 1,704/ 1,921
Параметри мас, кг:	
- споряджена маса без тягових АКБ з бортовим кузовом	1344
- маса тягових АКБ LiFePO ₄	256
- вантажопідйомність	1000
- повна маса	2600
Пікова потужність ТЕД, кВт	62
Номінальна енергопотужність тягових АКБ, кВт·год.	28,8
Максимальна швидкість, км/год.	80
Автономний пробіг, км	152

Рама електромобіля (рис. 5) лонжеронно-

альним механізмом, передавальне число – 10,86. Тяговий електродвигун – асинхронного типу. Кермове управління – з гідропідсилювачем. Обидва мости обладнані колесами з шинами типорозміру 195 65 R16С.



Рис. 3. Електромобіль малої вантажопідйомності моделі "Goupil G6"

Тривалість заряджання блоків тягових АКБ від електричної мережі 220 В – 5 год.

Кабіна електромобіля теж напівкапотного типу, але суттєво ширша – 1,704 м, що забезпечує вмістимість 3 чол.

Основні розмірні параметри електромобіля показані на рис. 4, а основні технічні параметри наведені у табл. 2.

го типу, зварена з труб прямокутного та, у передній частині, круглого перерізу.



Рис. 5. Конструкція рами електромобіля моделі "Goupil G6"

Нещодавно презентувала електромобіль малої вантажопідйомності 2-ї генерації мо-

делі "Pro4" [6] і невелика (кількість працівників до 50 чол.) шведська фірма "Inzile AB". Електромобіль створений за двома колісними формулами – 4x2.1з та 4x4.1.

У виробничій програмі фірми – одне базове шасі та дві основні моделі електромобіля: "Pro4 Work" з бортовим кузовом (рис. 6) та "Pro4 Van" з кузовом-фургонном.



Рис. 6. Електромобіль малої вантажопідйомності моделі "Pro4 Work"

На даному етапі освоєно виробництво електромобіля, обладнаного заднім тяговим мостом інтегрально-балкового типу із залежною підвіскою коліс. Підвіска коліс керованого моста – типу "McFerson".

Основні розмірні параметри електромобіля показані на рис. 7, а основні технічні параметри наведені у табл. 3.

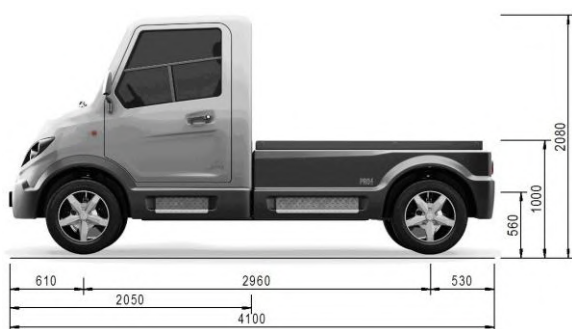


Рис. 7. Базове шасі електромобілів малої вантажопідйомності модельного ряду "Pro4"

Таблиця 3 – Технічні параметри вантажного електромобіля категорії N₁ моделі "Pro4 Work"

Найменування параметра	Визначення
Колісна формула	4x2.1з
Габаритні розміри – довжина/ширина/ висота, м	4,1/ 1,6/ 2,08
Параметри мас, кг:	
- споряджена маса з бортовим кузовом	950
- вантажопідйомність	1000
- повна маса	1950
Пікова потужність ТЕД, кВт	25,0

Найменування параметра	Визначення
Робоча напруга ТЕД, В	96
Тип тягових АКБ	LiFePO ₄
Типорозмір коліс	195/65R15
Максимальна швидкість, км/год.	50
Автономний пробіг, км	120 або 240

Конструкція електромобіля передбачає можливість виробництва модифікації у повнопривідному варіанті (рис. 8).



Рис. 8. Електромобіль малої вантажопідйомності моделі "Pro4 Work" з колісною формулою 4x4.1

Характерними особливостями електромобілів модельного ряду "Pro4" являються застосування у двомісній кабіні сидінь водія з механічною системою підресорення та рами периферійного типу з надрамником (рис. 8 і рис. 9).

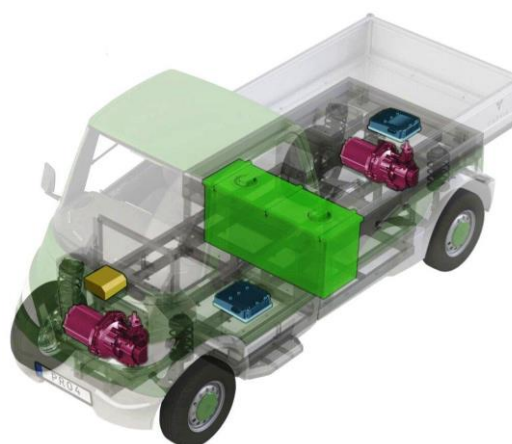


Рис. 9. Рама периферійного типу електромобіля моделі "Pro4 Work"

Кабіна електромобіля вирізняється і вбудованою підніжкою, з'єднаною з рамою.

У тягових мостах застосовуються тягові ТЕД асинхронного типу.

Повнопривідний електромобіль малої вантажопідйомності категорії N_1 у 2020 році почала виготовляти німецька фірма "EVUM Motors GmbH", яка була створена як відділення Технічного університету Мюнхена. З 2016 року її фахівцями було розроблено три різні варіанти електромобіля, які різняться конструкціями та екстер'єрами кабін (наведені на рис. 10.)



а



б



в

Рис. 10. Трансформація екстер'єрів електромобілів фірми "EVUM Motors GmbH": а – прототип моделі TUM [7]; б – проміжна модель "aCar" [8]; в – серійна модель "aCar"

Прототип – електромобіль моделі TUM і перший варіант електромобіля "aCar" були обладнані механічним тяговим мостом балкового типу. Крутний момент від одного з двох тягових електродвигунів до редуктора

головної передачі передавався карданною передачею. У конструкції електромобіля моделі "aCar", запущеного у дрібносерійне виробництво [9], застосований задній тяговий міст інтегрально-балкового типу. Передній керовано-тяговий міст – розрізного типу. Мости обладнані асинхронними ТЕД номінальною потужністю по 10,0 кВт. Їх сумарна пікова потужність становить 28,0 кВт.

Основні розмірні параметри електромобіля показані на рис. 11, а основні технічні параметри наведені у табл. 4.

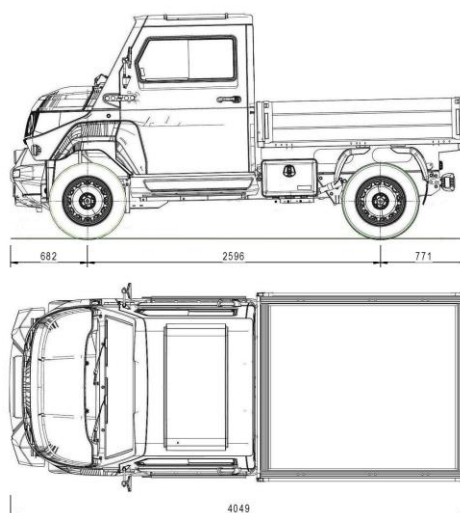


Рис. 11. Електромобіль моделі "aCar" (варіант для серійного виробництва)

Таблиця 4 Технічні параметри вантажного електромобіля категорії N_1 моделі "aCar"

Найменування параметра	Визначення
Колісна формула	4x4.1
Габаритні розміри – довжина/ширина/ висота, м	4,049/ 1,553/ 1,986
Параметри мас, кг:	
- споряджена маса з бортовим кузовом	1300
- вантажопідйомність	1000
- повна маса	2300
Тип тягових АКБ	NCM
Номінальна енергопотужність тягових АКБ, кВт·год.	16,5
Середнє споживання електроенергії, кВт·год./100 км	15,9
Типорозмір коліс	185/75R16C
Максимальна швидкість, км/год.	70
Автономний пробіг, км	80

У поточному році відома польська фірма "MELEX Sp. z o.o." презентувала перший прототип електромобіля малої вантажопідйомності моделі "N.Truck" категорії N_1 . Він характеризується найбільшою вантажопідйомністю, яка сягає 2000 кг з бортовим кузовом.

вом. Повна маса електромобіля у залежності від функціонального призначення кузовів – до 3500 кг, тобто може сягати максимально можливої для колісних транспортних засобів категорії N_1 [10].

Перший дослідний зразок електромобіля моделі "N.Truck" показаний на рис. 12, а його орієнтовні технічні параметри наведені у табл. 5.



Рис. 12. Електромобіль моделі "N.Truck" з бортовим кузовом фірми "Melex Sp. z o.o."

Таблиця 5 – Технічні параметри вантажного електромобіля категорії N_1 моделі "N.Truck"

Найменування параметра	Визначення
Колісна формула	4x2.1п
Габаритні розміри – довжина/ширина/висота, м	-/ 1,5/ -
Колісна база, м	2,5 або 3,0
Параметри мас, кг:	
- споряджена маса з бортовим кузовом	1000
- вантажопідйомність	2000
- повна маса	3000
Тип тягових АКБ	літій-іонні
Максимальна швидкість, км/год.	70
Автономний пробіг, км	150

Електромобіль "N.Truck" оснащений незалежною підвіскою всіх коліс. Підвіска коліс переднього керовано-тягового моста типу "McPherson". Підвіска коліс заднього моста теж незалежна – на поперечних важелях, пружні елементи – гвинтові пружини. Залежно від колісної бази радіус повороту електромобіля становить 4,9 м (колісна база 2,5 м) та 5,9 м (колісна база 3,0 м).

Характерними особливостями екстер'єру кабіни електромобіля являються вертикальні боковини, плоскі скляні двері, обладнані зсувною кватиркою та плоска задня стінка. Загалом, екстер'єр електромобіля характеризується простою і лаконічною формою передньої частини кабіни – капота та бампера, та дуже скромною зовнішньою світлотехні-

кою. Вона складається лише з двох комбінованих ліхтарів круглої форми.

Дрібносерійне виробництво цього вантажного електромобіля розпочнеться у 2021 році.

Передбачається, що електромобіль модельного ряду "N.Truck" буде виготовлятися також і у повнопривідному варіанті.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є аналіз тенденцій та оцінка перспектив організації дрібносерійного виробництва електромобілів малої вантажопідйомності категорії N_1 на заводах України, а також визначення шляхів створення перспективних конкурентоспроможних конструкцій таких електромобілів.

Результати досліджень

Перш за все необхідно відзначити, що всі п'ять нових моделей електромобілів малої вантажопідйомності категорії N_1 , створених у 2019-2020 роках, спроектовані за компоновальною схемою, яка передбачає застосування кабіни півкапотного типу ("sC" – *semicircular type cabin*). До кабіни півкапотного типу відповідно до класифікації, запропонованої автором в роботі [3], відносяться кабіни, у яких точка перетину ліній скла вітрового вікна та капоту у вертикальній поздовжній площині симетрії знаходиться між поперечними вертикальними площинами, одна з яких проходить через вісь симетрії колеса, інша дотична до шини колеса позаду його осі симетрії, тобто за умови (рис. 13).

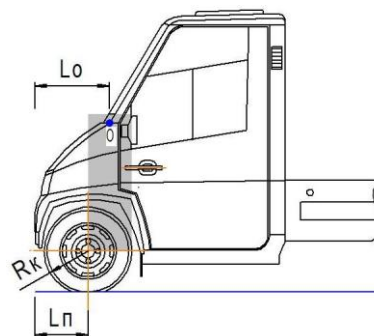


Рис. 13. Схема кабіни півкапотного типу

$$L_n \leq L_o \leq (L_n + R_k), \quad (1)$$

де L_n – передній звис кабіни, м;

R_k – радіус колеса переднього моста, м.

Електромобілі моделі "Pilotcar P-1000" та модельного ряду "Inzile Pro4" виконані по

колісній формулі 4x2.1з, тобто обладнані заднім тяговим мостом. Електромобіль моделі "Goupil G6" та прототип електромобіля моделі "Melex N.Truck" спроектовані за колісною формулою 4x2.1п, тобто з переднім керовано-тяговим мостом. Електромобіль моделі EVUM "aCar" являється повнопривідним, його колісна формула 4x4.1. У найближчих планах фірм "Inzile AB" та "Melex Sp. z o.o." створення і організація виробництва повнопривідних модифікацій електромобілів "Inzile Pro4" та "Melex N.Truck" (рис. 14).

Модель електромобіля

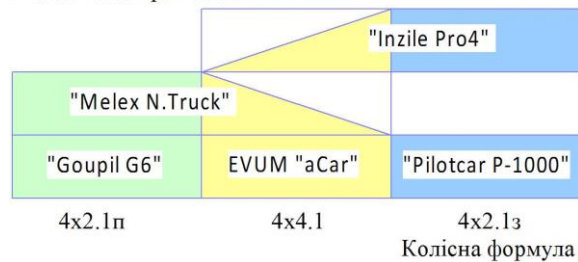


Рис. 14. Типи електромобілів малої вантажопідйомності за колісною формулою

У конструкціях тягових приводів електромобілів розглянутих моделей застосовуються (табл. 6):

- керовано-тягові електромеханічні мости інтегрально-розрізного типу, у яких редуктор головної передачі зблокований з тяговим електродвигуном);
- тягові електромеханічні мости інтегрально-балкового типу.

Таблиця 6 – Типи тягових мостів вантажних електромобілів категорії N₁

Тип тягового моста	Застосування
Передній: - керовано-тяговий розрізний	"Goupil G6" EVUM "aCar" "Melex N.Truck" "Inzile Pro4"
Задній: - тяговий інтегрально-балковий	"Pilotcar P-1000" "Inzile Pro4"

Тягові мости електромобілів моделей "Goupil G6", EVUM "aCar" та "Inzile Pro4" обладнані ТЕД асинхронного типу змінного струму. По електромобілях "Pilotcar P-1000" та "Melex N.Truck" інформація відсутня, як і по потужності ТЕД моделі "Melex N.Truck".

Питома номінальна потужність електромобілів, яка визначається за виразом

$$\delta N_n = \frac{N_e^n}{M_n}, \quad (2)$$

де N_e^n – номінальна потужність ТЕД, кВт;

M_n – повна маса електромобіля, кг,

або питома пікова потужність

$$\delta N_n = \frac{N_e^n}{M_n}, \quad (3)$$

де N_e^n – пікова (короткочасна) потужність ТЕД, кВт, наведені у табл. 7 та на рис. 15.

Таблиця 7 – Питома потужність вантажних електромобілів категорії N₁

Модель електромобіля	Повна маса, кг	Потужність			
		ТЕД, кВт		питома, Вт/кг	
		ном.	пik.	ном.	пik.
"Inzile Pro4"	1950	-	25,0	-	12,82
EVUM "aCar"	2600	20,0	28,0	7,69	10,77
"Goupil G6"	2600	-	62,0	-	23,85
"Pilotcar P-1000"	1980	10,0	24,0	5,05	12,12

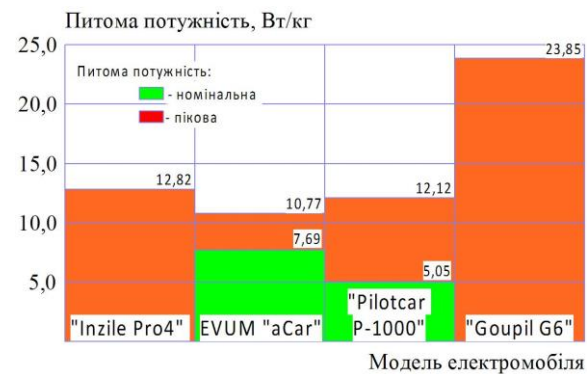


Рис. 15. Питома потужність електромобілів малої вантажопідйомності

Для живлення тягових електродвигунів застосовуються блоки тягових АКБ двох типів:

- свинцево-кислотні VRLA GEL або VRLA AGM (необслуговувані);
- літій-іонні: літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) або літій-нікель-марганець-кобальтові (NMC).

Номінальна робоча напруга живлення тягових електродвигунів складає 48 В, 67 В або 96 В.

Номінальна енергопотужність блоків тягових АКБ незалежно від типу становить 13,0-28,8 кВт·год.

Середнє споживання електроенергії електромобілями з колісними формулами 4x2.1п та 4x2.1з рівне 10,4 кВт·год./100 км (модель "Pilotcar P-1000"), а повнопривідного електромобіля EVUM "aCar" з колісною формулою 4x4.1 сягає 15,9 кВт·год./100 км, тобто на 52 % більше.

Для керованих та керовано-тягових мостів електромобілів усіх моделей застосовані підвіски:

- типу "McFerson";
- незалежна на поперечних важелях з пружинними пружними елементами та амортизаторами.

На електромобілі моделі "Goupil G6" для керовано-тягового моста використана незалежна підвіска типу псевдо-"McFerson".

Для задніх тягових мостів застосовані два типи підвісок:

- незалежна на поперечних важелях з пружинними пружними елементами та амортизаторами;

- напівнезалежна на поздовжніх важелях з пружинними пружними елементами та амортизаторами,

а для тримальних мостів – незалежна на поперечних важелях з пружинними пружними елементами та амортизаторами

Застосування підвісок вказаних вище типів у ходових частинах електромобілів малої вантажопідйомності наведено у табл. 8.

Таблиця 8 – Типи підвісок коліс мостів вантажних електромобілів категорії N₁

Тип підвіски коліс моста	Застосування
Переднього керованого	
- незалежна типу "McPherson"	"Inzile Pro4"
- незалежна на поперечних важелях	"Pilotcar P-1000"
Переднього керовано-тягового розрізного:	
- незалежна типу "McPherson"	"Melex N.Truck"
- незалежна типу псевдо-"McPherson"	"Goupil G6"
- незалежна на поперечних важелях	EVUM "aCar"
Заднього тягового:	
- незалежна на поперечних важелях	EVUM "aCar" "Inzile Pro4"
- напівнезалежна на поздовжніх важелях	"Pilotcar P-1000"
Заднього тримального:	
- незалежна на поперечних важелях	"Goupil G6" "Melex N.Truck"

Важливим показником технічної ефективності вантажних електромобілів являється коефіцієнт вантажопідйомності, який визначається за виразом

$$k_G = \frac{M_e}{M_n} = \frac{M_n - M_{cn}}{M_n}, \quad (4)$$

де M_e – вантажопідйомність електромобіля, кг;

M_{cn} – споряджена маса електромобіля з водієм та службовою особою, кг.

Коефіцієнти вантажопідйомності розглянутих електромобілів наведені у табл. 9.

Таблиця 9 – Коефіцієнт вантажопідйомності електромобілів категорії N₁ з бортовим кузовом

Модель електромобіля	Повна маса, кг	Споряджена маса, кг	Коефіцієнт вантажопідйомності
"Inzile Pro4"	1950	950	0,513
EVUM "aCar"	2600	1300 ¹	0,5
"Goupil G6"	2600	1600	0,385
"Pilotcar P-1000"	1980	1170 ²	0,409
"Melex N.Truck"	3000	1000	0,667

Примітка: Тип тягових АКБ: ¹NMC; ²свинцево-кислотна, інші – літій-іонні

Місткість кабін електромобілів малої вантажопідйомності – 2 чол. (водій і службова особа) за винятком моделі "Melex N.Truck", кабіна якої розрахована на 3 чол. з водієм.

Вантажопідйомність електромобілів з бортовим кузовом, наведена на рис. 16.

Модель електромобіля

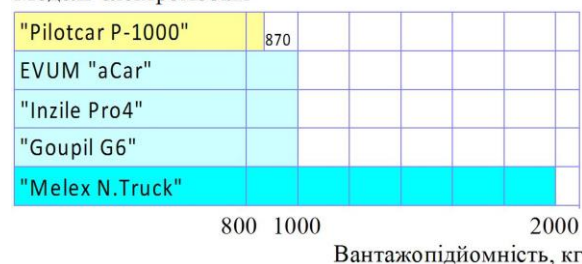


Рис. 16. Вантажопідйомність електромобілів категорії N₁

Оскільки коефіцієнт вантажопідйомності електромобілів залежить від типу і маси блоків тягових АКБ важливим їх показником являється коефіцієнт пробігу без підзарядження тягових АКБ (табл. 10):

$$k_{np} = k_s \times \frac{S_{np}}{0,1M_n}, \quad (5)$$

де k_s – розмірний коефіцієнт, кг/м;

S_{np} – пробіг електромобіля без підзарядження блоків тягових АКБ при середньому споживанні електроенергії, м.

Таблиця 10 – Коефіцієнт пробігу електромобілів категорії N_1 з бортовим кузовом

Модель електромобіля	Повна маса, кг	Пробіг, м	Коефіцієнт пробігу
"Inzile Pro4"	1950	120	0,615
EVUM "aCar"	2600	80 ¹	0,308
"Goupil G6"	2600	152	0,585
"Pilotcar P-1000"	1980	120 ²	0,606
"Melex N.Truck"	3000	150	0,5

Ще одним важливим показником технічної ефективності електромобілів малої вантажопідйомності являється коефіцієнт корисної довжини базового шасі, який визначається за виразом:

$$k_L = \frac{L_{ш}}{L_{ш} - L_{каб}}, \quad (6)$$

де $L_{ш}$ – габаритна довжина шасі електромобіля з кабіною, м;

$L_{каб}$ – загальна довжина кабіни електромобіля, м.

Коефіцієнти корисної довжини базових шасі розглянутих електромобілів наведені у табл. 11.

Таблиця 11 – Коефіцієнти корисної довжини шасі електромобілів з кабіною

Модель електромобіля	Довжина, м		Коефіцієнт корисної довжини
	шасі	кабіни	
"Inzile Pro4"	4,1	2,05	0,5
EVUM "aCar"	4,659	2,577	0,447
"Goupil G6"	4,796	2,274	0,526
"Pilotcar P-1000"	3,595	2,0	0,444

Габаритна ширина двомісних кабін електромобілів малої вантажопідйомності становить 1,35-1,5-1,535-1,6 м, а тримісної кабіни електромобіля моделі "Goupil G6" – 1,704 м.

Для керованих, керовано-тягових, тягових та тримальних мостів електромобілів застосовані колеса, обладнані шинами наступних типорозмірів:

- 165/70R13 ("Pilotcar P-1000");
- 195/65 R15 ("Inzile Pro4");
- 185/75 R16 (EVUM "aCar");
- 195/65 R16 ("Goupil G6").

Екстер'єр кабін усіх електромобілів, за винятком моделі "Melex N.Truck", близький за конструкціями та складністю формують панелей передніх півкапотних частин та дверей. Характерною особливістю вітрового вікна електромобіля EVUM "aCar" являється застосування плоского скла. На кабінах інших моделей електромобілів скло гнуге у вертикальній площині ("Inzile Pro4", "Pilotcar P-1000", "Goupil G6") або у горизонтальній площині ("Melex N.Truck").

Ринкова вартість електромобілів малої вантажопідйомності категорії N_1 становить:

- EVUM "aCar" – 42828-46398 Євро у залежності від базової комплектації та типу кузова [11];
- "Melex N.Truck" – орієнтовна планова вартість з бортовим кузовом 100 тис. ЗЛ (злотих) або 22340 Євро [12];
- "Pilotcar P-1000" – 110-120 тис. TL (турецьких лір) або 11850-12930 Євро [13].

Висновки

Розвиток конструкцій електромобілів малої вантажопідйомності базується на наступних напрямках:

- на застосуванні компонувань схем на основі колісних формул 4x2.1з (тяговий міст – задній), 4x2.1п (тяговий міст – передній) та 4x4.1 (тягові мости – передній та задній);
- на застосуванні тягових мостів двох типів – інтегрально-балкового типу (задній тяговий міст) та інтегрально-розрізного типу (передній керовано-тяговий та задній тяговий мости);
- на застосуванні кабін водія виключно півкапотного типу.

На чотирьох з п'яти розглянутих моделей електромобілів малої вантажопідйомності застосовані блоки тягових АКБ літій-іонного типу – LiFePO4 або NMC.

Характерною особливістю більшості цих моделей електромобілів являється вантажопідйомність, рівна 1000 кг. Варто відзначити спробу польської фірми "MELEX Sp. z o.o." вийти на ринок вантажних електромобілів категорії N_1 з моделлю у 2 рази більшої вантажопідйомності.

Напрямок створення і організації дрібно-серійного виробництва електромобілів малої вантажопідйомності категорії N1 являється надзвичайно актуальним для машинобудівної галузі України. Для розвитку цієї сфери електромобілебудування є достатньо багато передумов [14].

На даному етапі доцільним видається проектування та освоєння дрібносерійного виробництва таких електромобілів у два етапи, які передбачають:

- на I-му етапі – застосування імпортованих інтегрально-балкових тягових мостів з ТЕД асинхронного типу одного з європейських виробників та блоків свинцево-кислотних тягових АКБ типів VRLA GEL або VRLA AGM з метою мінімізації ринкової вартості електромобілів;

- на II-му етапі – створення і освоєння виробництва тягових електродвигунів і систем керування тяговим приводом та інтегрально-розрізних керовано-тягових та інтегрально-балкових тягових мостів, а також керованих та тримальних мостів з незалежною підвіскою коліс.

Для створення вітчизняних електромобілів малої вантажопідйомності на I-му етапі пропонується застосування кабіни півкапотного типу та колісної формули 4x2.1з. Параметри проектуваного електромобіля видаються наступними: вантажопідйомність – 1000 кг; габаритна довжина – 4,0 м; ширина кабіни – 1,5 м; типорозмір коліс – 6Jx15; типорозмір шин – 195/70R15C з допустимою навантагою на одинарне колесо 900 кгс.

Література

1. Electric vehicles. Setting a course for 2030. URL: <https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html> (дата звернення 03.08.2020).
2. P-1000. The fastest in its class. URL: <https://pilotcar.com.tr/en/> (дата звернення 07.09.2020).
3. Войтків С.В. Типи і класифікація кабін електромобілів малої вантажопідйомності. *Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2020 року*: зб. наук. праць. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 84-90.
4. Войтків С.В., Тараненко М.Є. Напрямки розвитку конструкцій електричних тягових приводів комерційних електромобілів на основі ведучих мостів балкового і порталного типів. *Автомобільний транспорт*. Зб. наук. праць. Харківський національний

автомобільно-дорожній університет. Харків, 2019. Випуск 45. С. 79-90. DOI: 10.30977/AT.2219-8342. 2019.44.0.79

5. Goupil G6. 100% elektryczny pojazd uzytkowy. URL: https://zeppelin.pl/wp-content/uploads/2020/06/202009-04v2-_G6_broszura-PL.pdf (дата звернення 05.08.2020).
6. Inzile. Pro4 Work. URL: <https://inzile.com/en/models/pro4-work/> (дата звернення 05.09.2020).
7. Elektro-Pritschenwagen für Afrika. URL: <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/acar-elektro-pritschenwagen-fuer-afrika-a-1167151.html#fotostrecke-307e0c64-0001-0002-0000-000000152172> (дата звернення 05.07.2020).
8. aCar – Der elektrische „Alleskönner“. URL: <https://www.tum.de/nc/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/details/34154/> (дата звернення 01.10.2020).
9. Technisches Datenblatt - aCar First Mover - Aufbau: Pritsche. URL: <https://evum-motors.com/wp-content/uploads/2020/08/aCar-FirstMover-Datenblatt-1.pdf> (дата звернення 01.07.2020).
10. Polish, electric mini truck 3,5 tons here is! URL: <https://melex.com.pl/en/news/polish--electric-mini-truck-3-5-tons-here-is-20.html> (дата звернення 17.09.2020).
11. EVUM Motors. Preisliste aCar First Mover. URL: <https://evum-motors.com/wp-content/uploads/2020/07/aCar-FirstMover-Preisliste.pdf> (дата звернення 03.08.2020).
12. Dostawczy Melex za 100 tys. zł. URL: https://logistyka.rp.pl/technologie/7645-dostawczy-melex-za-100-tys-zl?utm_source=rp&utm_medium=teaser_redirect (дата звернення 17.09.2020).
13. Pilotcar Tarafından Üretilen Yerli, Elektrikli Mini Ticari Araç Ekim Ayında Yollara Çıkıyor. (Pilotcar P-1000). URL: <http://teknocay.com/pilotcar-tarafından-uretilen-yerli-elektrikli-mini-ticari-arac-ekim-ayında-yollara-cikiyor-pilotcar-p-1000/> (дата звернення 01.10.2020).
14. Войтків С.В. Перспективи створення і розвитку електромобілів малої вантажопідйомності в Україні. *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ-2020). 18-29 травня 2020 року*: зб. доповідей. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 258-261.

References

1. Electric vehicles. Setting a course for 2030. Retrived from: <https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html> (accessed 03.08.2020).
2. P-1000. The fastest in its class. Retrived from: <https://pilotcar.com.tr/en/> (accessed 07.09.2020).
3. Vojtkiv S.V. Ty`py` i klasyfikaciya kabin elektromobiliv maloyi vantazhopidjmomnosti [Types and classification of light-duty electric vehicle

- cabins]. *Materialy` VIII-oyi mizhnarodnoyi naukovo-prakty`chnoyi internet-konferenciyi "Problemy` i perspekty`vy` rozvy`tku avtomobil`nogo transportu", 14-15 kvitnya 2020 roku: zb. nauk. pracz`.* (Vinny`cya: VNTU, 2020). [in Ukrainian].
4. Vojtkiv S.V., Taranenko M.Ye. Napryamky` rozvy`tku konstrukcij elektry`chny`x tyagovy`x pry`vodiv komercijny`x elektromobiliv na osnovi veduchy`x mostiv balkovogo i portal`nogo ty`piv [Focus areas for developing the design of electric driveshafts for commercial electric vehicles on the basis of beam and portal axles]. *Avtomobil`ny`j transport. Zb. nauk. pracz`.* Xarkivs`ky`j nacional`ny`j avtomobil`no-dorozhnyj universy`tet. (Xarkiv, 2019. Vy`pusk 45). [in Ukrainian]. DOI: 10.30977/AT.2219-8342. 2019.44.0.79
 5. Goupil G6. 100% elektryczny pojazd uzytkowy. Retrived from: https://zeppelin.pl/wp-content/uploads/2020/06/202009-04v2-_G6_broszura-PL.pdf (accessed 05.08.2020).
 6. Inzile. Pro4 Work. Retrived from: <https://inzile.com/en/models/pro4-work> (accessed 05.09.2020).
 7. Elektro-Pritschenwagen für Afrika. Retrived from: <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/acar-elektro-pritschenwagen-fuer-afrika-a-1167151.html#fotostrecke-307e0c64-0001-0002-0000-000000152172> (accessed 05.07.2020).
 8. aCar – Der elektrische „Alleskönner“. Retrived from: <https://www.tum.de/nc/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/details/34154/> (accessed 01.10.2020).
 9. Technisches Datenblatt - aCar First Mover - Aufbau: Pritsche. Retrived from: <https://evum-motors.com/wp-content/uploads/2020/08/aCar-FirstMover-Datenblatt-1.pdf> (accessed 01.07.2020).
 10. Polish, electric mini truck 3,5 tons here is! Retrived from: <https://melex.com.pl/en/news/polish--electric-mini-truck-3-5-tons-here-is-20.html> (accessed 17.09.2020).
 11. EVUM Motors. Preisliste aCar First Mover. Retrived from: <https://evum-motors.com/wp-content/uploads/2020/07/aCar-FirstMover-Preisliste.pdf> (accessed 03.08.2020).
 12. Dostawczy Melex za 100 tys. zł. Retrived from: https://logistyka.rp.pl/technologie/7645-dostawczy-melex-za-100-tys-zl?utm_source=rp&utm_medium=teaser_redirect (accessed 17.09.2020).
 13. Pilotcar Tarafından Üretilen Yerli, Elektrikli Mini Ticari Araç Ekim Ayında Yollara Çıkıyor. (Pilotcar P-1000). Retrived from: <http://teknocay.com/pilotcar-tarafından-uretilen-yerli-elektrikli-mini-ticari-arac-ekim-ayında-yollara-cikiyor-pilotcar-p-1000/> (accessed 01.10.2020).
 14. Vojtkiv S.V. Perspekty`vy` stvorenniya i rozvy`t-ku elektromobiliv maloyi vantazhopidjmomnosti v

Ukrayini [Prospects for the creation and development of light-duty electric vehicles in Ukraine]. *Materialy` XLIX naukovo-texnichnoyi konferenciyi pidrozdiliv Vinny`cz`kogo nacional`nogo texnichnogo universy`tetu (NTKP VNTU-2020). 18-29 travnya 2020 roku: zb. dopovidej.* (Vinny`cya: VNTU, 2020). [in Ukrainian].

Войтків Станіслав Володимирович¹, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytktivsv@ukr.net

¹Науково-технічний центр "Автополіпром", 79022, Україна, м Львів, вул. Городоцька, 174.

Trends and prospects for the development of light-duty electric vehicles

Abstract. Problem. *Today one of the urgent tasks is the creation and organization of production of category N1 electric vehicles of low carrying capacity in Ukraine. Therefore, research is needed to determine the development trends of such electric vehicles for the correct choice of the type of cab, wheel arrangement, types of controlled and driven axles, carrying capacity and their other technical parameters. Goal.* *The aim of the work is to analyze the trends and assess the prospects for organizing small-scale production of low-capacity electric vehicles of category N1 at factories in Ukraine, as well as identifying ways to create promising competitive designs for such electric vehicles. Methodology.* *Based on the analysis of the technical parameters and characteristics of light-duty electric vehicles of European manufacturers, created in 2019-2020, the layout diagrams were analyzed according to the wheel formula and type of driver's cabins, the design of the axles used and the suspensions of their suspension wheels. On the basis of the criteria and the proposed formulas, indicators of the technical efficiency of these electric vehicles are determined. Results.* *The development tendencies are determined and directions and stages of creating the structures of light-duty electric vehicles at the factories of Ukraine are proposed. The layout diagrams of the designed electric vehicles according to the type of the driver's cabin and according to the wheel formula, as well as their main technical parameters, are recommended. Originality.* *Criteria for evaluating the constructive efficiency of light-duty electric vehicles and formulas for determining their performance are proposed. Practical value.* *A program for the creation of domestic electric vehicles of low carrying capacity in two stages is proposed, using at the first stage imported integral beam-type driving axles with an asynchronous traction motor and steered axles with independent wheel suspension, a layout diagram and basic parameters are recommended. The second stage of the program provides for the creation of an organization for the production of domestic bridges and traction motors.*

Key words: light duty electric vehicle, drive axle, traction electric motor, traction batteries, wheel arrangement.

Voytkiv Stanislav¹, Cand. of Science, General Designer, The Deserved Machine Engineer of Ukraine, tel. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytkivsv@ukr.net,

¹Scientific and technical Center "Autopoliprom", 79022, Ukraine, Lviv, Gorodotskaya str., 174.

Тенденции и перспективы развития электромобилей малой грузоподъемности

Аннотация. Проанализированы компоновочные схемы и конструктивные особенности современных моделей электромобилей малой грузоподъемности категории N1 европейских производителей, созданных в 2019-2020 годах. Определены коэффициенты удельной номинальной и пиковой

мощности электромобилей, грузоподъемности и полезной длины базовых шасси. Обозначены перспективы создания и организации мелкосерийного производства электромобилей малой грузоподъемности в Украине. Предложены этапы создания их конструкций и основные технические параметры.

Ключевые слова: электромобиль малой грузоподъемности, тяговый мост, тяговый электродвигатель, тяговые АКБ, колесная формула.

Войтків Станіслав Володимирович¹, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівельник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytkivsv@ukr.net

¹Научно-технічний центр "Автополіпром", 79022, Україна, г. Львів, ул. Городоцька, 174.

МОДЕЛЬ ТЕРТЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУХОГО ФРИКЦІЙНОГО ЗЧЕПЛЕННЯ

Михалевич М. Г.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. В роботі проаналізовано існуючі математичні моделі, що використовуються для відтворення сили тертя. Наведені типові проблеми існуючих математичних моделей. Система рівнянь, що пропонується має одну змінну стану – швидкість ковзання. В роботі наведено результати класичного тесту «на сповзання» для моделей тертя, що відомі та тієї, що пропонується для моделювання зчеплення та апаратів керування ним. Наприкінці роботи дано порівняння моделювання роботи зчеплення з використанням простої моделі та удосконаленої. Зроблені висновки дають якісну та кількісну оцінку запропонованої математичної моделі тертя та вказують на майбутні шляхи її вдосконалення та сфери використання.

Ключові слова: модель тертя, ефект Штрібека, модель зчеплення, ефект сповзання.

Вступ

Вимоги до якості та точності відтворення робочих процесів, що відбуваються в елементах автомобіля постійно підвищуються. Це особливо актуально під час моделювання робочих процесів із виключною роллю тертя. Тертя, як елемент дисипації енергії в системі може бути відтворено багатьма способами в залежності від необхідних умов завдання. Робота систем керування таких складових як зчеплення, гальмова система, пневматичних та електропневматичних апаратів гальмової системи та виконавчих пневматичних циліндрів та клапанів базується на законах Ньютона та газової динаміки. В той самий час, якісне відтворення фізичних властивостей сил тертя є безумовно визначальним при моделюванні, коли мова йде не тільки про якісне відтворення робочого процесу, а й про кількісну оцінку вихідних параметрів компоненту, що досліджується. При стаціонарному процесі тертя описується доволі простими математичними залежностями. Але в багатьох моделях, де є необхідність якісного відтворення робочого процесу, тертя суттєво не стаціонарне, такі моделі мають значно складніші системи рівнянь як для запису так і для розрахунків з багатьма змінними стану. Таким чином вдосконалення математичної моделі тертя є актуальним завданням під час дослідження апаратів та систем з ключовою роллю тертя. Саме до таких складових автомобіля відноситься зчеплення. Тому дана робота направлена на вдосконалення математичної моделі тертя саме для зчеплення та його елементів керування.

Аналіз публікацій

Класична модель тертя між фрикційними накладками та ведучими дисками зчеплення описана у [1] передбачає дві фази моделювання ковзання та замкнений стан. У фазі ковзання сила тертя моделюється у вигляді Кулонівського тертя із використанням функції $y = \text{sign}(x)$ та має вигляд рівнянь (1) та (2).

$$T_{fd} = \text{com} \cdot T_{fd \max} ; \quad (1)$$

$$T_{fs} = \text{com} \cdot T_{fs \max} , \quad (2)$$

де T_{fd} та T_{fs} – крутний момент тертя у динамічному та статичному стані відносного проковзування відповідно, Н·м;

com – командний сигнал на керування зчепленням, який визначає долю максимального крутного моменту, що задіяний в конкретний проміжок часу.

Намагання відтворити автоматичний перехід між замкненим станом та станом ковзання має цілком логічний запис (3), але під час моделювання відтворюється некоректно, бо за відсутності відносної швидкості ковзання сила тертя не ж постійно.

$$T_c = \begin{cases} T_{fd} \cdot \text{sign}(\omega_r) & \xrightarrow{\text{якщо}} \omega_r \neq 0 \\ T_{app} & \xrightarrow{\text{якщо}} \omega_r = 0 \end{cases} , \quad (3)$$

де T_{app} – момент який виникає на фрикційних накладках після замикання зчеплення, Н·м.

Рівняння (1)-(3) мають ряд суттєвих недоліків, які не тільки не відтворюють реальність процесу тертя а й можуть провокувати ривки під час зміну станів зчеплення. До таких недоліків відносяться різкий перехід між динамічним та статичним станом у моменті тертя, незалежність моменту тертя від відносної кутової швидкості ковзання та точка невизначеного стану під час $\omega_r = 0$. виправити ці недоліки можливо застосувавши моделі в'язкого тертя. Найбільш вдала з них відтворюється загальновідомою функцією (4). Завдяки такому підходу функція тертя не містить розривів:

$$T_c = T_{fd} \cdot \tanh\left(2 \cdot \frac{\omega_r}{\omega_0}\right), \quad (4)$$

де ω_0 – значення кутової швидкості яке обмежує зону в'язкого тертя.

Значення отримані за формулою (4) відповідають деяким експериментальним дослідженням тертя між дисками зчеплення [2]. Класичний вигляд залежності сили тертя від швидкості відносного руху двох контактуючих поверхонь забезпечується рівнянням (5), що здатне відтворити не тільки в'язкий характер нарощування сили тертя, а й ефект Штрібека (Stribeck effect) [1, 3], як класичний ефект сухого тертя.

$$T_f = \text{sign}(\omega_r) \cdot T_{fd} + \text{sign}(\omega_r) \cdot (T_{fs} - T_{fd}) \cdot e^{-\left(\frac{|\omega_r|}{\omega_s}\right)^2} \quad (5)$$

Всі перераховані моделі ні як не враховують деформацію контактуючих поверхонь і зміну сили у контактній парі при цьому, а так під час фази моделювання коли відносна швидкість дорівнює нулю маємо або невизначеність або момент (силу) тертя рівну нулю. Для зчеплення цей ефект настає коли відбувається зміна напрямку дії крутного моменту під час переходу на гальмування двигуном. Із зазначеними проблемами стикалися достатньо давно тому, на сьогодні, з'явилися декілька моделей тертя які покликані вирішити їх. До них відносяться моделі тертя Карноппа (Karnopp model) [4], модель ЛуГре (LuGre Lund-Grenoble) [5], та еласто-пластична модель [6]. Всі перелічені моделі мають складний опис та багато змінних стану. Остання, на відміну від моделі ЛуГре, не

має ефекту сповзання під дією гармонічної сили, що менша за статичну силу тертя. Натомість еласто-пластична модель найбільш складна за описом поміж існуючих моделей тертя.

Мета та постановка задачі

Модель тертя, у контакті між ведучими та веденими дисками зчеплення, є базовим елементом моделі зчеплення. Враховуючи проблемність простих моделей [7] та складність більш сучасних [8] метою роботи є вдосконалення математичної моделі тертя [7, 9] шляхом доопрацювання формули яка описує ефект Штрібека [7, 10, 11] та виключення ефекту «сповзання» [12].

Модель тертя

Систему рівнянь за якою визначається момент тертя між дисками зчеплення запишемо у вигляді системи рівнянь (6) [13]. Базове, перше, рівняння цієї системи структурно складається з двох доданків. Другий доданок схожий на рівняння, що відтворюють ефект Штрібека в багатьох моделях, таких як LuGre або еласто-пластичної моделях [6, 12], пропорційна відносній швидкості ковзання контр тіл та відповідає за відтворення сили тертя в режимі ковзання. Перший доданок забезпечує зміну сили тертя в режимі пружних деформацій, в якому сила тертя пропорційна відносному зсуву контр тіл пари тертя, рис. 1, рис. 2:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_c(\omega_r) = T_c^{stat} \cdot \tanh\left(\frac{\int \omega_r dt}{\phi_0} + k_\omega \cdot \frac{\omega_r}{\omega_s}\right) - \\ - \text{sign}\left(\frac{\omega_r}{\omega_s}\right) \cdot (T_c^{stat} - T_c^{din}) \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{|\omega_r|}{\omega_s}\right)^2}\right), \quad (6) \\ T_c^{din} = k_{din} \cdot T_c^{stat} \\ \int \omega_r dt = \phi_0 \cdot \text{sign}\left(\int \omega_r dt\right) \xrightarrow{\text{якщо}} \omega_r = 0 \\ T_c^{stat} = F_n \cdot \mu \cdot R_{cp} \cdot i \end{array} \right.$$

де T_c^{stat} – момент тертя зчеплення у разі відсутності відносного проковзування його дисків, Н·м;

T_c^{din} – момент тертя зчеплення у разі наявності відносного проковзування його дисків, Н·м;

k_ω – коефіцієнт впливу внутрішнього тертя;

k_{din} – коефіцієнт зниження моменту зчеплення в динаміці;

ϕ_0 – відносний кут повороту дисків зчеплення в межах якого спостерігається пружна деформація контактних пар, рад;

ω_s – відносна кутова швидкість дисків зчеплення яка розмежує статичний та динамічний режим тертя, c^{-1} ;

μ – коефіцієнт тертя;

R_{cp} – середній радіус тертя веденого диску зчеплення, м;

i – кількість поверхонь тертя.

В початковий момент інтегрування початкові значення параметрів таких як ω_r та $\int \omega_r dt$ дорівнюють нулю.

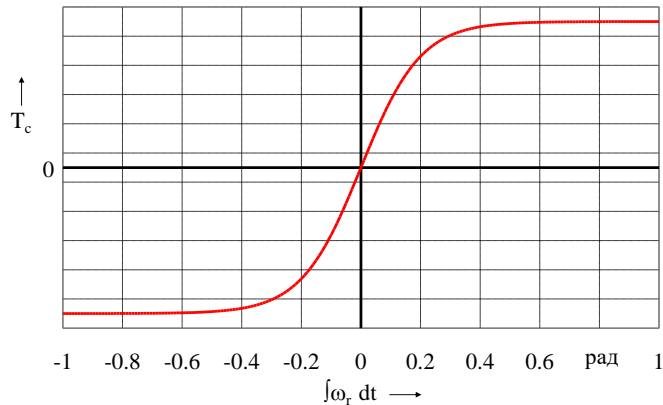


Рис. 1. Характер зміни моменту тертя моделі (6) за умови $\omega_r < \omega_s$

Під час одноразового циклу рушання з місця зміна температури не так сильно впливає на робочій процес бо зазвичай диски зчеплення

проектуються таким чином щоб температура деталей, за один цикл рушання, не зростала більш ніж на 10 - 20 °C [6].

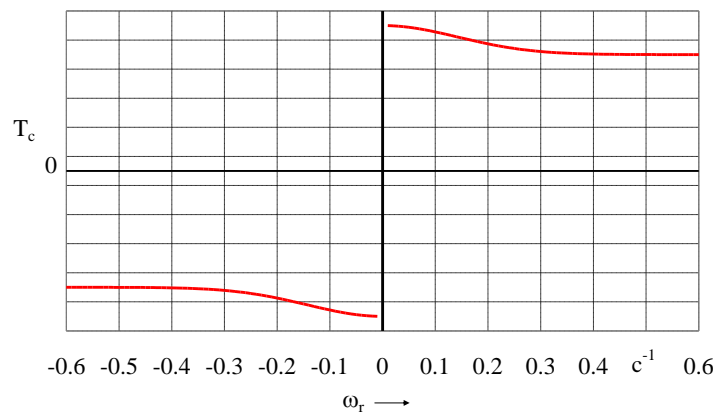


Рис. 2. Характер зміни моменту тертя моделі (6) за умови $\omega_r \geq \omega_s$

Натомість модель (6) має можливість врахування впливу температури на коефіцієнт тертя. Для цього T_c^{stat} необхідно представити у якості функції від температури дисків ϑ . $T_c^{stat} = f(\vartheta)$ [14]. Крім того слід додати рівняння зміни температури фрикційних накладок та ведучих дисків зчеплення [15]. Таким чином особливістю запропонованої моделі є спроможність забезпечувати пружну дефор-

мацію на початку нарощування моменту тертя, наявність ефекту Штрібека при збільшенні відносної кутової швидкості дисків зчеплення [6] та повернення до пружного стану при зниженні швидкості проковзування за рахунок обнуління інтегратора. Крім того така модель має дуже простий вигляд на відміну від відомих моделей Карноппа, LuGre, еласто-пластичної [12, 6]. В якості верифікації моделі (6) проведемо тест на «сповзання»

який наводиться в [6, 12]. Суть тесту полягає у тому, що до тіла, яке знаходиться в стані спокою прикладається змінна сила (рис. 3). На першому етапі сила, що прикладається, перевищує силу тертя спокою F_s . Це повинно привести до зміщення контртіл одне відносно одного відповідно до закону Ньютона. Потім діюча сила зменшується та приймає вигляд синусоїди. На цьому етапі значного зміщення контртіл не відбувається оскільки максимальна сила тертя спокою, яка утримує їх від переходу до фази ковзання більша за силу збурення. Після двадцятої секунди сила збурення відсутня і контртіла залишаються у тому стані в якому вони залишилися після переміщення у першій фазі сили збурення.

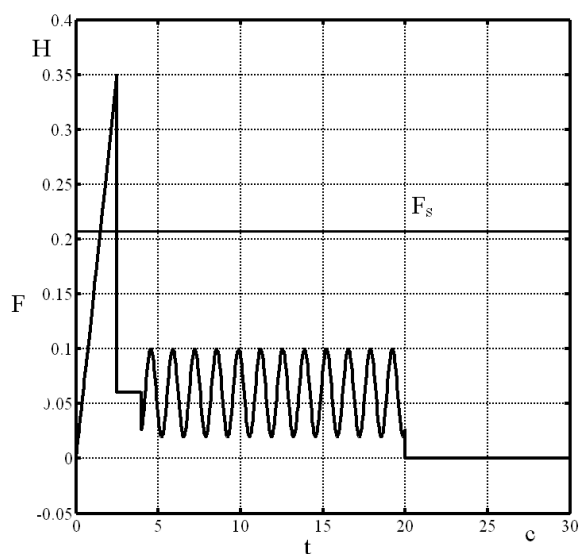
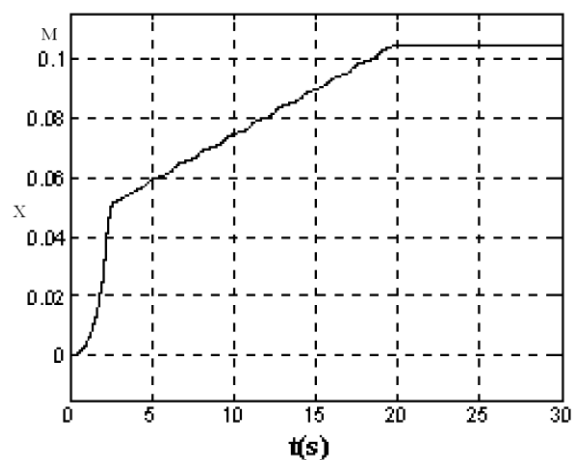


Рис. 3. Сила що збурює тіло під час проведення тесту на «сповзання» [12]

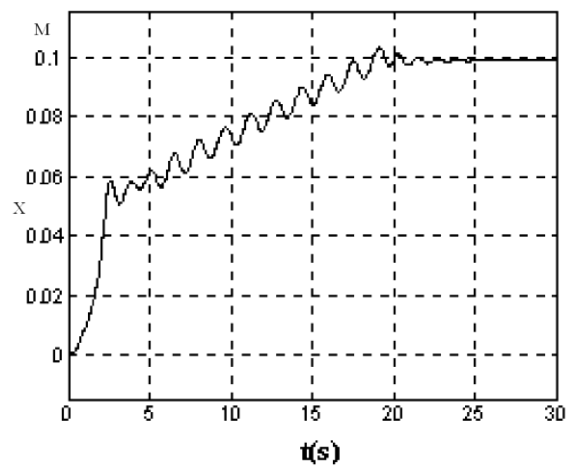
У [12, 16] наводяться результати реакції на збурення трьох моделей тертя. Реакція статичної моделі наводиться на рис. 4,а. Реакція моделі LuGre наводиться на рисунку 4,б. Реакція еласто-пластичної моделі наводиться на рис. 3,в.

Як видно, статична модель та модель LuGre демонструють «сповзання» під дією сили коливального характеру, що менша за силу статичного тертя на відміну від еласто-пластичної моделі. Модель Лойвен [17] так само як і еласто-пластична модель не демонструє сповзання під час тесту та більш точно відображає гістерезисну залежність, але має складний опис та передбачає велику кількість змінних внутрішнього стану в той час як модель LuGre та еласто-пластична модель мають лише одну змінну стану [13].

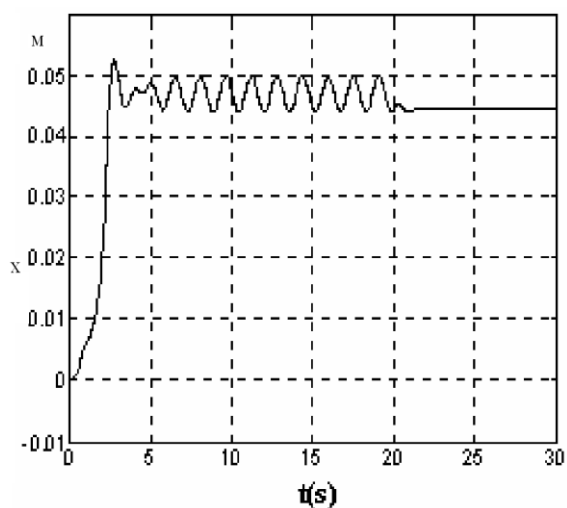
Модель (6) так само як і Лойвен та еласто-пластична моделі під час тесту на «сповзання» демонструє відсутність сповзання під дією гармонічної сили, що менша за максимальну силу тертя у фазі спокою (рис. 5).



а



б



в

Рис. 4. Реакція на збурення моделей тертя при проходженні тесту на «сповзання» [12]: а – реакція моделі LuGre; б – реакція статичної моделі; в – реакція еласто-пластичної моделі

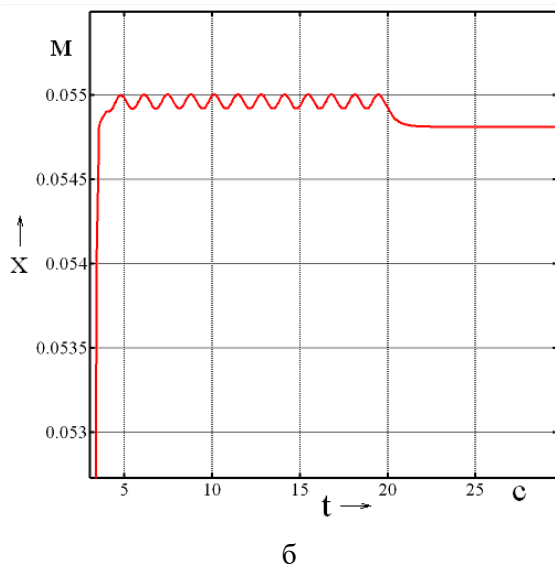
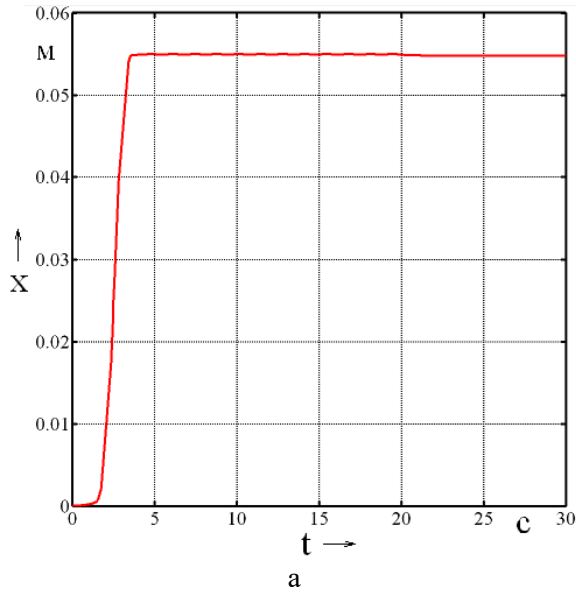


Рис. 5. Реакція на збурення моделі (6): а – реакція моделі (6); б – збільшена ділянка коливань в зоні пружної деформації

Для спрощення порівняння з існуючими моделями тестування проводилось в лінійній постановці. Тобто при поступальному руху контактуючих тіл. Продемонструємо додаткові властивості моделі (6). Під дією циклічного навантаження можна спостерігати гістерезис та ефект Штрібека (рис. 6 та 7).

Як видно, модель демонструє гістерезисні втрати як у режимі пружних деформацій так і в режимі ковзання. В режимі ковзання слід відмітити вихід на сталий режим за декілька циклів, що відповідає дійсності та є адекватною поведінкою моделі.

Відмінністю моделі (6) є суттєво спрощена математична структура та наявність лише однієї змінної. Реалізація моделі тертя (6) у

середовищі Simulink® зображена на рис. 8. Перевантаження інтегратора, що забезпечує визначення кута повороту для першого доданку основного виразу моделі (6) забезпечується відповідним портом інтегратора.

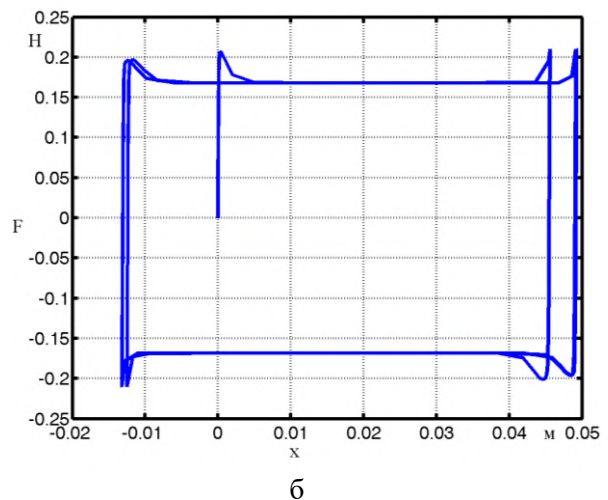
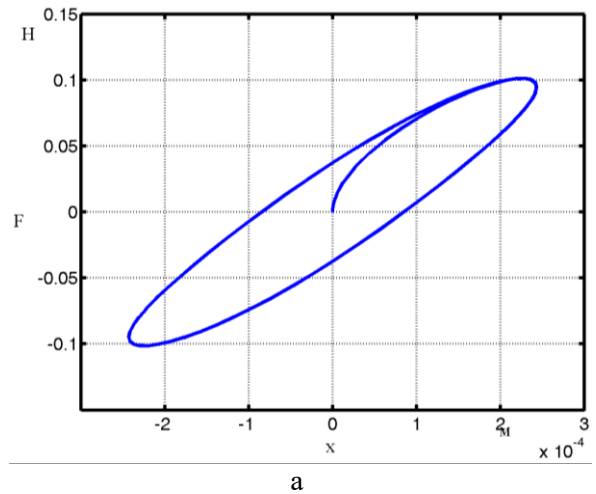


Рис. 6. Гістерезис моделі (6) при циклічному збуренні у функції переміщення: а – фаза пружних деформацій; б – фаза ковзання

Завдяки блоку «Hit Crossing» формується функція, що приймає значення одиниці у випадку коли відносна швидкість ω_r змінює знак або дорівнює нулю у всіх інших випадках функція приймає значення нуль.

Завдяки режиму «rising» параметру «External reset» інтегратора перевантаження інтегратора відбувається при переході прямокутної функції тільки з нуля на одиницю. Таким чином, разом із сформованою прямокутною функцією перевантаження інтегратора ($\int \omega_r dt = \phi_0$) під час зниження керуючого сигналу відповідає умові $\omega_r = 0$.

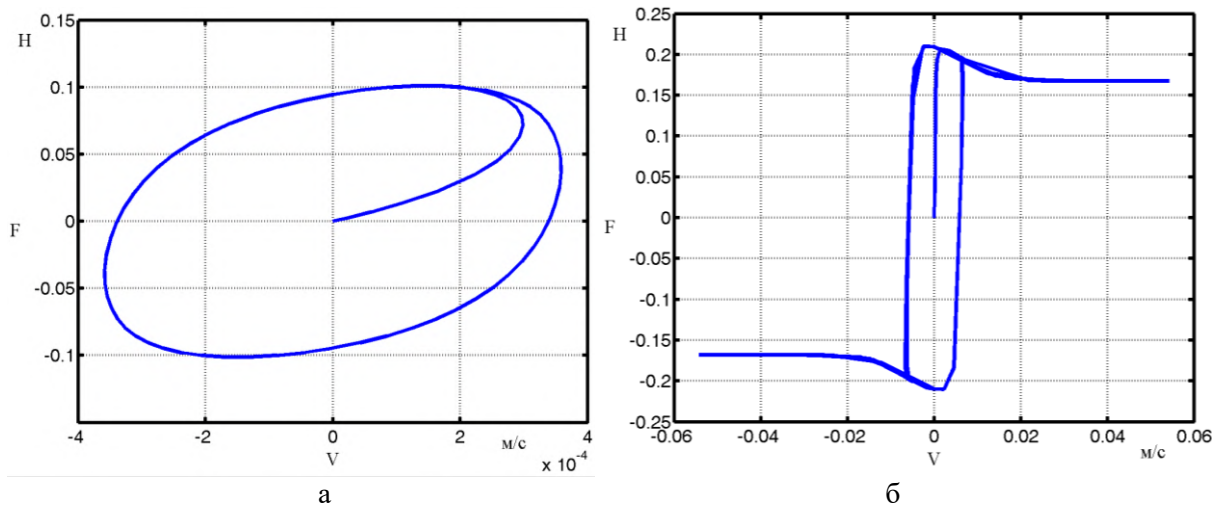


Рис. 7. Гістерезис моделі (6) при циклічному збудженні у функції швидкості:
а – фаза пружних деформацій; б – фаза ковзання

При порівнянні двох способів моделювання, у контексті більш глобальної моделі, при використанні моделі (3) обчислення зупиняється при переході від режиму ковзання до режиму передачі крутного моменту без ковзання дисків зчеплення (рис. 9). Для вирішення цієї проблеми на практиці використовують різні системи рівнянь на різних режимах моделювання забезпечуючи своєчасний перехід між ними та передачу початкових даних.

Зупинка моделювання відбувається за рахунок нескінченного коливального процесу який можна виявити представивши данні моделювання в залежності від номеру пари даних масив (рис. 9).

Раптова поява максимальної сили тертя не відповідає рівновазі рівняння Ньютона та спричиняє коливальний перехід між двома станами. Натомість використання моделі (6) звільняє від необхідності вирішувати окремі математичні моделі для моделювання відповідних режимів (рис. 10).

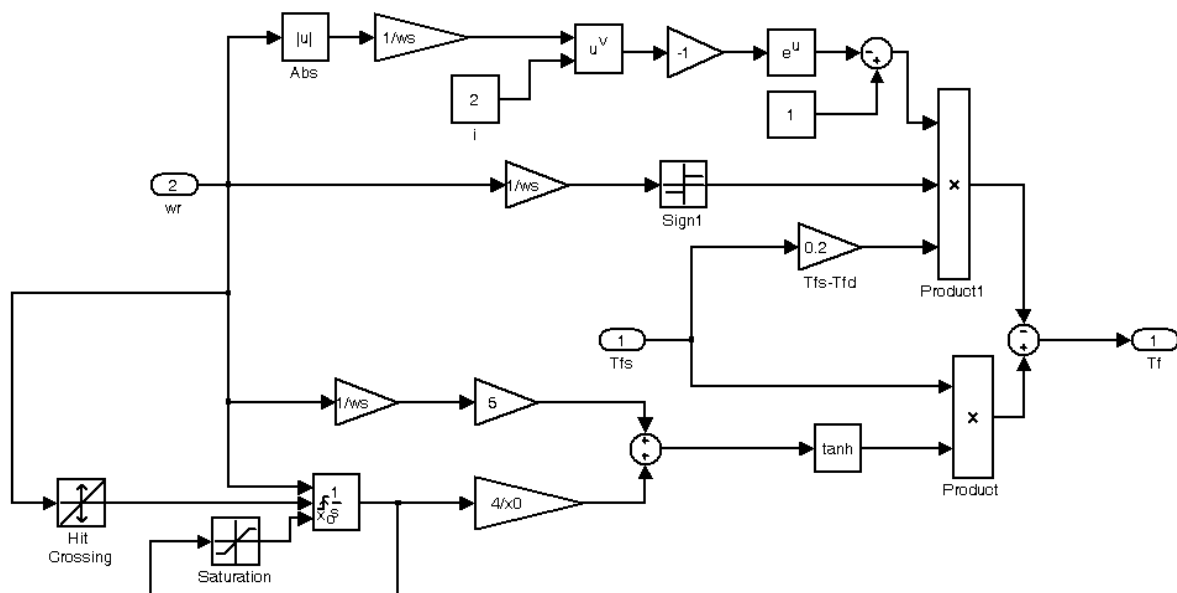


Рис. 8. Реалізація моделі тертя (6) у середовищі Simulink®

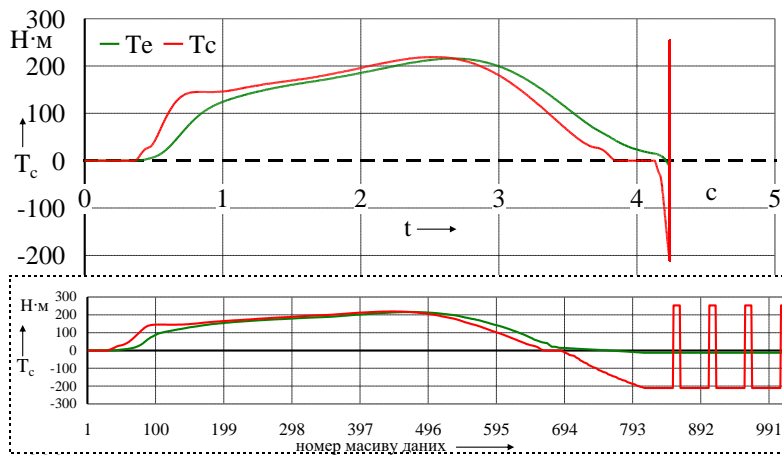


Рис. 9. Відображення процесу моделювання із використанням моделі (3) та (5)

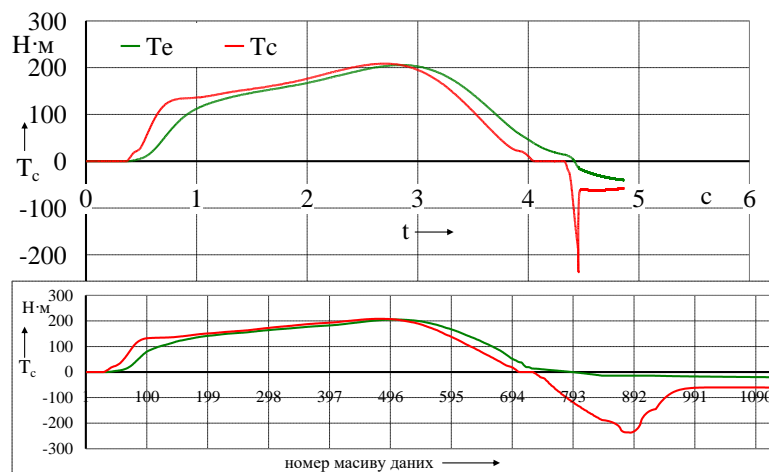


Рис. 10. Відображення процесу моделювання із використанням моделі (6)

Таким чином представлення процесу моделювання, за моделлю (6) у вигляді масиву даних (рис.10) дає змогу спостерігати плавну зміну моменту тертя. У часовому відтворенні робочого процесу можемо спостерігати швидку зміну сили тертя.

Висновки

Наведена в роботі модель дозволяє з мінімальними затратами часу на проектування моделі, відтворювати робочий процес із визначною роллю тертя більш якісно. Насамперед забезпечує модель єдиною системою рівнянь відображаючи робочий процес істотно.

У перспективі, функціонал наведеної математичної моделі може бути розширений шляхом доопрацювання в частині впливу температури навколишнього середовища та контактуючих поверхонь контр тіл.

Література

1. Bataus M., Maciac A., Oprean M., Vasiliu N. Automotive clutch models for real time simulation. THE PUBLISHING HOUSE OF THE ROMANIAN ACADEMY PROCEEDIN

GS OF THE ROMANIAN ACADEMY. Series A. Volume 12. Number 2/2011. p. 109–116.

2. Senatore A., Ruggiero A., Pisaturo M. Models for pressure control of automated dry clutches: temperature influence on frictional and elastic behaviour. ACTA TECHNICA CORVINIENSIS. Bulletin of Engineering, Tome VI, 2013. FASCICULE 4. p. 55 – 58.
3. Andersson S., Soderberg A., Bjorklund S., Friction models for sliding dry, boundary and mixed lubricated contacts. Tribology International. 40. 2007. p. 580–587.
4. Karnopp D., Computer simulation of stick/slip friction in mechanical dynamic systems. Trans. ASME. J. of Dynamic Systems, Measurement and Control. 107. March 1985. p. 100-103
5. Canudas-De-Wit C. Comments on «A New Model for Control of Systems with Friction. IEEE Transactions on Automatic Control. 1998. V.43. №.8. p. 1189 – 1190.
6. Dupont P., Hayward V., Armstrong B., Altpefer F. Single state elasto-plastic friction models. IEEE transactions on automatic control. Vol. 47. No. 5, May 2002. p. 787 – 792.
7. Kern R. H., Gao C.-T., Nitsche R. Reibkraftkompensation mittels Fuzzy-Logik Automatisierungstechnischepraxis. 1995. V.37. p. 50.

8. Хлебалин Н. А., Костиков А. Ю. Моделирование трения и компенсация его негативного влияния в процедуре автоматизированной настройки регулирующего устройства технологической машины. Тр. междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'2003. Москва. ИПУ РАН, 2003. С. 1821–1849. (CD ISBN 5-201-14948-0)
9. Armstrong B. Challenges to Systematically Engineered Friction Compensation. Proc. of IFAC Workshop on Motion Control. Munich. 1995. p. 21–30.
10. Крагельский И. В., Гитис Н. В. Фрикционные автоколебания. Москва. Наука. 1987. 183 с.
11. Техническая кибернетика. Под ред. В.В. Солодовникова. кн. 3. Москва. Машиностроение. 1967. 770 с.
12. Хлебалин Н. А., Костиков А. Ю., Библиотека моделей трения в Simulink (опыт создания и использования). Труды II научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». Секция 5. Моделирование в Simulink. 2000 С. 1611 – 1633.
13. Михалевич М. Г. Зчеплення автотранспортних засобів. Математичне моделювання та автоматизація: монографія. Харків. ХНАДУ. 2020. 178 с.
14. Захарик Ю.М. Комплексный закон управления сцеплением. Автомобильная промышленность. 2004. №9 с. 23-25.
15. Myklebust A. Dry Clutch Modeling, Estimation, and Control. Doctoral Dissertation. №. 1612. Linköping. Sweden 2014. 180 p.
16. Ritter C. S., Valdiero A. C., Andrighetto P. L., Zago F., Endler L.. Nonlinear characteristics systematic study in pneumatic actuators. ABCM Symposium Series in Mechatronics. Vol. 4. p. 818 – 826.
17. Swevers J., Al-Bender F., Ganseman C.G., Prajogo T. An integrated friction model structure with improved presliding behavior for accurate friction compensation. IEEE Transactions on Automatic Control. V.45. N.4. April 2000. p. 675–686.
18. and mixed lubricated contacts. Tribology International. 40. 580–587.
19. Karnopp D., (1985). Computer simulation of stick/slip friction in mechanical dynamic systems. Trans. ASME. J. of Dynamic Systems, Measurement and Control. 107. March. 100-103.
20. Canudas-De-Wit C. (1998). Comments on «A New Model for Control of Systems with Friction. IEEE Transactions on Automatic Control. 43. 8. 1189 – 1190.
21. Dupont P., Hayward V., Armstrong B., Altpeter F. (2002). Single state elasto-plastic friction models. IEEE transactions on automatic control, 47. 5. 787 – 792.
22. Kern R. H., Gao C.-T., Nitsche R. (1995). Reibkraftkompensation mittels Fuzzy-Logik Automatisierungstechnischepraxis. 37. 50.
23. Hlebalin N. A., Kostikov A. YU. (2003). Modelirovanie treniya i kompensaciya ego negativnogo vliyaniya v procedure avtomatizirovannoy nastrojki reguliruyushchego ustrojstva tekhnologicheskoy mashiny. [Modeling of friction and compensation of its negative influence in the procedure of automated adjustment of the control device of a technological machine.] Tr. mezhdunarod. konf. «Identifikaciya sistem i zadachi upravleniya» SICPRO'2003. Moskva. IPU RAN, 1821–1849. (ISBN 5-201-14948-0) [in Russian]
24. Armstrong B. (1995). Challenges to Systematically Engineered Friction Compensation. Proc. of IFAC Workshop on Motion Control. Munich. 21–30.
25. Kragel'skij I. V., Gitis N. V. (1987). Frikcionnye avtokolebaniya. [Frictional self-oscillations] Moskva. Nauka. [in Russian]
26. Solodovnikov V.V. (1967). Tekhnicheskaya kibernetika. [Technical cybernetics] kn. 3. Moskva. Mashinostroenie. [in Russian]
27. Hlebalin N. A., Kostikov A. YU., (2000). Biblioteka modelej treniya v Simulink (opyt sozdaniya i ispol'zovaniya). [Library of friction models in Simulink (experience of creation and use)]. Trudy II nauchnoj konferencii «Proektirovanie inzhenernykh i nauchnykh prilozhenij v srede MATLAB». Se-kciya 5. Modelirovanie v Simulink. 1611 – 1633. [in Russian]
28. Mykhalevych M.H. (2020) Zchepлення автотранспортних засобів. Математичне моделювання та автоматизація [Clutch of vehicles. Mathematical modeling and automation monohrafiia]. Kharkiv. KhNADU. [in Ukraine]
29. Zakharik YU.M. (2004). Kompleksnyj zakon upravleniya scephleniem. [Complex clutch control principle]. Avtomobil'naya promyshlennost'. 9. 23-25. [in Russian]
30. Myklebust A. (2014). Dry Clutch Modeling, Estimation, and Control. Doctoral Dissertation. №. 1612. Linköping. Sweden.

References

1. Bataus M., Maciac A., Oprean M., Vasiliu N. Automotive clutch models for real time simulation. (2011). THE PUBLISHING HOUSE OF THE ROMANIAN ACADEMY PROCEEDINGS OF THE ROMANIAN ACADEMY. Series A. 12 (2). 109–116.
2. Senatore A., Ruggiero A., Pisaturo M. (2013). Models for pressure control of automated dry clutches: temperature influence on frictional and elastic behaviour. ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering, Tome VI, FASCICULE. 4. 55 – 58.
3. Andersson S., Soderberg A., Bjorklund S., (2007). Friction models for sliding dry, boundary

16. Ritter C. S., Valdiro A. C., Andrighetto P. L., Zago F., Endler L. Nonlinear characteristics systematic study in pneumatic actuators. ABCM Symposium Series in Mechatronics. 4. 818 – 826.
17. Swevers J., Al-Bender F., Ganseman C.G., Prajogo T. (2000). An integrated friction model structure with improved presliding behavior for accurate friction compensation. IEEE Transactions on Automatic Control. 45. 4. 675–686.

Михалевич Микола Григорович¹, к.т.н., доц. каф. автомобілів ім. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com, тел. +38 050-343-18-27.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Модель трения для моделирования рабочего процесса сухого фрикционного сцепления

Аннотация. В работе проанализированы существующие модели трения. Отмечается их значительная сложность и присутствие, в некоторых эффекта «сползания». Предложена усовершенствованная модель трения с одной переменной состояния воспроизводящая эффект Штрибека, гистерезис и не демонстрирующая «сползание» на классическом тесте. Приведены результаты моделирования как в типовых режимах работы модели отдельно, так и в составе комплексной модели сцепления.

Ключевые слова: модель трения, эффект Штрибека, модель сцепления, эффект сползания.

Михалевич Николай Григорьевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобилей им. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com, тел. +38 050-343-18-27.

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

The model of friction for dry clutch working process simulation

Abstract. Problem. Existing models used to reproduce the friction force during mathematical modeling are analyzed in the paper. The urgency of improving such models is shown. Typical problems of existing mathematical models are given. The analysis revealed that most of the models that combine the description of the mode of elastic deformations during the sticking of contact bodies together and the sliding mode with reproduction of the Stribeck effect and

hysteresis have many state variables and a significant number of equations and conditions of application of variables. **Goal.** The goal is to improve complex modern models of friction in terms of reducing state variables and eliminating the drifting effect. **Methodology.** Methods of research and analysis of information, analytical methods of solving differential equations were used. During the formation of the equations of the mathematical model, the methods of divergence, transformation, convergence and harmonization were used. **Results.** The paper presents a mathematical model of friction and the logic of its construction. The results of the classic “drift” test for the known friction models and the one proposed for modeling the clutch and its control devices are given in the work. The block diagram of the friction model in Simulink and the simulation results in test modes are also presented to illustrate the reproduction of the model of the Stribek effect and hysteresis in the mode of elastic deformations without sliding of bodies and in the mode of sliding of counter bodies. The principle of combining two modes of modeling laid down in a mathematical model is graphically illustrated. **Originality.** The proposed system of equations has one state variable - the sliding speed. Additional parameters required to ensure the mode of elastic deformation are determined based on the sliding speed. **Practical value.** At the end of the work, a comparison of the simulation of the clutch operation using a simple model and an advanced one is given. Emphasis is placed on the possibility of using a single system of equations to simulate the operation of the clutch in the mode of slipping and moving the car and in the mode of further movement without slipping the clutch discs. The reason for stopping the calculation by the solver when using the model of friction with breakpoints is qualitatively shown. The conclusions made give a qualitative and quantitative estimation of the proposed mathematical model of friction and indicate the future steps of its improvement and use.

Key words: mathematical model of friction, Stribeck effect, mathematical model of clutch, effect of slipping.

Mykhalevych Mykola¹, Ph.D., Assoc. Prof., automobiles Department named A.B. Gredeskul, mkolyag@gmail.com, tel. +38 050-343-18-27.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

МОДИФІКАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГСУ GM VOLTEC ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Абраменко В. Г.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Стаття присвячена системам охолодження гібридних силових установок. Розглянуто основні проблеми та недоліки класичних систем охолодження. Здійснено аналіз основних вузлів та агрегатів системи охолодження з метою подальшого покращення ефективності системи. Запропонована схема покращення існуючої системи охолодження серійного автомобіля що призведе до збільшення ефективності гібридної силової установки.

Ключові слова: гібрид, система охолодження, електродвигун, двигун внутрішнього згорання, гібридна силова установка, General Motors, GM Voltec.

Вступ

Система охолодження призначена для відводу надлишок тепла і підтримання нормального теплового стану двигуна. Нормальне температурний стан двигуна – це стан двигуна при якому температура основних деталей сприяє протіканню робочого процесу в найбільш сприятливих умовах і в той же час забезпечується висока працездатність і довговічність двигуна [1-3].

Для різних типів двигунів характерні різні теплові показники, робочі температури одного двигуна можуть бути несприятливими для іншого, основна задача сучасних інженерів – розробка такої системи охолодження, яка була б ефективна у роботі і у той же час була б дешева у виробництві і комфортна у обслуговуванні.

ДВЗ, як і тяговий електропривод може охолоджуватися трьома способами: рідинним, повітряним і комбінованим [4-9].

Аналіз публікацій

Щодня тисячі інженерів намагаються вдосконалити існуючі системи охолодження двигунів усіх типів, за останній час було винайдено кілька принципово нових систем. Свого роду революцію у 90-х роках здійснили японські інженери, вони запустили гібрид у маси, першою спробою були Honda Insight та Toyota Prius, інженери цих японських автовиробників вигадували інноваційні схеми систем охолодження, хоча гібридні схеми були різними, самі системи охолодження були схожими [10]. Першим інноватором була корпорація General Motors (GM) із своєю моделлю Chevrolet Volt – гібрид принципово нової схеми, який більше електромобіль ніж автомобіль з ДВЗ, з розробкою системи охолодження якого інженери GM гарно попрацювали, створивши систему типу «сендвіч», яка себе зарекомендувала як компактна і у той же час ефективна система [11]. У Європі даний автомобіль отримав іншу модифікацію у вигляді моделі Vauxhall/Opel Ampera.

Досить велика кількість науково-технічних публікацій присвячена питанням системи охолодження в гібридних автомобілях. Так, у статті [12] розглядаються питання відведення тепла від гібридних силових установок (ГСУ), що побудовані за різними схемами компонування. Проаналізовано різниця між тепловими навантаженнями, створюваними паралельної і послідовної трансмісією ГСУ. Вдосконалені системи управління температурним режимом (ATMS) можуть збільшити термін служби ДВЗ і компонентів системи охолодження, а також знизити витрату палива і викиди вуглецю. У роботі [13] представлений огляд декількох систем ATMS і дана критична оцінка їх потенціалу. Науковці в роботі [14] представили математичну модель випарного охолодження з вентиляторної подушкою для автомобільних акумуляторів гібридних автомобілів. Запропоновано двостороннє примусове повітряне випарне охолодження для забезпечення рівномірного охолодження осередків акумуляторної батареї.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є підвищення економічних і теплових показників ДВЗ у складі гібридної системи GM Voltec за рахунок створення спільного контуру ДВЗ та електродвигуна з метою подальшого обміну тепла, і роз'єднання у випадку перевищення граничних допустимих теператур.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

- дослідити відомості щодо систем охолодження ДВЗ;
- провести аналіз систем охолодження електроприводу;
- дослідити можливість побудови системи охолодження нового типу для гібридної силової установки автомобіля;
- провести вдосконалення системи охолодження Chevrolet Volt.

Загальні відомості про системи охолодження ДВЗ

ДВЗ, може охолоджуватися трьома способами: рідинним, повітряним і комбінованим [3].

Замкнута система охолодження (комбінований тип) (рис. 1), яка зазнала найбільшого розповсюдження, вона являє собою гібрид повітряної та рідинної системи охолодження, від рідинної вона взяла теплоносій, а від повітряної - обдув радіатора за допомогою вентилятора. Тепло від циліндрів відводиться рідиною, після чого вона, на видаленні від теплонавантаженої частини двигуна, охолоджується в радіаторах повітрям. Внутрішні і зовнішні частини циліндрів відчувають різний нагрів і зазвичай виконуються з окремих частин:

- внутрішня – робоча втулка або гільза циліндра;
- зовнішня – сорочка (у двигунів повітряного охолодження сорочка має ребра для ефективного відводу тепла).

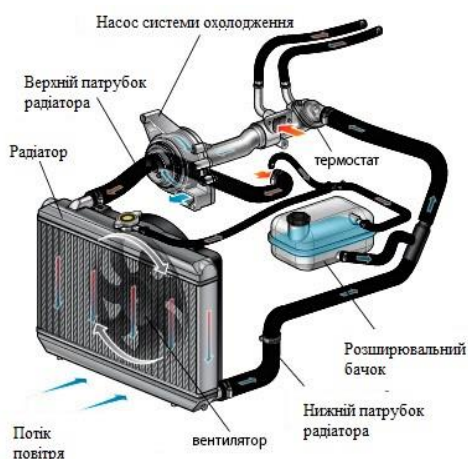


Рис. 1. Компоненти системи охолодження ДВЗ

Простір між ними називається зарубашечним, в двигуні з водяним охолодженням тут циркулює охолоджуюча рідина.

Система охолодження складається з сорочки охолодження блоку циліндрів, головки блоку циліндрів, одного або декількох радіаторів, вентилятора примусового охолодження радіатора, рідинного насоса, термостата, розширювального бачка, сполучних патрубків і датчика температури (рис. 2). Цей тип використовується на всіх сучасних автомобілях. Охолоджуюча рідина прокачується насосом через сорочку охолодження двигуна, забираючи від неї тепло, а потім охолоджується сама в радіаторі.

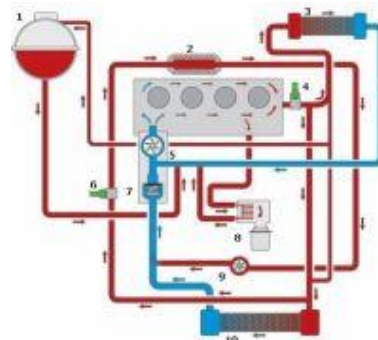


Рис. 2. – Система охолодження з системою рециркуляції відпрацьованих газів

У цій системі існує два кола циркуляції рідини - великий і малий. Велике коло складають сорочка охолодження двигуна, водяний насос, радіатори (в тому числі - обігрівача салону), термостат. У мале коло входить сорочка охолодження двигуна, водяний насос, термостат (іноді радіатор опалення салону входить саме в мале коло).

Регулювання кількості рідини між колами циркуляції рідини здійснюється термостатом. Мале коло охолодження призначений для швидкого введення двигуна в ефективний тепловий режим. При цьому охолоджуюча рідина практично не охолоджується, тому що не проходить через радіатор. Як тільки вона нагріється до оптимальної температури, термостат відкривається, і охолоджуюча рідина починає циркулювати також і через радіатор, де безпосередньо і охолоджується потоком, що набігає повітря (а в разі тривалої стоянки – примусово вентилятором). При цьому, чим сильніше нагрівається охолоджуюча рідина, тим сильніше відкривається термостат, і тим сильніше рідина охолоджується в радіаторі. Це і є принцип підтримки оптимальної температури двигуна від 85 °С до 90 °С.

Дуже небезпечним явищем є перегрів двигуна (кипіння двигуна).

При цьому охолоджуюча рідина в прямому сенсі закипає в сорочці охолодження, що

дуже часто призводить до серйозних наслідків і дорогого ремонту.

Для попередження перегріву двигуна логічно застосовувати рідини з високою температурою кипіння, однак найпростіше виявилося тримати всю систему під деяким надлишковим тиском (близько 1,1 атм), при якому підвищується температура кипіння охолоджуючої рідини (близько 110° С і 120° С для води і антифризу відповідно). Крім того, при перевищенні температури охолоджуючої рідини більше 105° С, включається примусовий обдув радіатора вентилятором [2].

Система повітряного охолодження двигуна [4]. Можна вирізнити 2 типи систем повітряного охолодження: природного (рис. 3) і типу примусового (рис. 4).

Природне повітряне охолодження є найпростішим видом охолодження.

Тепло від двигуна з такою системою охолодження передається в навколишнє середовище через розвинуте ребра на зовнішній поверхні циліндрів, зазвичай такі системи не мають навіть вентилятора, а саме охолодження відбувається або за допомогою мастила або обдувається на відкритому повітрі, звичайно що такі двигуни потребують такого розташування, щоб вони могли самостійно обдуватися повітрям.



Рис. 3. Система природного повітряного охолодження

Тепло від двигуна з такою системою охолодження передається в навколишнє середовище через розвинуте ребра на зовнішній поверхні циліндрів, зазвичай такі системи не мають навіть вентилятора, а саме охолодження відбувається або за допомогою мастила або обдувається на відкритому повітрі, звичайно що такі двигуни потребують такого

розташування, щоб вони могли самостійно обдуватися повітрям.

В системі примусового повітряного охолодження є вентилятор і ребра охолодження. Кожух покриває вентилятор і ребра. Це сприяє напрямку повітряного потоку і перешкоджає проникненню тепла ззовні.

Принцип дії цієї системи полягає у відведенні тепла від стінок головки і циліндрів потоком повітря, що нагнітається лопатями вентилятора, який приводиться в дію клиноподібним пасом від колінчатого валу двигуна через шків. Повітряний потік від вентилятора напрямним кожухом спрямовується через щілини між дефлекторами на зовнішні поверхні циліндрів і до головок циліндрів.

Для збільшення площі відведення тепла циліндри і головки виготовляють з ребрами. Тепловий режим двигуна регулюють за допомогою жалюзі на виході повітря або дроселюванням потоку повітря на вході у вентилятор (встановленням спеціального диску взимку). Тепловий стан двигуна контролюють сигналізатором перегрівання, датчик якого встановлений у головку циліндра. Нормальна робота двигуна характеризується температурою масла в системі змащення не більше 95°С.

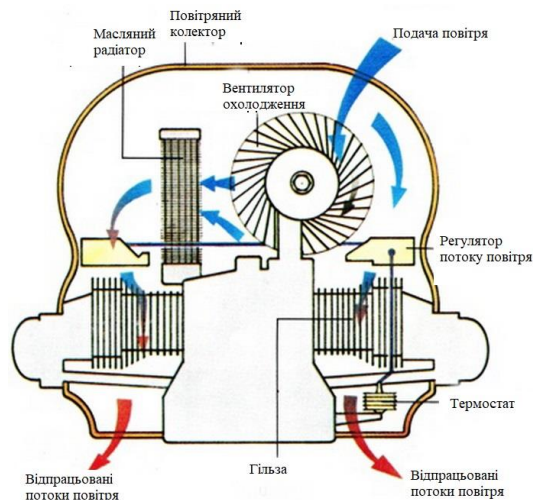


Рис. 4. Система примусового повітряного охолодження

Особливості систем охолодження електроприводу

За способами охолодження електричні машини поділяють на два види: машини з природним охолодженням і машини з штучним охолодженням.

Повітряні системи охолодження електричних двигунів. Повітряні системи у свою чергу поділяються на системи з природним і штучним охолодженням.

Природне охолодження електричних машин. Ці машини не мають вентиляторів або будь-яких інших пристроїв, що сприяють охолодженню машини. Охолодження відбувається природним шляхом за рахунок теплопровідності і конвекції та за допомогою корпусного радіатора (рис. 5, а).

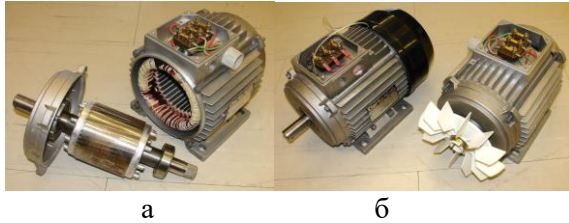


Рис. 5. – Система охолодження електродвигуна: а – природна; б – примусова

Теплопровідність - це передача теплоти всередині твердого тіла від більш нагрітих до менш нагрітих верствам. Наприклад, пазові частини обмотки статора, нагріваючись, передають теплоту через шари пазової ізоляції в сердечник. Через місця кріплення сердечника теплота передається в корпус статора.

Конвекція полягає в тому, що частинки газу (повітря), що стикаються з поверхнею нагрітого тіла (лобові частини обмоток, сердечники, корпус), нагріваються, стають легше і піднімаються вгору, поступаючи місцем менш нагрітих частинок, і т.д. Таку конвекцію називають природною. Під обертається машині має місце ще і штучна конвекція, обумовлена обертанням ротора, який створює примусову циркуляцію газу (повітря), що підсилює ефект конвекції всередині машини.

Штучне охолодження електричних машин. У цих машинах застосовують спеціальний пристрій, зазвичай вентилятор, який створює спрямований рух газу, що охолоджує нагріті частини машини. Значну групу машин з штучним охолодженням становлять машини з самовентиляцією, у яких вентилятор закріплений на власному валу машини; в процесі роботи він, обертаючись, створює аеродинамічний натиск. Самовентиляція може бути зовнішньої і внутрішньої.

При зовнішньої самовентиляції повітрям обдувається зовнішня поверхня корпусу статора. Машина в цьому випадку має закриті виконання з ребристою поверхнею (для збільшення поверхні охолодження).

При внутрішньої самовентиляції в корпусі і підшипникових щитах машини роблять спеціальні отвори, через які повітря з навко-

лишнього машину середовища проникає всередину машини, охолоджує її, а потім викидається назовні.

На валу машини тоді закріплений відцентровий вентилятор (рис. 5, б).

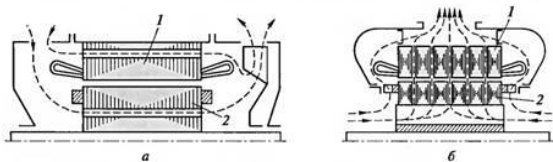
Обертаючись разом з валом машини, він затягує через отвір у правому підшипниковому щиті повітря, створюючи всередині машини аеродинамічний натиск, під дією якого повітря проходить через внутрішню порожнину машини. Повітря проходить через вентиляційні канали, зазор і межполюсні простір (при явнополюсної конструкції машини). При цьому він «омиває» нагріті частини машини і відбирає у них теплоту і нагрітим виходить через спеціальні отвори (жалюзі) в лівому підшипниковому щиті з боку, протилежного вентилятору.

Для більш ефективного охолодження в муздратраї деяких електричних машин роблять вентиляційні канали, через які проходить охолоджуючий газ. Вентиляційні канали називають аксіальним, якщо вони розташовані паралельно осі машини, і радіальними, якщо вони розташовані перпендикулярно цій осі. Вентиляцію, при якій охолоджуючий газ переміщується уздовж осі машини, називають аксіальною, якщо ж газ переміщується перпендикулярно осі машини по радіальних каналах, то вентиляцію називають радіальною.

Радіальні (рис. 6, б) вентиляційні канали виходять розподілом загальної довжини сердечника на пакети від 40 мм до 60 мм. Між пакетами залишають проміжки по 10 мм, які і є радіальними каналами. Іноді в машинах застосовують радіально-осьову вентиляцію. У двигунах з регулюванням потужності «вниз» від номінальної при малій частоті обертання самовентиляція стає малоефективною, що веде до надмірного перегріву машини. Тому в таких двигунах доцільно застосування незалежної вентиляції, коли вентилятор має власний привід (частота обертання останнього не залежить від режиму роботи машини).

Незалежну вентиляцію застосовують також для охолодження електричних машин, що працюють у вибухонебезпечній або хімічно активному середовищі. В цьому випадку вентилятор 4 (рис. 7, а) через трубопровід 3 нагнітає повітря в машину 7 і по трубі 2 викидає його назовні. Така система незалежної вентиляції називається розімкнутою на відміну від замкнутої системи (рис. 7, б). Один і той же обсяг газу циркулює в замкну-

тій системі, що складається з двигуна (об'єкт охолодження) 7, незалежного вентилятора 2, трубопроводів 1 і 5 і радіатора охолоджувача 4. Проходячи через радіатор 4, нагрітий в машині газ охолоджується за допомогою холодної води, що проходить через радіатор (пунктирні стрілки на рис. 6, б).



1 – статор; 2 – ротор

Рис. 6. Системи вентиляції: а – аксіальна; б – радіальна

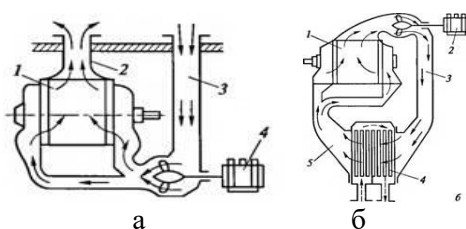


Рис. 7. Незалежні системи вентиляції: а – розімкнена; б – замкнута

Рідинна система охолодження електроприводу. Рідинна система охолодження зазвичай представляє собою один контур, зазвичай це охолодження статора, оскільки такий тип охолодження значно простіше виконати, необхідно лише зробити канали у статорі (рис. 8). Рідше використовується система охолодження ротора у масляній ванні, але така система досить складна і ненадійна

Для відводу тепла з обмотки статора, вузла ведучий міст-коробка передач і трансмісії як Toyota так і більшість виробників використовують унікальний контур охолоджувача інвертора. Цей контур охолоджувача є окремою системою, ніяк не пов'язану з системою охолодження двигуна автомобіля, і служить для відводу тепла від силової електроніки інвертора, яка, в свою чергу, управляє генераторами автомобіля. Належна експлуатація цієї системи охолодження має велике значення для інвертора автомобіля, а також для вузла ведучий міст-коробка передач або трансмісії.

Опис роботи системи.

Безщітковий електричний насос з робочою напругою 12 В переміщує охолоджувач від радіатора, встановленого попереду, до каналів охолодження інвертора. Цей радіатор є окремим блоком. Однак існують модифіка-

ції, де він інтегрований з радіатором системи охолодження двигуна в один блок, але охолоджувачі обох систем фізично розділені.

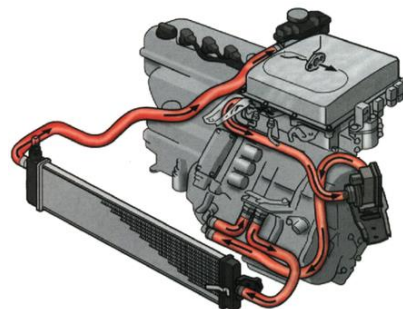


Рис. 8. Система рідинного охолодження електроприводу Toyota

Коли охолоджувач інвертора надходить в канали свого контуру, він побічно поглинає теплове випромінювання силової електроніки інвертора. Після цього він надходить в канали охолоджувача на вузол ведучий міст-коробка передач або трансмісії через шланги. Поглинувши додаткове тепло з основних двигунів-генераторів автомобіля, охолоджувач повертається в радіатор, щоб, проходячи через нього, розсіяти тепло в повітрі.

Цей охолоджувач за складом такий же, як і охолоджувач, який використовується в системі охолодження двигуна автомобіля. Але він зазвичай використовується при більш низькому тиску, яке може коливатися в залежності від моделі автомобіля від $\sim 0,34$ бар в ранніх системах, до 1 бара в Prius 2010. Так як система охолодження призначена для зменшення, а не для регулювання температури, там відсутня термостат. В системі охолодження є один або кілька клапанів прокачування гальмівної системи, які служать для відведення повітря з системи, після замінені охолоджувача. Для обслуговування системи так само можуть використовуватися пристрої, заповнені вакуумом.

Побудова системи охолодження гібридної силової установки

Зазвичай (у більшості випадків) застосовується роздільна система охолодження ДВЗ та ЕП, з різними радіаторами. У таких систем багато переваг, проте існує певний ряд недоліків, серед яких особливо треба виділити громіздкість радіаторів, їхню кількість. Звичайно розробники намагалися поєднати у одному радіаторі декілька теплових контурів (ДВЗ/ЕП у Toyota Prius та ЕП/Інвертор у Chevrolet Volt) [10].

Особливої позначки заслугове система охолодження Chevrolet Volt, там використовується система “бутерброду із радіаторів”, яку GM називають Combined Battery Cooling Radiator.

Така система виглядає досить цікавою та складною із точки зору конструкції, схема побудови такого “бутерброду” дозволяє охолоджувати усі системи з підвищеним тепловиділенням одночасно і доволі ефективно з високим ступенем незалежності.

ГСУ сучасних легкових автомобілів далекі від досконалості. Серед найрозповсюджених систем можна виділити BMW eDrive, Mercedes BlueTec, Chevrolet Volt, Toyota Hybrid Synergy Drive. Кожна система має ряд недоліків та переваг, на даному етапі доцільно розглядати системи Шевроле та Тойота. Вони різні за будовою, “Тойотівський” гібрид виконаний за схемою послідовно – паралельного з’єднання: двигун внутрішнього згоряння, генератор і електродвигун механічно пов’язані один з одним і з колесами за допомогою планетарного редуктора, що дозволяє доволі змінювати потоки потужності між цими вузлами. Схема реалізована в автомобілях Toyota, наприклад, Toyota Prius чи RAV4. Така схема має досить багато переваг, у тому числі і паралельний рух на обох видах тяги. Система Шевроле Вольтек зовсім інакша, у ній основний рушій – електродвигун, за відгукми власників Chevrolet Volt, вони майже 90 % часу пересуваються на електротязі, оскільки ДВЗ у Вольті хоч і є, але він працює лише у критичних моментах – коли рівень заряду тягової АКБ падає нижче встановленого рівня в 30 %, тоді двигун починає працювати у режимі генератора, лиш трохи допомагаючи повертати колеса електродвигуну.

Вдосконалення системи охолодження Chevrolet Volt

Пропонується приєднати систему охолодження електроприводу до внутрішнього контуру ДВЗ, запрограмувати систему охолодження для підтримання температурного діапазону електродвигуна до 50° С, за допомогою клапанів регулювати підігрів ДВЗ при температурах до 50° С, та обмежувати нагрів електродвигуна при температурах більше за вказану позначку. А отже система буде мати 3 стани:

– водій щойно сів за кермо і запустив бортові системи – електродвигун охолоджується лише повітрям;

– початок руху – електродвигун охолоджується через внутрішній контур охолодження двигуна;

– заряд батареї під час руху впав нижче 30%, і є необхідність ще пересуватися - вмикається вже підігрійтий двигун і кожна силова установка охолоджується окремо.

Висновки

Така система дозволяє підвищити ККД гібридної системи за рахунок “теплого” старту ДВЗ, тобто його втрати при холодному запуску зводяться нанівець. У Chevrolet Volt така схема буде більш доречною ніж у Toyota Prius за рахунок того, що ДВЗ у першому випадку використовується лише у крайньому разі, і при запуску класичного двигуна він уже буде непогано підігрійтий, інша справа – Toyota Prius, там при холодному запуску спочатку заводиться ДВЗ, який прогріває всі системи, тобто вся економія зводиться к нулю. Окрім всього подібну модифікацію можна адаптувати і до інших гібридних систем (наприклад BMW з їхньою моделлю I8, у якої система охолодження у загальних рисах подібна до системи охолодження Chevrolet Volt). Однак якою б гарною ця система не була – вона має і свої мінуси – в першу чергу це зменшена надійність у зв’язку з додаванням у систему нових рухомих деталей.

Література

1. Бажинов О. В., Гнатов А. В., Смирнов О. П. та ін. Гібридні автомобілі: монографія. – Х. : ХНАДУ, 2008. 327 с.
2. Ревин А. За рулем. Система охолодження ДВС: как устроена и надо ли промывать ее зимой? URL: <https://www.zr.ru/content/articles/909838-sistema-okhlazhdeniya-nuzhno-li-e/> (дата звернення 14.10.2020)
3. НЛТУУ. Будова систем рідинного і повітряного охолодження двигунів. URL: <https://nltuu.com.ua/archives/136> (дата звернення 10.10.2020)
4. Blamper. Система воздушного охлаждения двигателя. URL: <https://blamper.ru/auto/wiki/dvigatel/sistema-vozdushnogo-okhlazhdeniya-dvigatelya-2897/> (дата звернення 11.09.2020)
5. Nnatov A., Arhun S., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. Vol. 14 (4). P. 4649 - 4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>

6. Рогозін І. В., Новічонок С. М., Гнатів А. В., Рогозіна А. І. Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів. Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. ХНАДУ, 2018. № 13. С. 5-12.
7. Гнатів А. В. Передпусковий підігрівач для бензинового двигуна. Особливості застосування. Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія Автомобіле- та тракторобудування – 2015. № 8 (1117). С. 58–63.
8. Гнатів А. В., Аргун І. В., Ульянець О. А. Энергосберегающие технологии на транспорте. Луцьк: Наукові нотатки, В. 55. 2016. С. 80 – 86.
9. Аргун І. В., Гнатів А. В. Електромобиль и его тяговый электропривод с асинхронным двигателем: монография. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 216 с.
10. Автоцентр. Как работает гибридный Toyota. URL: <https://www.autocentre.ua/opyt/tehnologii/yak-pratsyuye-gibrid-toyota-306908.html> (дата звернення 16.10.2020)
11. Chevy Volt Electric Car Site URL: <https://gm-volt.com> (дата звернення 13.09.2020)
12. Staunton N., Maughan R., Pickert V. Controlled cooling in hybrid electric vehicles. 2008. DOI: 10.1049/cp:20081058
13. Staunton N., Pickert V., Maughan R. Assessment of advanced thermal management systems for micro-hybrid trucks and heavy duty diesel vehicles. 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Harbin, China 18, November . 2008. P. 1-6.
14. El-Ladan A. D., Haas O. C. L. Fan-pad evaporative battery cooling for hybrid electric vehicle thermal management. IET. 2015. DOI: 10.1049/cp.2015.0901.
5. Hnatov A., Arhun S., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 14 (4). 4649-4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>
6. Rohozin I. V., Novichonok S. M., Hnatov A. V., Rohozina A. I. (2018) Sposib rozrakhunku osnovnykh parametriv hibrydnoho sylovoho ahrehatu dlya spetsializovanykh avtotransportnykh zasobiv. [Method of calculating basic parameters of hybrid power unit for specialized vehicles] Avtomobil' y elektronika. Sovremennye tekhnolohyy: elektronnoe nauchnoe spetsyalyzovannoe yzdanye. KHNADU. 13. 5-12. [in Ukrainian]
7. Hnatov A. V. (2015) Peredpuskovyy pidihrivach dlya benzynovoho dvyhuna. Osoblyvosti zastosuvannya [Preheater for gasoline engine. Features of application] Visnyk NTU "KHPI". Zb. nauk. prats'. Seriya Avtomobile- ta traktorobuduvannya. 8 (1117). 58–63. [in Ukrainian]
8. Gnatov A. V., Argun S. V., Ul'yanets O. A. (2016) Energoberegayushchiye tekhnologii na transporte. [energy saving technologies in transport]. Luts'k : Naukovi notatky, 55. 80–86. [in Russian]
9. Argun Shch. V., Gnatov A. V. (2017) Elektromobil' i yego tyagovyy elektroprivod s asinkhronnym dvigatelem: monografiya. [Electric vehicle and its traction electric drive with an asynchronous motor: monograph] Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. [in Russian]
10. AvtoCentre. Kak rabotayet gibrid Toyota. [How a Toyota hybrid works.] /URL: <https://www.autocentre.ua/opyt/tehnologii/yak-pratsyuye-gibrid-toyota-306908.html> (accessed 16.10.2020)
11. Chevy Volt Electric Car Site URL: <https://gm-volt.com> (accessed 13.09.2020)
12. Staunton N., Maughan R., Pickert V. (2008) Controlled cooling in hybrid electric vehicles. 2008. DOI: 10.1049/cp:20081058
13. Staunton N., Pickert V., Maughan R. (2008) Assessment of advanced thermal management systems for micro-hybrid trucks and heavy duty diesel vehicles. 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Harbin, China 18. November . 2008. 1-6.
14. El-Ladan A. D., Haas O. C. L. (2015) Fan-pad evaporative battery cooling for hybrid electric vehicle thermal management. DOI: 10.1049/cp.2015.0901.

Reference

1. Bazhinov O.V., Gnatov A.V., Smirnov O.P. and others (2008) Hibrydni avtomobili: monografiya [Hybrid cars: a monograph] KH.: KHNADU. [in Ukrainian]
2. Revin A. Za rulem. Sistema okhlazhdeniya DVS: kak ustroyena i nado li promyvati yeye zimoy? [Internal combustion engine cooling system: how is it arranged and should it be flushed in winter?] Retrieved from: <https://www.zr.ru/content/articles/909838-sistema-okhlazhdeniya-nuzhno-li-e/> (accessed 14.10.2020)
3. NLTUU. Budova system ridynnoho i povtryanoho okholodzhennya dvyhuniv. [Structure of liquid and air cooling systems of engines] URL: <https://nltuu.com.ua/archives/136> (accessed 10.10.2020)
4. Blamper. Sistema vozdušnogo okhlazhdeniya dvigatelya. [Engine air cooling system.] URL: <https://blamper.ru/auto/wiki/dvigatel/sistema-vozdušnogo-okhlazhdeniya-dvigatelya-2897/> (accessed 11.09.2020)
5. Hnatov A., Arhun S., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 14 (4). 4649-4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>
6. Rohozin I. V., Novichonok S. M., Hnatov A. V., Rohozina A. I. (2018) Sposib rozrakhunku osnovnykh parametriv hibrydnoho sylovoho ahrehatu dlya spetsializovanykh avtotransportnykh zasobiv. [Method of calculating basic parameters of hybrid power unit for specialized vehicles] Avtomobil' y elektronika. Sovremennye tekhnolohyy: elektronnoe nauchnoe spetsyalyzovannoe yzdanye. KHNADU. 13. 5-12. [in Ukrainian]
7. Hnatov A. V. (2015) Peredpuskovyy pidihrivach dlya benzynovoho dvyhuna. Osoblyvosti zastosuvannya [Preheater for gasoline engine. Features of application] Visnyk NTU "KHPI". Zb. nauk. prats'. Seriya Avtomobile- ta traktorobuduvannya. 8 (1117). 58–63. [in Ukrainian]
8. Gnatov A. V., Argun S. V., Ul'yanets O. A. (2016) Energoberegayushchiye tekhnologii na transporte. [energy saving technologies in transport]. Luts'k : Naukovi notatky, 55. 80–86. [in Russian]
9. Argun Shch. V., Gnatov A. V. (2017) Elektromobil' i yego tyagovyy elektroprivod s asinkhronnym dvigatelem: monografiya. [Electric vehicle and its traction electric drive with an asynchronous motor: monograph] Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. [in Russian]
10. AvtoCentre. Kak rabotayet gibrid Toyota. [How a Toyota hybrid works.] /URL: <https://www.autocentre.ua/opyt/tehnologii/yak-pratsyuye-gibrid-toyota-306908.html> (accessed 16.10.2020)
11. Chevy Volt Electric Car Site URL: <https://gm-volt.com> (accessed 13.09.2020)
12. Staunton N., Maughan R., Pickert V. (2008) Controlled cooling in hybrid electric vehicles. 2008. DOI: 10.1049/cp:20081058
13. Staunton N., Pickert V., Maughan R. (2008) Assessment of advanced thermal management systems for micro-hybrid trucks and heavy duty diesel vehicles. 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Harbin, China 18. November . 2008. 1-6.
14. El-Ladan A. D., Haas O. C. L. (2015) Fan-pad evaporative battery cooling for hybrid electric vehicle thermal management. DOI: 10.1049/cp.2015.0901.

Абраменко Владислав Геннадійович¹, студент автомобільного факультету ХНАДУ, тел. +380993896595, vlad.abramenko99@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Модификация системы охлаждения GM Voltec для улучшения экономических показателей

Аннотация: статья посвящена системам охлаждения гибридных силовых установок, в ней рассмотрены основные проблемы и недостатки классических систем охлаждения. Осуществлен анализ основных узлов и агрегатов системы охлаждения с целью дальнейшего повышения эффективности системы. Предложенная схема улучшения уже существующей системы охлаждения серийного автомобиля с прицелом на большую эффективность гибридной силовой установки.

Ключевые слова: гибрид, система охлаждения, электродвигатель, двигатель внутреннего сгорания, гибридная силовая установка, General Motors, GM Voltec

Абраменко Владислав Геннадиевич¹, студент автомобильного факультета ХНАДУ, тел. 099-389-65-95, e-mail: vlad.abramenko99@gmail.com

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25

Modification of GM Voltec Hybrid power plant cooling system to improve economic efficiency

Abstract. Problem. Every day, thousands of engineers try to improve existing engine cooling systems of all types, and several fundamentally new systems have recently been invented. A kind of revolution in the 90's was made by Japanese engineers, they launched a hybrid to the masses, the first attempt was Honda Insight and Toyota Prius, engineers of these Japanese automakers invented innovative cooling schemes, although hybrid schemes were different, the cooling systems themselves were similar. The first innovators were General Motors (GM) with its Chevrolet Volt, a hybrid of a fundamentally new scheme that is more of an electric car than a car with an internal combustion engine

and at the same time an effective system. In Europe, this car received another modification in the form of the model Vauxhall (Opel) Ampera. Hybrids are essentially a "green car" concept, but they have internal combustion engines that still emit pollutants into the air. Electric cars are another thing, they themselves do not throw anything into the air, but their production is much dirtier, as well as producing electricity to charge them. At the moment, until green energy reaches 45-50% of the hybrid produced in each country, it will be significantly more environmentally friendly than electric cars. **Goal.** The goal is the research aimed at improving the economic performance of the power plant in the GM Voltec hybrid. **Methodology.** Analytical methods were used to achieve the desired goals and identify areas for further research and improvement. **Results.** This system allows to increase the efficiency of the hybrid system due to the "warm" start of the internal combustion engine, i.e. its losses during cold start are nullified. In Chevrolet Volt, this scheme will be more appropriate than in the Prius due to the fact that the engine in the first case is used only as a last resort, and when starting a classic engine, it will be well warmed up; another thing – Toyota Prius, where cold start first starts the engine, which heats all the systems, i.e. all savings are reduced to zero. In addition, a similar modification can be adapted to other hybrid systems. However good this system is, it has its drawbacks, it is primarily due to the reduced reliability due to the addition of new moving parts to the system. **Originality.** This system is a reworking of the original GM Voltec refrigeration system and offers solutions to specific problems.

Key words: hybrid, cooling system, electric motor, internal combustion engine, hybrid power plant, General Motors, GM Voltec.

Абраменко Владислав¹, student of the Automobile Faculty, tel. 099-389-65-95, e-mail: vlad.abramenko99@gmail.com

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СВЯЗИ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА В ИНДУКЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Чаплыгин Е. А.¹, Шиндерук С. А.¹, Гаврилова Т. В.¹, Лебедь А. Д.¹
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. С привлечением характеристик случайных величин выполнена вероятностная оценка отклонений от прямо пропорциональной связи между амплитудами экспоненциально затухающих временных зависимостей напряжения и тока в измерениях характеристик магнитно-импульсной обработки металлов. Полученные результаты позволяют исследовать электромагнитные процессы без использования аналоговых или численных методов интегрирования. **Ключевые слова:** магнитно-импульсная обработка металлов, электрические измерения, пояс Роговского, вероятностные характеристики, гармонические сигналы.

Введение

Как следует из обзора авторов работ [1-4], магнитно-импульсные методы являются базовой основой современных технологий штамповки изделий из алюминиевых сплавов, обладающих высокой прочностью и малым весом. В этой связи практическую значимость приобретают разработки инструментов силового воздействия, основанных на фундаментальных положениях электродинамики сплошных сред. С физической точки зрения ключевым вопросом создания инструментов указанного принципа действия является вопрос возбуждения и, соответственно, измерения токов в проводящих объектах обработки. Без преувеличения значимости, следует подчеркнуть, что обеспечение заданного уровня строгости измерений, как условия эффективного выполнения производственной задачи, приобретает актуальность в разработках любого типа инструментов магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ или EMF – Electromagnetic Metal Forming в западной терминологии).

Анализ публикаций

Поскольку темой предлагаемой статьи является измерение токов в МИОМ, литературный обзор следует начать с практических приложений силового взаимодействия магнитных полей с проводящими средами [5, 6]. Так, авторами публикации [5, 7, 8] описаны магнитно-импульсные методы устранения вмятин в металлических покрытиях автомобильных кузовов. Закономерности взаимодействия импульсных электромагнитных полей с поверхностями металлических образцов и возможная практика их использования представлена в

публикации [6]. Предложение использовать линейные инструменты магнитно-импульсного притяжения заданных участков листовых металлов для удаления вмятин в кузовных покрытиях автомобильных кузовов сформулировано авторами [9]. Принцип действия инструментов такого типа основан на взаимном притяжении параллельных проводников с однонаправленными токами (закон Ампера) [10]. Особенностью практической реализации данного принципа действия является непосредственное контактное подключение проводников к высоковольтному источнику мощности. Амплитуды электродинамических усилий, возбуждаемых в рабочей зоне линейного инструмента притяжения (пространство между контактами подключения), зависят от пространственно-временных распределений и степени поперечной концентрации протекающих токов [11]. Данный фактор устанавливает значимость достоверности в измерениях их характеристик, которые обычно осуществляются с помощью датчиков индукционного типа, например, пояса Роговского, катушечных зондов и др. [12]. Строгая связь между напряжением и током в подобных измерителях определяются операторами интегро-дифференциального исчисления. Для восстановления амплитудно-временной зависимости тока по напряжению, индуцированному в обмотке датчика, необходимо либо аналоговое, либо численное интегрирование, что вносит свой вклад в искажение действительных результатов измерений [13].

Цель и постановка задачи

Целью работы является вероятностная оценка отклонений от прямо пропорциональ-

ной связи между амплитудами экспоненциально затухающих временных зависимостей напряжения и тока в измерениях характеристик магнитно-импульсной обработки металлов с использованием датчика индукционного типа – пояса Роговского.

С практической точки зрения, проблема состоит в выборе методики, которая должна обеспечивать допустимую величину погрешности проводимых измерений при достаточной простоте и надёжности её практической реализации. Речь идёт о возможной пропорциональности амплитуд напряжений, снимаемых с обмотки датчика, и измеряемых токов, а также условиях, когда отмеченная связь может иметь место. Не претендуя на общность решения задачи, и базируясь на опытных данных, предлагаем реализовать «упрощённую», но достаточно достоверную методику измерений.

Рассмотрим экспоненциально затухающие амплитудно-временные зависимости электромагнитных процессов, характерные для магнитно-импульсной обработки металлов (разряд ёмкости на индуктивную нагрузку). Очевидно, что установить отклонения от прямо пропорциональной связи между амплитудами напряжения датчика и измеряемого тока можно с привлечением понятий из теории вероятностей. Тогда следует принять, что отмеченное отклонение есть случайная величина, основными характеристиками которой являются математическое ожидание (среднее значение) и среднеквадратическое отклонение, определяющее разброс возможных значений около среднего [14].

В соответствии с поставленной задачей рассмотрим расчетные соотношения и приведем численные оценки фазовых функций тока и напряжения.

Расчётные соотношения

Пусть фазовая (временная) зависимость тока – $J(\varphi)$ описывается экспоненциально затухающей синусоидой с осцилляциями относительно нуля. Поскольку речь идёт об оценке расхождений в амплитудах, введём в её выражение знаки модуля и запишем фазовую функцию в виде [1]:

$$|J(\varphi)| = e^{-\delta_0 \cdot \varphi} \cdot |\sin \varphi|, \quad (1)$$

где δ_0 – относительный коэффициент затухания;
 φ – фаза сигнала, $\varphi = \omega \cdot t$,
 ω – круговая частота;
 t – время.

Отметим, что величина относительного коэффициента затухания – δ_0 определяет собственно временную форму сигнала. Последняя трансформируется от осциллирующей гармонической зависимости до униполярной убывающей экспоненты.

Соответствующая нормированная фазовая функция напряжения, как производная модуля фазовой функции тока, из выражения (1) запишется в виде:

$$|U(\varphi)| = \left| \frac{dJ(\varphi)}{d\varphi} \right| = e^{-\delta_0 \cdot \varphi} \times |\cos \varphi - \delta_0 \cdot \sin \varphi|. \quad (2)$$

Выпишем формулы для расчёта вероятностных характеристик величин (1) и (2) на одном периоде измеряемого сигнала – T [14].

Среднее значение амплитуд тока – $|\overline{J(\varphi)}|$ и соответствующее среднеквадратическое отклонение $-\Delta J(\varphi)$ представим следующими зависимостями [9]:

$$|\overline{J(\varphi)}| = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T (e^{-\delta_0 \cdot \varphi} \cdot |\sin \varphi|) \cdot d\varphi; \quad (3)$$

$$\Delta_J = \sqrt{(|J(\varphi)| - |\overline{J(\varphi)}|)^2}. \quad (4)$$

Аналогичным образом запишем среднее значение амплитуд напряжения – $|\overline{U(\varphi)}|$ и соответствующее среднеквадратическое отклонение – $\Delta U(\varphi)$:

$$|\overline{U(\varphi)}| = \frac{1}{T} \times \int_0^T (e^{-\delta_0 \cdot \varphi} \cdot |\cos \varphi - \delta_0 \cdot \sin \varphi|) d\varphi; \quad (5)$$

$$\Delta_U = \sqrt{(|U(\varphi)| - |\overline{U(\varphi)}|)^2}. \quad (6)$$

Введём характеристики, определяющие (в процентах) расхождения между средними значениями и среднеквадратическими отклонениями сравниваемых величин:

а) расхождения между средними значениями амплитуд токов и напряжений

$$\alpha = \left| \frac{|\overline{J(\varphi)}| - |\overline{U(\varphi)}|}{|\overline{J(\varphi)}|} \right| \cdot 100\%; \quad (7)$$

б) расхождения между среднеквадратическими отклонениями от средних значений согласно формулам (4) и (6)

$$\beta = \left| \frac{|\Delta J(\varphi)| - |\Delta U(\varphi)|}{|\Delta J(\varphi)|} \right| \cdot 100\% . \quad (8)$$

Численные оценки

Оценивая погрешности в использовании амплитуд временной функции напряжений для расчетов амплитуд временной функции токов, начнем с «пределных» ситуаций, в которых эти погрешности могут принимать наибольшие или наименьшие значения.

Из феноменологических соображений ясно, что данные ситуации устанавливаются величиной относительного коэффициента затухания δ_0 .

Так, в случае, когда процесс описывается незатухающей гармонической зависимостью и δ_0 , имеет место строгая пропорциональность амплитуд производной и её первообразной,

что оценивается нулевым значением погрешности. Действительно, амплитудные значения гармонических функций одинаковы по модулю и не превышают единицы [15].

В случае, когда процесс описывается аperiодической функцией и $\delta_0 \rightarrow 1$, пропорциональность амплитуд производной и её первообразной нарушается с намного большей погрешностью. Очевидно, что производная линейной комбинации экспонент, формально соответствующей аperiодическому сигналу, есть знакопеременная функция. Различие знаков в разные промежутки времени определяется тем, что аperiодический сигнал имеет участки возрастания и участки убывания, где производная должна иметь разные знаки [14, 15].

Численные оценки отмеченных «пределных» ситуаций были выполнены с помощью математических программ из стандартного пакета «Wolfram Mathematica» [15]. Результаты расчётов, оформленные в виде нормированных на максимум амплитудно-фазовых зависимостей, проиллюстрированы кривыми на рис. 1.

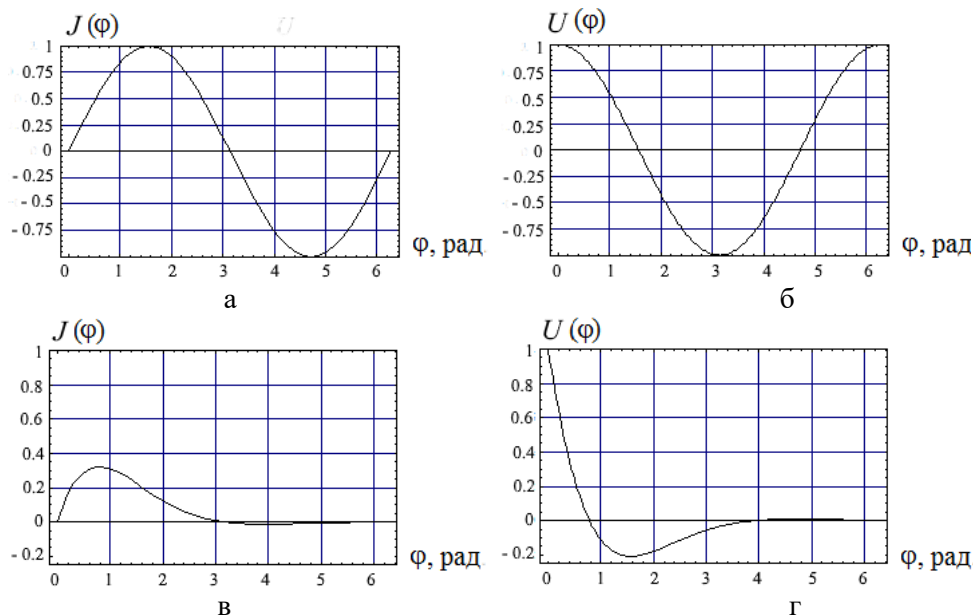


Рис. 1. Фазовые функции в зависимости от величины относительного коэффициента затухания δ_0 : а – ток при $\delta_0 = 0$; б – напряжение при $\delta_0 = 0$; в – ток при $\delta_0 = 1$; г – напряжение при $\delta_0 = 1$

Исходя из анализа «пределных» ситуаций, можно сделать вывод о том, что допустимая погрешность замены амплитуд временных функций токов соответствующими амплитудами временных функций напряжений должна определяться величинами относительного коэффициента затухания в диапазоне – $\delta \in [0, 1]$.

Численные оценки для интервала изменения фазы, равного одному периоду исследуе-

мого сигнала – $\varphi \in [0, 2\pi]$ проведём для коэффициентов затухания в «пределных» ситуациях – $\delta_0 = 0, 1$ и типичных для МИОМ величин – $\delta \in [0, 1; 0, 3]$.

Ниже представлены графические иллюстрации расчёта фазовых зависимостей где ток – первообразная, а напряжение – производная рис. 2-5.

Результаты вычислений соответствия сравниваемых сигналов сведены в табл. 1 и табл. 2.

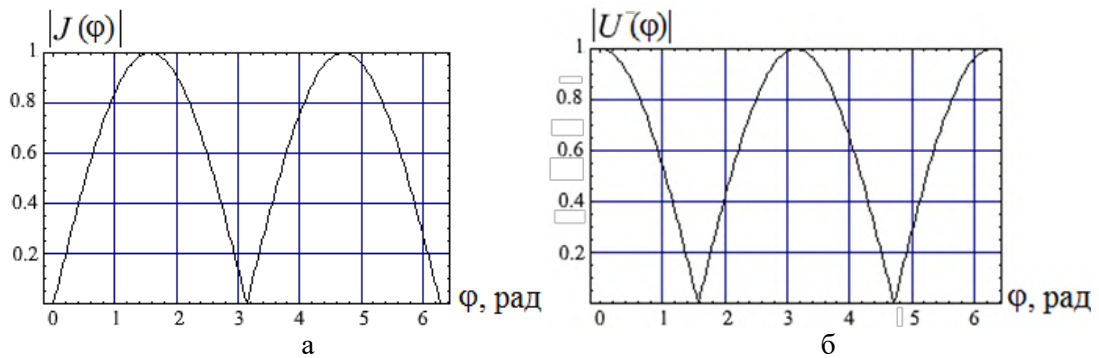


Рис. 2. Фазовые распределения модулей временных функций при $\delta_0 = 0$ (строго гармонические сигналы): а – ток; б – напряжение

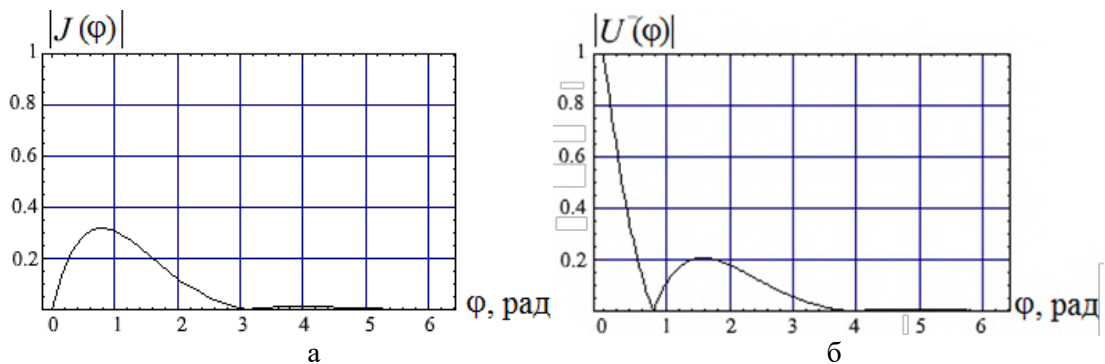


Рис. 3. Фазовые распределения модулей временных функций при $\delta_0 = 1,0$ (аперiodические сигналы): а – ток; б – напряжение

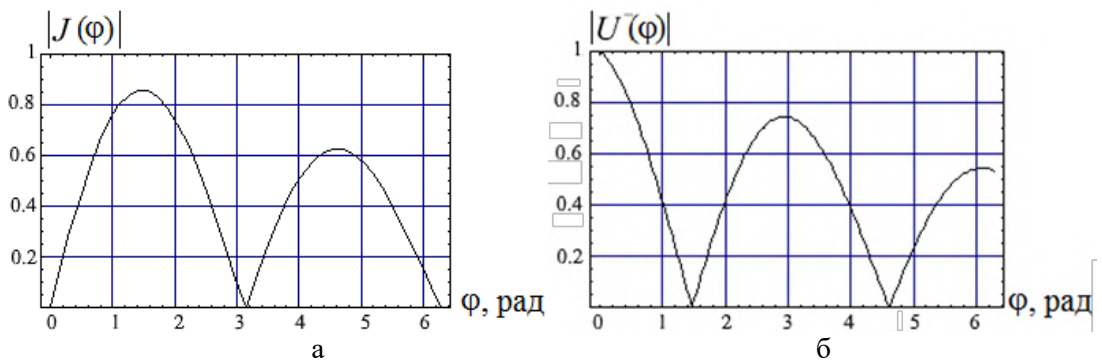


Рис. 4. Фазовые распределения модулей временных функций при $\delta_0 = 0,1$ (аперiodические сигналы): а – ток; б – напряжение

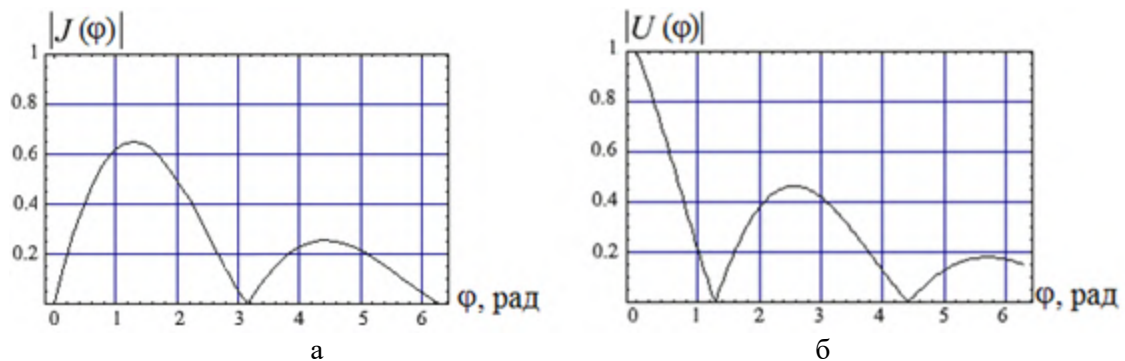


Рис. 5. Фазовые распределения модулей временных функций при $\delta_0 = 0,3$ (аперiodические сигналы): а – ток; б – напряжение

Таблица 1 – Численные оценки для средних величин

№ п/п	Временная форма исследуемого сигнала, δ_0	$ J(\varphi) $	$ U(\varphi) $	Расхождение средних величин, α , %
1	0,0	0,636	0,636	0,0
2	1,0	0,086	0,107	23,6
3	0,1	0,473	0,471	0,27
4	0,3	0,288	0,281	2,36

Таблица 2 – Численные оценки для среднеквадратических отклонений

№ п/п	Временная форма исследуемого сигнала, δ_0	ΔJ	ΔU	Расхождение среднеквадратических отклонений, β , %
1	0,0	0,307	0,307	0,0
2	1,0	0,111	0,168	51,18
3	0,1	0,243	0,247	1,37
4	0,3	0,198	0,215	8,4

Прокомментируем основное в полученных результатах вычислений.

1) Расхождения сравниваемых величин зависят от значения относительного коэффициента затухания δ_0 .

2) Для строго гармонических процессов, когда $\delta_0 = 0,0$, средние амплитуды и среднеквадратические отклонения совпадают между собой. При приближении временной функции тока к форме апериодического сигнала, когда $\delta_0 \rightarrow 1,0$, расхождения средних амплитуд и среднеквадратических отклонений между амплитудами тока и напряжения существенно возрастают. Отклонения между первыми достигает $\sim 23\%$, между вторыми $\sim 51\%$.

В интервале изменений относительного коэффициента затухания $\delta \in [0,1; 0,3]$, характерного для процессов в магнитно-импульсной обработке металлов, расхождения между средними величинами амплитуд тока и напряжения не превышают $\sim 2,36\%$. Относительная разность между соответствующими отклонениями от средних значений составляет $\sim 8,4\%$. Очевидно, что в указанном диапазоне характеристик временных функций тока имеет место вполне допустимое соответствие его амплитуд и амплитуд напряжения, равного производной его временной функции.

Выводы

Проведена вероятностная оценка отклонений от прямо пропорциональной связи между амплитудами экспоненциально затухающих временных зависимостей напряжения и тока в измерениях характеристик магнитно-импульсной обработки металлов с использованием датчика индукционного типа – пояса Роговского.

Показано, что расхождения между амплитудами сравниваемых величин тока и напряжения определяются значениями относительного декремента затухания измеряемого сигнала.

Получено, что для гармонических временных функций тока с относительным коэффициентом затухания, не превышающим $\sim 0,3$, пропорциональность между относительными амплитудами индуктивно связанных тока и напряжения сохраняется с точностью, не ниже $\sim 10\%$, допустимой при проведении реальных измерений и составляющей, как правило, $\sim 10...15\%$ [13, 14].

Выполненный численный анализ позволяет обосновать возможность использовать вместо амплитуд временной функции токов соответствующие аналоги для напряжений в задачах экспериментального исследования электромагнитных процессов, описание которых осуществляется с помощью относительных величин (например, индикация индуцированных токов и др.). Таким образом, появляется возможность исследовать электромагнитные процессы с помощью нормированных характеристик без использования аналоговых или численных методов интегрирования сигналов, снимаемых с пояса Роговского.

Литература

1. Batygin Yu.V., Chaplygin E.A., Sabokar O.S. Magnetic pulsed processing of metals for advanced technologies of modernity – a brief review. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2016. № 5. С. 35–39.
2. Psyk V., Risch D., Kinsey B.L., Tekkaya A.E., Kleiner M. Electromagnetic forming – A review. *Journal of Material Process Technology*. 2011. № 211. P. 787–829.
3. Imbert J., Worswick M. Reduction of a pre-formed radius in aluminum sheet using electromagnetic and conventional forming. *Journal of Materials Processing Technology*. 2012. № 212. P. 1963–1972.
4. Hai-ping Yu, Chun-feng Li, Da-hai Liu, et al. Tendency of homogeneous radial deformation during electromagnetic compression of aluminium tube. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*. 2010. № 20. P. 7–13.

5. Gnatov A., Argun Sch. New method of car body panel external straightening. Tools of method. *International Journal of Vehicular Technology*. 2015. 1 July. P. 1–7.
6. Batygin Yu., Chaplygin E., Shinderuk S., Strelnikova V. The main inventions for technologies of the magnetic-pulsed attraction of the sheet metals. A brief review. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2018. № 3. С. 43–52.
7. Eguia I., Mangas A., Iturbe R., Gutierrez M.A. Electromagnetic forming of longitudinal strengthening ribs in roll formed automotive profiles. Proceedings of 4th International Conference on High Speed Forming (ICHSF). (May 2010). 2010. P. 198–207.
8. Golovashchenko S. Electromagnetic Forming and Joining for Automotive Applications. 2nd International Conference on High Speed Forming (ICHSF). (May 2006). 2006. P. 201–206.
9. Batygin Yu., Barbashova M., Sabokar O. Electromagnetic Metal Forming for Advanced Processing Technologies. Springer International Publishing AG. 2018. 93 p.
10. Benenson V. Harris J.W., Stöcker H., Lutz H. Handbook of Physics. Springer. 2002. 1190 p.
11. Griffiths D.J. Introduction to Electrodynamics. 4th Edition. Cambridge University Press, 2017. 620 p.
12. Batygin Yu.V., Chaplygin E.A., Shinderuk S.A. Experimental investigation of the current distribution on the sheet blank surface in linear tools of magnetic-pulsed attraction. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2020. № 2. С. 46–51.
13. Tumanski S. Principles of Electrical Measurements. CRC Press Taylor & Francis Group. 2006. 488p.
14. Kantorovic L. Mathematics for Natural Scientists. Fundamentals and Basics. Springer. 2016. 526 p.
15. Tang K.T. Mathematical Methods for Engineers and Scientists 3. Springer-Verlag. 2007. 452 p.
6. Batygin Yu., Chaplygin E., Shinderuk S., Strelnikova V. (2018). The main inventions for technologies of the magnetic-pulsed attraction of the sheet metals. A brief review. *Електротехніка і Електромеханіка*. 3. 43–52 doi: 10.20998/2074-272X.2016.5.05.
7. Eguia I., Mangas A., Iturbe R., Gutierrez M.A. (2010). Electromagnetic forming of longitudinal strengthening ribs in roll formed automotive profiles. Proceedings of 4th International Conference on High Speed Forming (ICHSF). (May 2010). 198–207.
8. Golovashchenko S. (2006). Electromagnetic Forming and Joining for Automotive Applications. 2nd International Conference on High Speed Forming (ICHSF). (May 2006). 201–206.
9. Batygin Yu., Barbashova M., Sabokar O. (2018). Electromagnetic Metal Forming for Advanced Processing Technologies. Springer International Publishing AG.
10. Benenson V. Harris J.W., Stöcker H., Lutz H. (2002). Handbook of Physics. Springer.
11. Griffiths D.J. (2017). Introduction to Electrodynamics. 4th Edition. Cambridge University Press.
12. Batygin Yu.V., Chaplygin E.A., Shinderuk S.A. (2020). Experimental investigation of the current distribution on the sheet blank surface in linear tools of magnetic-pulsed attraction. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2. 46–51 doi: 10.20998/2074-272X.2020.2.07.
13. Tumanski S. (2006). Principles of Electrical Measurements. CRC Press Taylor & Francis Group.
14. Kantorovic L. (2016). Mathematics for Natural Scientists. Fundamentals and Basics. Springer.
15. Tang K.T. (2007). Mathematical Methods for Engineers and Scientists 3. Springer-Verlag.

References

1. Batygin Yu.V., Chaplygin E.A., Sabokar O.S. (2016). Magnetic pulsed processing of metals for advanced technologies of modernity – a brief review. *Електротехніка і Електромеханіка*. 5. 35–39. doi: 10.20998/2074-272X.2016.5.05
2. Psyk V., Risch D., Kinsey B.L., Tekkaya A.E., Kleiner M. (2011). Electromagnetic forming – A review. *Journal of Material Process Technology*. 211. 787–829.
3. Imbert J., Worswick M. (2012). Reduction of a preformed radius in aluminum sheet using electromagnetic and conventional forming. *Journal of Materials Processing Technology*. 212. 1963–1972.
4. Hai-ping Yu, Chun-feng Li, Da-hai Liu, et al. (2010). Tendency of homogeneous radial deformation during electromagnetic compression of aluminium tube. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*. 20. 7–13.
5. Gnatov A., Argun Sch. (2015). New method of car body panel external straightening. Tools of method. *International Journal of Vehicular Technology*. 1. 1–7.

Чаплыгин Евгений Александрович¹, к.т.н., доц. каф. фізики, тел. +38-057-707-37-27; e-mail: chaplygin.e.a@gmail.com.

Шиндерук Светлана Александровна¹, к.т.н., доц. каф. фізики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Гаврилова Татьяна Владимировна¹, к.физ.-мат.н., доц. каф. фізики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: gavrilova.tatyana@i.ua.

Лебедь Анита Дмитриевна¹, студент, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: lebed.anita2017@gmail.com.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Probabilistic estimate of dependence between voltage and current in measurements by induction sensors of characteristics of magnetic-pulsed metal processing

Abstract. Problem. Magnetic-pulse methods are the basis of modern technologies for stamping products from aluminum alloys with high strength and low weight. In this regard, the development of tools for force action, based on the fundamental principles of the

electrodynamics of continuous media, is of practical importance. **Goal.** The purpose of the work is a probabilistic assessment of deviations from a directly proportional relationship between the amplitudes of the exponentially relaxing temporal dependences of voltage and current in measurers of the characteristics of magnetic-pulse metal processing with using an induction-type sensor – the Rogowski belt. **Methodology.** To achieve this goal, the provisions of the electrical circuits theory, the characteristics of random quantities in probability theory, as well as the standard programs from the “Wolfram Mathematica” package were used. **Results.** It is established that in the induction measurers – the Rogowski belt the differences between the amplitudes of the compared quantities are determined by the values $\delta \in [0,1; 0,3]$ of the relative damping factor of the current signal. **Originality.** It is shown that for harmonic temporal current functions with a relative damping factor, the proportionality between the relative amplitudes of inductively coupled current and voltage is preserved with an accuracy not lower than $\sim 10\%$, which makes it possible to investigate electromagnetic processes using the normalized amplitudes of oscilloscope voltages without using analog or numerical integration methods. **Practical value.** The use of the obtained results will significantly reduce the list of necessary equipment for measurements, simplify experiments and reduce the time to conduct them, which will ultimately create new, more effective tools for magnetic-pulsed metal processing.

Key words: magnetic-pulsed metal processing, electrical measurements, Rogowski belt, probabilistic characteristics, harmonic signals.

Evgen Chaplygin¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 057-707-37-27, e-mail: chaplygin.e.a@gmail.com

Svitlana Shinderuk¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 057-707-37-27, e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Tetyana Gavrilova Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 057-707-37-27, e-mail: gavrilova.tatyana@i.ua.

Lebed Anita¹, student, tel. +38 057-707-37-27, e-mail: lebed.anita2017@gmail.com.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

Імовірнісна оцінка зв'язку напруги і струму в індукційних вимірювачах характеристик магнітно-імпульсної обробки металів

Анотація. Постановка проблеми. Магнітно-імпульсні методи є базовою основою сучасних технологій штампування виробів з алюмінієвих сплавів, що володіють високою міцністю і малою вагою. У зв'язку з цим практичну значимість набувають розробки інструментів силового впливу, які засновані на фундаментальних положеннях електродинаміки суцільних середовищ. **Мета.** Метою роботи є імовірнісна оцінка відхилень від прямо пропорційного

зв'язку між амплітудами експоненціально згасаючих часових залежностей напруги і струму у вимірах характеристик магнітно-імпульсної обробки металів з використанням датчика індукційного типу – пояса Роговського. **Методика.** Для досягнення поставленої мети використовувалися положення теоретичної електротехніки, характеристики випадкових величин в теорії імовірностей, а також стандартні програми з пакету «Wolfram Mathematica». **Результати.** Із залученням характеристик випадкових величин виконана імовірнісна оцінка відхилень від прямо пропорційного зв'язку між амплітудами експоненціально згасаючих часових залежностей напруги і струму в вимірах характеристик магнітно-імпульсної обробки металів з використанням датчика індукційного типу – пояса Роговського. Встановлено, що розбіжності між амплітудами порівнюваних величин визначаються значеннями відносного коефіцієнту загасання токового сигналу. В інтервалі змін даного параметра $\delta \in [0,1; 0,3]$, що є характерним для магнітно-імпульсної обробки металів, розбіжності між середніми значеннями амплітуд струму і напруги не перевищують $\sim 2,36\%$. Відносна різниця між відхиленнями від середніх становить $\sim 8,4\%$. **Наукова новизна.** Показано, що для гармонічних часових функцій струму з відносним коефіцієнтом загасання $\delta_0 \leq 0,3$ пропорційність між відносними амплітудами індуктивно зв'язаних струму і напруги зберігається з точністю, не нижче $\sim 10\%$, що дозволяє досліджувати електромагнітні процеси за допомогою нормованих амплітуд напруг без використання аналогових або чисельних методів інтегрування. **Практичне значення.** Використання отриманих результатів дозволить істотно скоротити перелік необхідного обладнання для вимірювань, спростити експерименти і скоротити час на їх проведення, що дозволить, в кінцевому підсумку, створювати нові більш ефективні інструменти магнітно-імпульсної обробки металів.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка металів, електричні вимірювання, пояс Роговського, імовірнісні характеристики, гармонічні сигнали.

Чапльгін Євген Олександрович¹, к.т.н., доц. кафедри фізики, тел. +38-057-707-37-27; e-mail: chaplygin.e.a@gmail.com.

Шиндерук Світлана Олександрівна¹, к.т.н., доц. каф. фізики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Гаврилова Тетяна Володимирівна¹, к.фіз.-мат.н., доц. каф. фізики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: gavrilova.tatyana@i.ua.

Лебідь Аніта Дмитрівна¹, студент, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: lebed.anita2017@gmail.com.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого 25.

ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ

Сараева И. Ю.¹, Хрулев А.Э.², Воробьев А. Н.¹, Себко Д. П.¹

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

²Международное моторное бюро

***Аннотация.** Работа направлена на повышение достоверности, точности, информативности и углубленности процесса диагностирования цилиндро-поршневой группы двигателя. Для этого разработана автоматизированная система диагностирования, которая включает в себя системный блок с монитором, специальное программное обеспечение для измерения и обработки информации, измерительный аналогово-цифровой модуль, адаптеры для подключения к двигателю. Диагностическая система позволяет фиксировать изменение давления в цилиндре при каждом градусе поворота коленчатого вала с погрешностью, которая не превышает 1,7%. Также система позволяет сохранять, воспроизводить и передавать диагностическую информацию в цифровом, графическом и текстовом виде. Может использоваться при экспертных исследованиях технического состояния механизмов двигателя.*

***Ключевые слова:** автомобиль, двигатель, диагностика, стенд, измерение, параметр, неисправность, герметичность, камера сгорания, давление.*

Введение

Известные способы диагностирования цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) двигателя позволяют осуществлять процесс контроля как с помощью манометрических приборов, так и с помощью электронных средств измерений. Применение последних подразумевает наличие определенных датчиков, аналоговых и цифровых средств обработки информации с последующим получением диагностического заключения. Поэтому при разработке средств диагностирования необходимо в первую очередь определить условия, соответствующие требованиям разрабатываемого процесса диагностирования.

В качестве первичного элемента получения диагностической информации можно использовать как аналоговые, так и дискретные датчики. Стоимость дискретных датчиков на порядок выше, а разрешающая способность частотного опроса на порядок ниже, чем у аналоговых датчиков. В связи с этим дискретные датчики пока не получили широкого распространения на автомобилях и в системах диагностирования, но способность дискретных датчиков передавать информацию в цифровом виде, без использования дополнительного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) значительно упрощает конструкцию системного блока диагностирования.

Особенностью процесса диагностирова-

ния ЦПГ двигателя является то, что результаты диагностических замеров одного и того же двигателя желательно сравнивать, например, до обслуживания и ремонта, и после регулировки и ремонта, а также на протяжении всего срока службы двигателя. Задача эта усложняется и неограниченным числом автомобилей, для которых потребуется проведение диагностических работ. Следовательно, проектируемая диагностическая система должна обладать способностью к запоминанию большого количества информации. С помощью портативных электронных приборов такую задачу длительного хранения и воспроизведения информации решить затруднительно. Поэтому возникает необходимость в применении при разработке системы диагностики ЦПГ двигателя электронных средств, обладающих большим объемом памяти, например, персональных компьютеров. Помимо постоянной памяти для хранения информации диагностическая система должна обладать достаточно высокой оперативной памятью для работы в среде современных операционных систем и языков программирования.

Анализ публикаций

В настоящее время совершенствование диагностических систем автомобиля идет по пути создания и развития автоматизированных цифровых систем с возможностью всестороннего

анализа полученных диагностических сигналов [1]. Такое диагностирование возможно проводить дистанционно путем использования информационной модели [2] либо более углубленно на сервисной станции [3].

Для экспресс-диагностирования ЦПГ могут использоваться различные методы и способы. Наиболее универсальным и современным способом диагностирования ЦПГ является применение мотор-тестера. В основу диагностирования ЦПГ с помощью мотор-тестера положены методы электрических измерений прямых и косвенных (непрямых) параметров. Например, мотор-тестер Bosch FSA 740 позволяет по сопротивлению прокручиванию коленчатого вала с помощью стартера оценить техническое состояние ЦПГ. Такой метод диагностирования ЦПГ имеет ряд преимуществ: измерения проводятся одновременно для всех цилиндров двигателя при одинаковом тепловом и нагрузочном режиме; результаты измерений наглядные и отражают полную картину диагностирования; наличие эталонного коридора минимальных и максимально значений измеряемой величины; возможность быстрого диагностирования многоцилиндровых двигателей. В качестве недостатка используемого метода можно отметить отсутствие углубленной диагностики деталей ЦПГ.

Условия процесса диагностирования ЦПГ определяют требования, которые необходимо предъявлять к выбору датчика, как к первичному элементу получения диагностической информации. Прежде всего, у датчика должны быть малые габаритные размеры, которые позволили бы установить датчик в непосредственной близости от цилиндра двигателя. Для этого размеры датчика не должны превышать размеры свечи зажигания иначе монтировать датчик будет затруднительно в ограниченном пространстве под капотом автомобиля. Измерительная часть датчика должна быть устойчива к агрессивным средам, таким как бензин и его производные, масло и газы.

Измерение давления в цилиндрах проводится в тестовом режиме, когда нет воспламенения горючей смеси в цилиндрах и температура измеряемой среды не превышает рабочую температуру двигателя – 80°-100°С. Этой температуре соответствует и температура картерных газов. Поэтому температурный диапазон датчика должен находиться в пределах от 0° до 100°.

Необходимость постоянного монтажа датчика определяет его устойчивость к механическим воздействиям. При поломке датчика должна иметься возможность его замены, т.е. датчик должен быть серийного производства.

Величина давления в цилиндре бензиновых двигателей за один рабочий цикл изменяется в пределах 0 – 1,6 МПа, следовательно, этому диапазону должна соответствовать манометрическая характеристика датчика. Чтобы стоимость диагностической системы, а, следовательно, и стоимость проведения диагностических работ были доступны, цена датчика должна быть соизмерима с ценой основных элементов системы и трудоемкостью проведения работ.

Фирмой «Siemens» предложена конструкция пьезоэлектрического датчика давления для оценки качества процесса сгорания в двигателе [4]. Такой датчик легко монтируется на головке цилиндров двигателя без демонтажа деталей. Наряду с простотой процесса диагностирования отсутствует возможность непосредственного измерения давления и локализации неисправности в пределах одного цилиндра.

Институтом «AVL» разработан новый миниатюрный пьезокварцевый датчик давления, модель QC31D, с водяным охлаждением и повышенной точностью, предназначенный для построения индикаторной диаграммы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [5]. Компенсационная мембрана датчика с покрытием из нитрида и титана надежно защищает измерительный элемент от тепловых нагрузок с максимальной температурой 2500°С, воздействия агрессивных компонентов топлива и газов, от загрязнения частицами сажи. Предусмотренные в головке датчика направляющие элементы для воды создают условия для ее интенсивного и равномерного охлаждения. Датчик выгодно обеспечивает процесс диагностирования в функциональном режиме двигателя, но при этом на изменение индикаторного давления наряду с техническим состоянием ЦПГ влияет множество других факторов: производительность форсунок, работа свечей зажигания, что, несомненно, затрудняет постановку точного диагноза.

В работе [6] рассмотрена проблематика измерения давления в камере сгорания ДВС. Дана оценка двум методам измерения: косвенного, предусматривающего измерения ускорения, вибрации и деформации деталей

головки цилиндра, и прямого - путем измерения давления газа в камере с помощью охлажденного водой кварцевого датчика. Предложена новая конструкция пьезокерамического датчика, который устанавливается вне камеры сгорания. Пьезоэлектрическая постоянная примененной пьеза керамики позволяет повысить точность измерений, но не позволяет решить существующие проблемы аналогов, которые связаны с трудностями постановки диагноза в отношении ЦПГ и герметичности клапанов двигателя.

На другом принципе основано действие оптического датчика, который представляет собой цилиндрическую трубку, заполненную светопроводящим веществом и закрытую снизу тонкой мембраной [7]. Датчик устанавливается в отверстие свечи зажигания. Сверху к трубке примыкает световой канал. По изменению интенсивности света, проходящего через трубку, вследствие изменения отражающих свойств мембраны оценивается величина давления под мембраной и в камере сгорания ДВС. На показания оптического датчика, в отличие от электрического датчика, не влияет магнитное поле от искровой свечи зажигания. Датчик нечувствителен также к усилию затяжки прокладки свечи. Нетрадиционный способ измерения давления с помощью оптического датчика требует использование дополнительного оборудования для преобразования первичного сигнала от датчика в аналоговый сигнал. Поэтому прибор не пошел в серийное производство.

Заслуживают интерес разработки в области тензометрии [8]. Тензометрический датчик обеспечивает измерение давления газов в цилиндре ДВС и состоит из цилиндрического корпуса с тонким плоским дном, на котором наклеены тензометрические резисторы. Преимуществами такого датчика являются: недорогая и простая конструкция, аналоговый сигнал на выходе, подготовленный для АЦП. Применение одно-мембранной конструкции с одной стороны повышает чувствительность датчика, с другой – снижает надежность и долговечность прибора в целом.

По пути развития интегральных датчиков давления на основе эффекта пьезометрического сопротивления в кристаллах кремния пошли английские ученые [9, 10]. Датчики этого типа представляют собой цилиндр, ввертываемый в отверстие головки двигателя. Выступающий в камеру сгорания конец датчика выполнен в виде колпачка, дно которого представляет собой диафрагму. Уси-

лие, действующие на диафрагму, передается через шток к кремниевому элементу, при деформации которого возникает электрический сигнал. Для предохранения колпачка от разрушения под действием давления внутри него расположена медная втулка с отверстием для прохода штока. Это снижает чувствительность датчика и вызывает увеличение нелинейности измерения.

Ряд интересных предложений сделаны совместно японскими и американскими учеными [11-15]. Разработаны конструктивные модификации чувствительных элементов, исследована возможность компьютеризации датчиков давления, изготовленных по технологии “кремний на изоляторе”. Рассмотрены проблемы миниатюризации датчиков [16], когда пьезоэлектрический датчик конструктивно выполнен в виде кольца, устанавливаемого под свечой зажигания. Существенным недостатком датчиков для косвенного измерения давления в цилиндре остается тот факт, что погрешность такого метода измерения превышает погрешность средств измерений.

Цель и постановка задачи

Цель работы – разработать и усовершенствовать цифровой стенд для диагностики герметичности камеры сгорания двигателя автомобиля.

Задачи: анализ конструктивных особенностей существующих способов и методов измерения давления в цилиндре двигателя; разработка измерительного стенда; исследования диагностических параметров и правил технической эксплуатации двигателя.

Реализации диагностической системы с помощью цифровых технологий

Первичный анализ возможных способов реализации современной диагностической системы позволяет выстроить дифференциальную цепочку для выбора возможной функциональной схемы процесса диагностирования ЦПГ двигателя (рис. 1).

Датчик давления последовательно подключается к местам измерения. Информация передается через аналогово-цифровой преобразователь в микропроцессор и отображается на мониторе. После чего записывается в память компьютера для дальнейшего хранения и воспроизведения. Прикладное программное обеспечение обрабатывает всю поступившую информацию согласно диагностической модели, после чего делается заключение о техническом состоянии объекта. Диагно-

стическое заключение выводится на экран монитора или печатающее устройство, мо-

жет сохраняться в электронном виде и передаваться по сети Internet.



Рис. 1. Схема получения и обработки диагностической информации

Таким образом, возможно несколько способов реализации диагностической модели ЦПГ – это диагностирование с помощью манометрических датчиков и диагностирование с использованием электронных средств получения и обработки информации. Датчики могут быть аналогового или дискретного типа. Достаточным условием получения первичной диагностической информации является последовательное использование одного аналогового датчика совместно с АЦП. Для обработки, хранения и демонстрации результатов диагностирования необходимым условием является наличие системного блока компьютера, программного обеспечения, дисплея и принтера.

Условия процесса диагностирования ЦПГ определяют требования, которые необходимо предъявлять к выбору датчика, как к первичному элементу получения диагностической информации. Прежде всего, у датчика должны быть малые габаритные размеры, которые позволили бы установить датчик в непосредственной близости от цилиндра двигателя. Для этого размеры датчика не должны превышать размеры свечи зажигания. Измерительная часть датчика должна быть устойчива к агрессивным средам, таким как бензин и его производные, масло и газы.

Измерение давления в цилиндрах проводится в тестовом режиме, когда нет воспламенения горючей смеси в цилиндрах и температура измеряемой среды не превышает рабочую температуру двигателя – 80°-100°С.

Этой температуре соответствует и температура картерных газов. Поэтому температурный диапазон датчика должен находиться в пределах от 0° до 100°.

Необходимость постоянного монтажа датчика определяет его устойчивость к механическим воздействиям. При поломке датчика должна иметься возможность его замены, т.е. датчик должен быть серийного производства.

Величина давления в цилиндре бензиновых двигателей за один рабочий цикл изменяется в пределах 0 – 1,6 МПа, следовательно, этому диапазону должна соответствовать манометрическая характеристика датчика.

На основании выполненного анализа выбран датчик серии МД10-В, который применяется в системах контроля газонефтепроводов. Габаритные размеры и характеристика этого датчика в полной мере удовлетворяют условиям проведения работ по диагностированию ЦПГ (рис. 2).

Мембрана датчика, воспринимающая давление, изготовлена из титанового сплава ВТ-9. Диапазон измеряемых давлений от 0 до 1,6 МПа. Диапазон рабочих температур от – 50° до +120° С. Сопротивление моста 4,5 кОм. Погрешность нелинейности измерений до 0,2%. Начальное значение выходного сигнала ±15 мВ. Диапазон выходного сигнала при номинальной нагрузке 100-200 мВ. Контролируемые среды: углекислый газ, бензин, масло и прочие.

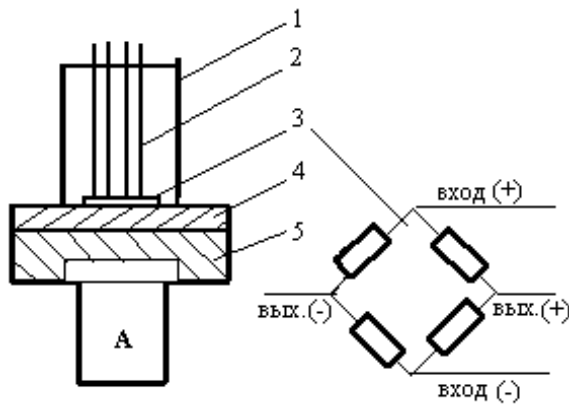


Рис. 2. Датчик МД10-В: 1 – корпус; 2 – контактная группа; 3 – тензочувствительный элемент (мост Уитстона); 4 – сапфировая мембрана; 5 – титановая мембрана; А – полость давления

Начальный разбаланс мостовой схемы связан с разбросом сопротивлений тензорезисторов, проводов и контактных соединений. Под действием давления измеряемой среды в полости А, титановая 5 и сапфировая 4 мембраны прогибаются. Тензорезисторы 3, выполненные на сапфировой мембране 4, меняют свое сопротивление, что приводит к разбалансу моста Уитстона. Разбаланс пропорционален измеряемому давлению. Условие равновесия моста следующее:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4. \quad (1)$$

Тензодатчик обеспечивает пропорциональное преобразование давления в электрический сигнал. Коэффициент тензочувствительности такого преобразования равен:

$$k = \frac{l \cdot \Delta R}{R \cdot \Delta l}, \quad (2)$$

где ΔR – изменение сопротивления тензорезистора;

R – номинальное сопротивление тензорезистора;

Δl – упругая деформация на длине тензорезистора;

l – база тензорезистора.

Связь упругих деформаций с напряжениями в деталях определяется законом Гука. В случае одноосного напряженного состояния имеем зависимость:

$$\sigma = \varepsilon E = \frac{\Delta l}{l} E, \quad (3)$$

где σ – напряжение;

ε – относительная деформация;

E – модуль упругости.

Выразив из выражения (2) относительную деформацию через соотношение величин сопротивления тензорезистора получим выражение, которое определяет характеристику работы тензодатчика:

$$\sigma = \frac{\Delta R}{kR} E. \quad (4)$$

Процесс преобразования между аналоговыми и цифровыми величинами является основной операцией в вычислительных и управляющих системах. Путем преобразования в цифровую информацию с помощью АЦП таких физических параметров, как давление, усилие, перемещение, температура и многих других реализуются высокоскоростные, устойчивые и относительно недорогие системы измерения и передачи данных. Сравнительный анализ существующих технических характеристик АЦП ведущих зарубежных фирм, таких как: Fastwel, Advantech, Dataforth, Diamond Systems, ADDI-DATA, – позволяет сделать заключение, что на современном этапе технического развития получили широкое применение многоразрядные преобразователи, имеющие дифференциальные и потенциальные входы и частоту дискретизации 100 кГц и выше.

Для разрабатываемого диагностического комплекса основными критериями при выборе АЦП являются следующие условия: конструктивная совместимость АЦП с системным блоком компьютера; способность выполнять опрос датчика с высокой степенью дискретизации, обеспечивающей измерение давления в цилиндре двигателя при каждом градусе поворота коленчатого вала; удовлетворительные точностные характеристики; стоимость АЦП должна быть соизмерима со стоимостью системного блока.

Совместимость АЦП с системным блоком компьютера определяется, во-первых, возможностью их подключения по имеющимся каналам связи, во-вторых, возможностью обмена информацией между операционными системами АЦП и процессором.

Разрешающую способность АЦП по частоте опроса датчика можно определить исходя из необходимого количества измерений за один оборот коленчатого вала с учетом заданной частоты вращения коленчатого вала:

$$v_d = q \frac{n_b}{60}, \quad (5)$$

где q – количество измерений величины давления в цилиндре за один оборот коленчатого вала;

n_b – частота вращения коленчатого вала.

Для научных исследований интерес представляет изменение давления в цилиндре при различных углах положения коленчатого вала. Идеальный случай, когда давление в цилиндре будет измеряться при каждом градусе поворота коленчатого вала, т.е. не менее 360 раз за один оборот коленчатого вала. Максимальная частота вращения коленчатого вала, приводимого стартером, может достигать 350-450 мин⁻¹. При таких условиях разрешающая частота дискретизации АЦП должна составлять не менее 2100-2700 Гц.

Точностные параметры АЦП характеризуют статическая и динамическая составляющие процесса преобразования. При подаче на вход АЦП линейно изменяющегося напряжения на выходе из него наблюдается последовательное изменение кодов. Округленный до целого числа двоичный логарифм номинального числа значений выходного кода определяет разрядность АЦП [17]:

$$b = \log_2 N, \quad (6)$$

где N – число значений выходного кода.

Для идеального АЦП напряжение межкодовых переходов соответствует опорным напряжениям, формируемых делителем опорных напряжений (рис. 3).

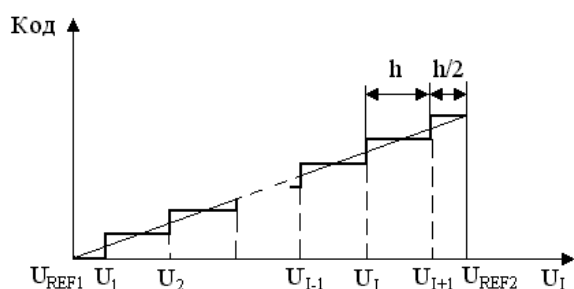


Рис. 3. Характеристика преобразования идеального АЦП [17]

Разность значений напряжений межкодового перехода определяет шаг квантования АЦП. Для того чтобы прямая, проведенная через точки, соответствующие опорным напряжениям U_{REF1} и U_{REF2} , прошла через центры всех ступеней характеристики преоб-

разования идеального АЦП, напряжение первого межкодового перехода U_1 должно отстоять от опорного напряжения U_{REF1} на величину, равную половине шага квантования. Аналогично напряжение последнего межкодового перехода U_{i+1} должно отличаться от опорного напряжения U_{REF2} также на половину шага квантования. Для идеального АЦП ширина ступеньки, равная шагу квантования, будет определяться, как [17]:

$$h = \frac{(U_{REF2} - U_{REF1})}{2^{b-1}}. \quad (7)$$

Несоответствие идеальной и действительной характеристик преобразования определяет точностные параметры АЦП. В полной мере условиям процесса диагностирования ЦПГ двигателя удовлетворяет АЦП, который изготавливается в климатическом исполнении УХЛ категории 4.2 по ГОСТ 15150-69. По электробезопасности аппаратура соответствует классу защиты II, тип защиты ВФ согласно ГОСТ 12.2.025-76. В аппаратуре применяются комплектующие изделия общепромышленного производства, материалы и покрытия которых не являются токсичными. Устройства предназначены для работы в помещении при температуре окружающей среды $0 \sim \dots 55 \sim \text{C}$. Система обеспечивает коммутацию и аналогово-цифровое преобразование сигналов, установку коэффициента усиления по каждому из 6/12 каналов, программную установку частоты дискретизации сигнала, управление режимами работы и калибровку усилителя.

АЦП может осуществлять одновременную передачу информации по 8 каналам с частотой дискретизации 400Гц, либо передачу информации по одному каналу с частотой 3,2 кГц (переключение частоты дискретизации программное). Разрядность преобразования аналог-цифра 8/10, диапазон входных сигналов 0,2...2В (регулируется потенциометром при настройке АЦП). Коэффициент передачи входных сигналов программно управляем (независимо в каждом канале) относительно заданного при настройке исходного уровня. Постоянная составляющая по любому каналу не хуже ± 1 ед. мл. разряда. Уровень шумовых ошибок не хуже ± 1 ед. мл. разряда. Нелинейность амплитудной характеристики может составлять не более 1,5% и дополнительно 0,05% на 1^oC. Погрешность измерения интер-

валов времени составляет 0,1% от измеренной величины. Эта погрешность обусловлена нестабильностью частоты задающего генератора процессора и учитывается при расчете погрешностей определяемых величин. Относительная погрешность измерительного канала с учетом погрешностей АЦП, датчика давления, измерения времени и температурной вариации составит 1,67%.

В настоящее время цифровая техника обновляется очень быстро, в течение 2-3 лет. Поэтому задача выбора архитектуры компь-

ютера заключается в подборе таких составляющих системного блока, которые обеспечили бы диагностическому стенду более длительное использование как в научных исследованиях, так и в производственной сфере технического обслуживания автомобилей.

Программное обеспечение диагностической системы включает базовую встроенную систему ввода-вывода, операционную систему, прикладные программы и языки программирования (рис. 4).

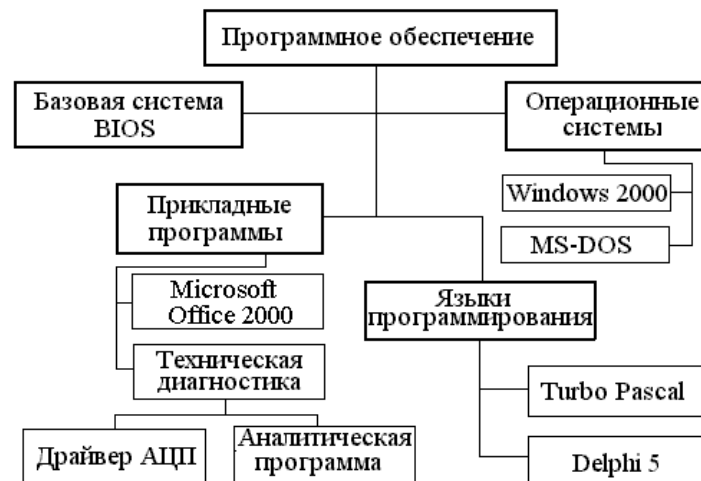


Рис. 5. Классификация программного обеспечения диагностического компьютера

Встроенная базовая система ввода-вывода (BIOS) хранится в постоянной памяти компьютера и осуществляет начальную загрузку операционной системы с жесткого диска компьютера. Диагностический компьютер использует две операционные системы MS-DOS и Windows. Операционная система Windows загружается при каждом включении компьютера и запускает прикладные программы. Преимущества этой современной операционной системы заключаются в том, что она имеет встроенную программную оболочку, которая максимально упрощает диалог оператора с компьютером. Получение первичной диагностической информации от датчика осуществляется, когда диагностический компьютер работает в режиме MS-DOS, что позволяет установить программную связь между процессором компьютера и АЦП.

Разработанный пакет диагностических программ имеет дружественный интерфейс с установленными операционными системами и прикладными программами. В качестве

прикладных программ использован стандартный пакет Microsoft Office, который ориентирован на работу со связью с Интернет. Программы интерактивных баз данных по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей позволяют определить номенклатуру запасных частей и их стоимость, если в результате диагностирования выявляются какие-либо неисправности.

Пакет диагностических программ состоит из программы-драйвера для АЦП и программы для обработки цифровой информации. Программа-драйвер написана на языке Turbo Pascal и позволяет управлять процессом измерения диагностических параметров, отображать этот процесс на мониторе, а также записывать полученную информацию в цифровом виде на жестком диске компьютера. Процесс обработки информации можно представить в виде двух последовательных алгоритмов, которые обеспечивают математическую обработку и графическое отображение информации (рис. 6).

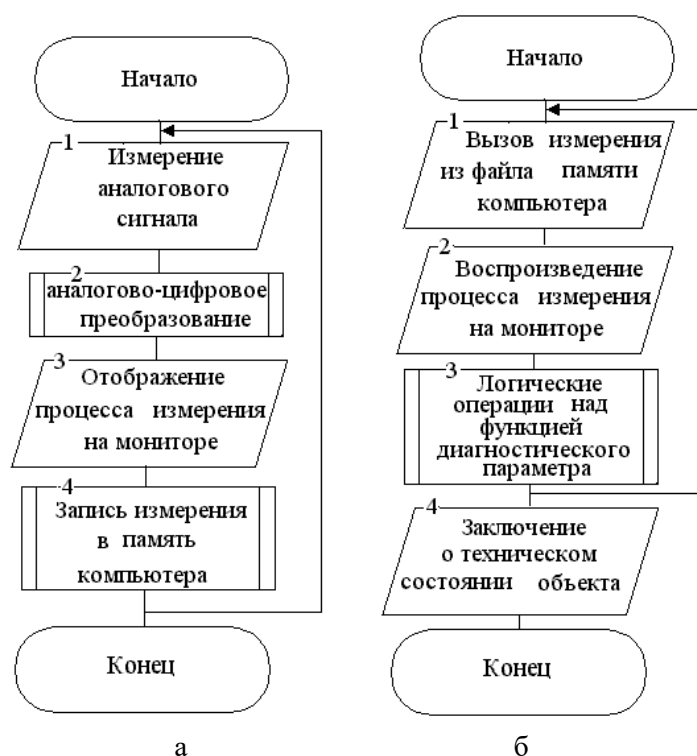


Рис. 6. Схемы общих алгоритмов функционирования диагностической системы: а – получение диагностической информации; б – цифровая обработка данных

Результаты цифровой диагностики герметичности камеры сгорания двигателя

Математическая обработка диагностической информации позволяет установить значения диагностических параметров и выполнить те логические операции, которые необходимы для объективного формирования диагностического заключения [18, 19]. Программа для обработки цифровой информации написана на современном языке Delphi, что позволяет обрабатывать большие массивы первичной информации в среде Windows и воспроизводить выполненные измерения, хранящиеся в памяти компьютера [20, 21]. Программа обеспечивает воспроизведение кривой изменения давления в цилиндре от времени (рис. 7, а) [22].

Поскольку выбранные датчик и АЦП обеспечивают линейное преобразование давления в аналогово-цифровой сигнал, обратный процесс преобразования цифрового сигнала в физическую величину описывается линейной функцией вида:

$$y = ax_c + v, \quad (8)$$

где x_c – цифровой сигнал (аргумент);

a – коэффициент, задающий угол наклона линейной характеристики датчика;

v – коэффициент, позволяющий совместить показания датчика при атмосферном давлении с началом отсчета в прямоугольной системе координат.

Для того чтобы свести к минимуму влияние технического состояния приборов электрооборудования, аккумулятора и стартера на процесс диагностирования ЦПГ в тестовом режиме программа отслеживает в автоматическом режиме изменение частоты оборотов коленчатого вала. С учетом того, что рабочий цикл двигателя происходит за два оборота коленчатого вала, можно принять с большой долей вероятности допущение, что экстремумы величины компрессии в цилиндре отмечаются через каждые два оборота коленчатого вала. Это положение подтверждается экспериментально графическим воспроизведением процесса измерения давления в цилиндре по углу поворота коленчатого вала (рис. 7, б).

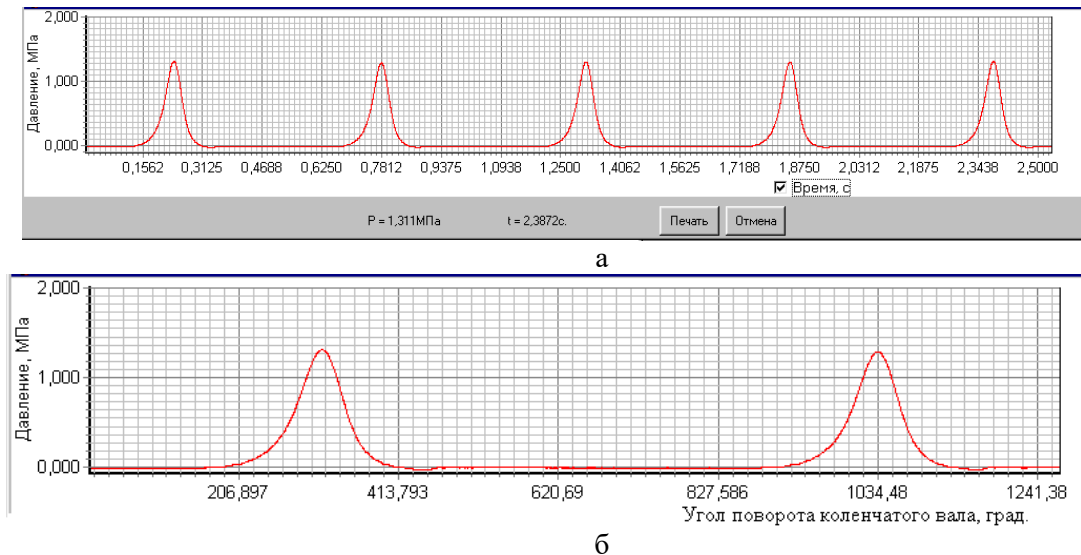


Рис. 7. Графическое воспроизведение процесса изменения давления в цилиндре двигателя: а – от времени; б – от угла поворота коленчатого вала

Зная интервал между двумя экстремумами величины давления, представляется возможным определить частоту вращения коленчатого вала по формуле, мин^{-1} :

$$n_{p.ц} = \frac{120}{t_{ц}}, \quad (9)$$

где $t_{ц}$ – время одного рабочего цикла двигателя (два оборота коленчатого вала), с.

Диагностическая система нормально функционирует при температуре окружающего воздуха от 5°C до 35°C и относительной влажности воздуха от 5 до 95% без конденсации влаги и обеспечивает выполнение следующих операций:

- представление диагностической информации выводится на монитор в цифровом и графическом виде;

- осуществляет ввод и корректировку настроечных коэффициентов измеряемых параметров;

- представляет калибровку датчика;

- выполняет логические операции и расчеты по заданным функциям;

- производит построение отдельных графиков по каждой функции;

- формирует и выдаёт (по команде оператора) диагностическое заключение;

- обеспечивает длительное хранение и просмотр диагностической информации.

Установка датчика в необходимые точки измерения может быть труднодоступна в связи с конструктивными особенностями расположением деталей двигателя, например, глубокой посадкой свечей зажигания в

головке двигателя, у которого на каждый цилиндр приходится по четыре – пять клапанов. Чтобы обеспечить подключение датчика к местам диагностирования возникает необходимость в использовании специального адаптера (рис. 8) [22].

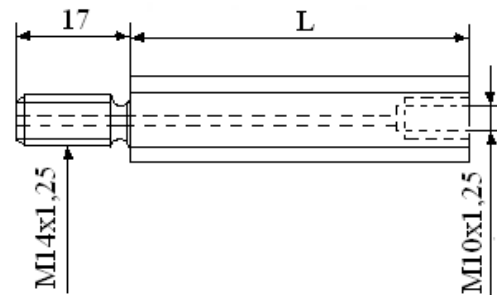


Рис. 8. Адаптер, который предназначен для подключения датчика к цилиндру двигателя

С учетом особенностей конструкции большинства автомобильных двигателя разработан специальный типоразмер адаптера для подключения датчика к цилиндрам (табл. 1).

Табл. 1 – Типоразмер адаптера, который предназначен для подключения датчика

Длина переходника, L (мм)	Тип двигателя
30	Рядное расположение цилиндров, два клапана на цилиндр
60	V-образное расположение цилиндров
120	4 и 5 клапанов на цилиндр

Экспертные исследования технического состояния двигателя

Также выполнялись исследования по оценке герметичности камеры сгорания в рамках проведения автотехнической экспертизы технического состояния двигателя. Так, например, было установлено, что у нового автомобиля AUDI-A6 на пробеге всего 450 км в цилиндрах 2 и 4 произошел отказ системы регулирования фаз – по одному впускному клапану в этих цилиндрах зависло на малом открытии (1 мм), что привело к перегреву этих впускных клапанов и потере компрессии в этих цилиндрах из-за потери ими контакта с седлами. По приезду на СТО дилера (лампа Check, неустойчивая работа, потеря мощности) была выполнена мойка форсунок специальной жидкостью, в результате которой сгорели все свечи, а обломки изоляторов повредили поршни и цилиндры (рис. 9).



Рис. 9. Поврежденные детали двигателя AUDI-A6

Путем измерений было установлено, что потеря компрессии в цилиндрах 2 и 4 связана с клапанной группой, а результаты измерений в остальных цилиндрах отражают характер повреждения ЦПГ (табл. 2), при котором поступление значительного количества масла вызвало повышение компрессии.

Табл. 2 – Результаты измерения компрессии в неисправном двигателе AUDI-A6

№ цилиндра	1	2	3	4	5	6
Компрессия, Bar	19,4	0	17,9	0	17,5	17,9

Выводы

Разработана система диагностирования ЦПГ и герметичности клапанов двигателя, которая включает в себя современный аналогово-цифровой диагностический стенд; методику, которая охватывает весь процесс от подключения датчика до обработки и получения диагностической информации и является универсальной по отношению к различным маркам двигателей автомобилей.

Система обеспечивает более быстрый процесс диагностирования ЦПГ и герметичности клапанов двигателя в течение 20-30 мин. При этом погрешность измеряемой величины давления не превышает 1,7%, что на 0,3-1,3% меньше чем у известных аналогов.

С использованием разработанной диагностической системы выполнены экспериментальные исследования по оценке изменения давления в цилиндрах двигателя. Установлено, что значительные неисправности двигателя с выходом из строя сразу нескольких деталей его основных механизмов сопровождается выходом за пределы допустимого одновременно двух и более диагностических параметров – это падение величины компрессии и увеличение ее разности между цилиндрами двигателя.

Литература

- Golovan A., Rudenko S., Gritsuk I. et al. Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals / SAE Technical Paper, 2018.
- Gritsuk I. V., EY E. Z., Bulgakov N. et al. The complex application of monitoring and express diagnosing for searching failures on common rail system units / SAE Technical Paper, 2018.
- Gritsuk I. V., Volkov V., Mateichyk V., et al. Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in operation conditions / SAE Technical Paper, 2018.
- Capteur de cliquetis pur un vehicule automobile. Application 2762646 France, IPC F02B77 / 08 / Harbinger Eve; Semen's Automotive SA -№ 9705523; Statement 29.4.97; Posted by 30.10.98.
- Druckmessunog in Verbrennungsmotoren. Maschinenwelt - Elektrotechn. – 1992-47, № 3. С. 93 (Deutsch).
- Klopfdrucksensor für Otto-Motoren. Messen und Prüfen-1992-28 , № 5, С.18-19 (Deutsch).
- Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany, MKI G 01 L 23/24. Fisher Gregor, Bayerische Motoren Werke AG.-No. 3934118.6; Statement 12.10.89; Posted by 18.04.91.
- Druckaufnehmer : Application 4016872 Germany, MKI5 G01L23 / 18, G01L23 / 22; Neubeck

- Kurt, Müller Werner, Heller Heinz, Roth Alfred, Alexander Wiegand GmbH No. 4016872.7; Application 05.26.90; Posted by 28.11.91.
9. High pressure sensor: Application 2244335 United Kingdom, MKI5 G01L23 / 08 / Glanfield Simon Kevin, STC plc-No 011694.8; Application on 05.24.90; Posted by 27.11.91.
 10. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany. Baskett Ira, Frank Randy, Slocum Dan. Sensors – 1991-8 № 3. P. 32,34-38,40.
 11. Cylinder pressure sensor for an internal combustion engine: U.S. Patent 5038069, MKI5 H01L41/08/ Lukasiewicz Stanley, Anastasia Charles M., Cooper Lawrence E., Pestana Gregg W.; Texas Instruments Inc. - No. 118374; Statement 11/09/87; Posted on 08/06/91 NKI 310/338.
 12. Pressure sensor having baffing means. U.S. Patent 4,920,805, MKI 5 G01L7 / 08 / Yajima Yasuhito, Watanabe Yasushi, Shibata Kazuyoshi: NGK Insulators-No. 268278; Statement 07.11.88; Published on May 1, 90; NKI 73/706.
 13. Japan Kinchi Mitsuhiro, Yuatsuto Kukiatsu – 1992-23. № 26 – P. 636-640.
 14. MKI4 G 01 L 23/22 / Takeuchi Kiyoshi, Nissan Jidosia No. 63-143176, Statement 10.6.88 Published 18, 89. Kokai tokkekho. Ser. 1989. 6 (1) 192. P. 235-241.
 15. Araki T., Takahashi J., Kobayashi E., Sakamoto S., Tads J. Mitsubishi Danki. -1991-65-No. 9- P. 80-83.
 16. Application 121353, MKI4 G01L23/10/ Iwata Toshio: Mitsubishi Danki KK No. 63-39910; Statement 22.2.88; Posted on 28.8.89. Kokai Tokke Koho. Series 6(1) – 1989-133. – P. 247-251.
 17. Марцинкявичюс А.-Й. К., Багданскис Э.-А. К., Пошюнас Р. Л. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров: Радио и связь, 1988. – 224с.
 18. Сараева И.Ю. Регрессионны анализ случайно величины компрессии. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011. Вып. 51. – С. 105-110.
 19. Сараева И.Ю., Дибров В.К. Закономерность распределения случайной величины компрессии в двигателях внутреннего сгорания. Scientific discussion. №38. Praha, Czech Republic. - 2019. С 48-52.
 20. Сараева І. Метод діагностики герметичності камери згорання бензинового двигуна автомобіля. Монографія под редакція naukowa Kazimierza Lejdy – Pzeszow, 2017. С. 85-93.
 21. Сараева И. Ю., Цапко С.С. Определение предельно-допустимых значений технического состояния цилиндра и поршня эмпирическим способом на автомобиле. Slovak international scientific journal №36, Bratislava, Slovakia. – 2019. С 36-43.
 22. Saraiev, O., Saraieva, I., Gritsuk, I., Volkov, V. et al. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group. SAE Technical Paper 2020-01-2022. 2020.

References

1. Golovan A., Rudenko S., Gritsuk I. et al. (2018) Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals. SAE Technical Paper.
2. Gritsuk I. V., EY E. Z., Bulgakov N. et al. (2018) The complex application of monitoring and express diagnosing for searching failures on common rail system units / SAE Technical Paper.
3. Gritsuk I. V., Volkov V., Mateichyk V., et al. (2018) Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in operation conditions. SAE Technical Paper.
4. Capteur de cliquetis pur un vehicule automobile. Application 2762646 France, IPC F02B77 / 08 / Harbinger Eve; Semen's Automotive SA 9705523; Statement 29.4.97; Posted by 30.10.98.
5. Druckmessung in Verbrennungsmotoren. Maschinenwelt - Elektrotechn. 1992. 47 (3). 93.
6. Klopfdrucksensor für Otto-Motoren. Messen und Prüfen-1992-28, № 5, С.18-19 (Deutsch).
7. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany, MKI G 01 L 23/24. Fisher Gregor, Bayerische Motoren Werke AG.- No. 3934118.6; Statement 12.10.89; Posted by 18.04.91.
8. Druckaufnehmer : Application 4016872 Germany, MKI5 G01L23 / 18, G01L23 / 22; Neubeck Kurt, Müller Werner, Heller Heinz, Roth Alfred, Alexander Wiegand GmbH No. 4016872.7; Application 05.26.90; Posted by 28.11.91.
9. High pressure sensor: Application 2244335 United Kingdom, MKI5 G01L23 / 08 / Glanfield Simon Kevin, STC plc-No 011694.8; Application on 05.24.90; Posted by 27.11.91.
10. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany. Baskett Ira, Frank Randy, Slocum Dan. Sensors. 1991. 8 (3). 32,34-38,40.
11. Cylinder pressure sensor for an internal combustion engine: U.S. Patent 5038069, MKI5 H01L41/08/ Lukasiewicz Stanley, Anastasia Charles M., Cooper Lawrence E., Pestana Gregg W.; Texas Instruments Inc. - No. 118374; Statement 11/09/87; Posted on 08/06/91 NKI 310/338.
12. Pressure sensor having baffing means. U.S. Patent 4,920,805, MKI 5 G01L7 / 08 / Yajima Yasuhito, Watanabe Yasushi, Shibata Kazuyoshi: NGK Insulators-No. 268278; Statement 07.11.88; Published on May 1, 90; NKI 73/706.
13. Japan Kinchi Mitsuhiro, Yuatsuto Kukiatsu – 1992-23. 26. 636-640.
14. MKI4 G 01 L 23/22 / Takeuchi Kiyoshi, Nissan Jidosia No. 63-143176, Statement 10.6.88 Published 18, 89. Kokai tokkekho. Ser. 1989. 6 (1) 192. 235-241.

15. Araki T., Takahashi J., Kobayashi E., Sakamoto S., Tads J. (1991) Mitsubishi Danki. 9. 80-83.
16. Application 121353, MKI4 G01L23/10/ Iwata Toshio: Mitsubishi Danki KK No. 63-39910; Statement 22.2.88; Posted on 28.8.89. Kokai Tokke Koho. Series 6(1) 1989.133. 247-251.
17. Martsinkyavichyus A.-Y. K., Bagdanskis E.-A. K., Poshyunas R. L. (1988) By-istroyeystvuyuschie integralnyie mikroshemyi TsAP i ATsP i izmerenie ih parametrov [High-speed integrated circuits DAC and ADC and measurement of their parameters] Radio i svyaz [in Russian].
18. Saraeva I. Yu. (2011) Regressionnyi analiz sluchayno velichinyi kompressii. [Regression analysis of random compression magnitude.] Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternyye integrovannyye tehnologii: sb. nauch. tr. Harkov: Nats. aerokosm. un-t «HAL», 51. 105-110 [in Russian].
19. Saraeva I.Yu., Dibrov V.K. (2019) Zakonomernost raspredeleniya sluchayno velichinyi kompressii v dvigatelyah vnutrennego sgoraniya. [Regularity of distribution of a random variable of compression in internal combustion engines] Scientific discussion. Praha, Czech Republic. 28. 48-52 [in Russian].
20. Saraeva I. (2017) Metod diahnostryki hermetychnosti kamery zghorannia benzynovoho dvyhuna avtomobilia. [Method of diagnostics of tightness of the combustion chamber of the gasoline engine of the car] Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. Pzeszow. 85-93 [in Ukrainian].
21. Saraeva I. Yu., Tsapko S.S. (2019) Opredelenie predelno-dopustimyih znacheniy tehnicheskogo sostoyaniya tsilindra i porshnya empiricheskim sposobom na avtomobile. [Determination of the maximum permissible values of the technical state of the cylinder and piston empirically on a car] Slovak international scientific journal. Bratislava, Slovakia. 36. 36-43 [in Russian].
22. Saraiev, O., Saraeva, I., Gritsuk, I., Volkov, V. et al. (2020) Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group. SAE Technical Paper 2020-01-2022.

Сараева Ирина Юрьевна¹, к.т.н., доцент, тел. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Хрулев Александр Эдуардович², к.т.н., с.н.с., судебный эксперт по специальности 10.2 "Исследование технического состояния транспортных средств", alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183

Воробьев Александр Николаевич¹, аспирант, тел. +38 093-47-76-660, sanechek007@icloud.com.

Сибко Дмитрий Павлович¹, аспирант, тел. +38 099-107-22-82, e-mail: dsebko@gmail.com

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

²Международное моторное бюро, ул. Школьная, д.15, пгт. Немешаево, Бородинский район, Киевская область, 07853, Украина.

Digital diagnostics for determining the tightness of the combustion camera of the car engine

Annotation. Problem. The work is aimed at increasing the reliability, accuracy, information content and depth of the process of diagnosing the cylinder-piston group of the engine. For this, an automated diagnostics system has been developed, which includes a system unit with a monitor, special software for measuring and processing information, a measuring analog-digital module, adapters for connecting to the engine. The diagnostic system allows you to record the change in pressure in the cylinder with each degree of crankshaft rotation with an error that does not exceed 1.7%. The system also allows you to save, reproduce and transfer diagnostic information in digital, graphic and text form. It can be used for expert studies of the technical condition of engine mechanisms. **Purpose.** The purpose is to develop and improve a digital stand for diagnostics of the tightness of a car engine combustion chamber. **Methodology.** The complex process of diagnostics of mechanisms ensuring the tightness of its chambers is considered. The current digital technology is used to measure the pressure in the camera. To improve the accuracy of diagnostics, a digital system of rejection of diagnostic information is thoroughly implemented. Experimental tests are conducted, as well as an expert advice on the technical definition of the engine, its mechanics and details. **Results.** The system for diagnosing the tightness of the combustion chamber has been developed and tested, which includes a modern analog-digital diagnostic stand and a technique that will allow the whole process of connecting the sensor to the processing of the form of diagnostics to the vehicle. The system will secure a faster process of diagnostics of an engine during 20-30 min. At the same time, the decrease in the size of the grip does not exceed 1.7%, which is 0.3-1.3% less than with the known analogs. **Originality.** Thanks to a more advanced digital system for measuring the pressure in the engine cylinders in the work the curves of changes in this pressure at each degree of rotation of the crankshaft and at different speeds of its rotation are obtained. **Practical value.** Developed and improved digital stand and method of measuring the pressure in the cylinders of the engine can be used for diagnostic work at car service stations, as well as for automotive research (expertise) to determine the development of fault mechanisms engine.

Keywords: car, engine, diagnostics, stand, dimension, parameter, incompatibility, airtightness, combustion chamber, pressure.

Saraeva Irina¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Khrulev Alexander E.², Ph.D., Senior Researcher, forensic expert on specialty 10.2 "Study of the vehicles technical condition", alo.engine@gmail.com, tel. +38 096 616 183

Vorobiov Oleksandr M.¹, P.G., tel. +38 093-47-76-660, e-mail: sanechek007@icloud.com.

Sebko Dmytro¹, P.G., +38 099-107-22-82, e-mail: dsebko@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

¹International Motor Bureau, Shkolnaya str., 15, Nemeshaevo, Borodyansky district, Kiev region, 07853, Ukraine.

Цифрова діагностика для визначення герметичності камери згоряння двигуна автомобіля

Анотація. Робота спрямована на підвищення достовірності, точності, інформативності і заглибленості процесу діагностування циліндро-поршневої групи двигуна. Для цього розроблена автоматизована система діагностування, яка включає в себе системний блок з монітором, спеціальне програмне забезпечення для вимірювання і обробки інформації, вимірювальний аналогово-цифровий модуль, адаптери для підключення до двигуна. Діагностична система дозволяє фіксувати зміну тиску в циліндрі при кожному градусі повороту колінчастого вала з похибкою, яка не перевищує 1,7%. Також система дозволяє зберігати, відтворювати і передавати діагностичну інформацію в цифровому, графічному і текстовому вигляді. Може використовуватися при експертних дослідженнях технічного стану механізмів двигуна. **Мета.** Розробити та вдосконалити цифровий стенд для діагностики герметичності камери згоряння двигуна автомобіля. **Методологія.** Розглянутий складний процес діагностування механізмів двигуна, що забезпечують герметичність його камер згоряння. Застосовані сучасні цифрові технології вимірювання тиску в камері згоряння двигуна. Для покращення точності діагностування вдосконалені цифрова система отримання діагностичної інформації. Проведенні експериментальні випробування, а також експертні дослідження з визначення технічного стану двигуна, його механізмів та деталей. **Результати.** Розроблено

та апробовано систему діагностування герметичності камери згоряння двигуна, яка включає в себе сучасний аналогово-цифровий діагностичний стенд та методику, що охоплює весь процес від підключення датчика до обробки і отримання діагностичної інформації і є універсальною по відношенню до різних марок двигунів автомобілів. Система забезпечує більш швидкий процес діагностування двигуна протягом 20-30 хв. При цьому похибка вимірюваної величини тиску не перевищує 1,7%, що на 0,3-1,3% менше ніж у відомих аналогів. **Оригінальність.** Завдяки більш вдосконаленій цифровій системі вимірювання тиску в циліндрах двигуна в роботі отримані криві зміни цього тиску при кожному градусі оберту колінчастого вала і при різних швидкостях його обертання. **Практична цінність.** Розроблені та удосконалені у роботі цифровий стенд та методику вимірювання тиску в циліндрах двигуна можна застосовувати при проведенні діагностичних робіт на станціях технічного обслуговування автомобілів, а також при проведенні автотехнічних досліджень (експертиз) з визначення розвитку механізмів несправності двигуна.

Ключові слова: автомобіль, двигун, діагностика, стенд, вимір, параметр, несправність, герметичність, камера згоряння, тиск.

Сарасва Ірина Юрївна¹, к.т.н., доцент, тел. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Хрулев Олександр Едуардович², к.т.н., с.н.с., судовий експерт за фахом 10.2 «Дослідження технічного стану транспортних засобів», alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183

Воробйов Олександр Миколайович¹, аспірант, e-mail: sanechek007@icloud.com, тел. +38 093-47-76-660

Себко Дмитро Павлович¹, аспірант, тел. +38 099-107-22-82, e-mail: dsebko@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Міжнародне моторне бюро, вул. Шкільна, д.15, смт. Немішаєве, Бородянський район, Київська область, 07853, Україна.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ АВАРІЙНОСТІ НА АВТОШЛЯХАХ

Симбірський Г. Д.¹, Кушнір Е. Д.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Запропоновано використання інформаційних технологій для зниження аварійності на автошляхах в частині, що пов'язана з керуванням транспортними засобами (ТЗ) в нетверезому стані. Розроблений спосіб унеможливлення керування ТЗ нетверезими водіями на основі мікропроцесорної техніки. Розроблено функціональну схему пристрою на основі мікропроцесорної платформи Arduino для антиалкогольного блокування ТЗ. Докладно описаний такий пристрій, що сконструйований, зібраний, запрограмований спеціально розробленою програмою та експериментально перевірений.

Ключові слова: платформа Arduino, інформаційні технології, зниження аварійності на автошляхах, мікропроцесорні системи, програмування мікропроцесорів.

Вступ

На дорогах світу через автомобільні аварії щороку гине близько мільйона осіб і ще близько 50 мільйонів людей одержують травми. Такий рівень дорожнього травматизму дорого обходиться економіці будь-якої країни, поглинаючи від 1 до 3 % ВВП [1].

В Україні ситуація з аварійністю автотранспортних засобів не краще. У 2017 році прем'єр-міністр В. Гройсман оголосив: "За даними Світового банку, збитки економіки через ДТП на дорогах України складають 1,5-2,5% ВВП. Ми втрачаємо 4,5 млрд доларів від транспортних пригод в рік." [2].

Але найголовніше – це людські життя і горе безлічі сімей, що оцінити в гривнях або доларах неможливо.

Все вищесказане дозволяє оцінити важливість і глобальність проблеми зниження аварійності на автомобільному транспорті.

Глобальність зазначеної вище проблеми обумовлює глобальний рівень зусиль щодо її вирішення. Цим займаються і громадські організації, і національні уряди, і найбільші міжнародні структури.

В роботі [3] ми докладно аналізували дослідження [1] Міжнародного транспортного форуму, який є глобальною платформою для розробників політики в транспортній сфері.

Зібравши і вивчивши дані з сотні країн про рівні дорожньої безпеки, сучасні стратегії останньої, про витрати, пов'язані з дорожньою аварійністю і витрати на підвищення дорожньої безпеки, експерти [1] зробили висновок, що рівень безпеки дорожнього руху мо-

жна підвищити в короткостроковій перспективі, вирішивши дві основних проблеми:

1. Примусове дотримання існуючих обмежень швидкості;
2. Скорочення водіння в нетверезому вигляді.

По першій проблемі нами були вже зроблені деякі розробки [3]. В цьому дослідженні пропонується вирішення другої проблеми – унеможливлення керування транспортними засобами водіями у нетверезому стані.

Аналіз публікацій

Ризик ДТП зростає зі збільшенням вмісту алкоголю в крові водія, і чим вище рівень алкоголю, то тим більше цей ризик. Водіння під впливом алкоголю, що перевищує допустиму норму, є зареєстрованим фактором аварій зі смертельним результатом в більшості країн, причому частка цього фактору у всіх випадках загибелі водіїв може бути як відносно низькою: близько 5% в таких країнах, як Мексика, Болгарія, Чехія, Португалія і Румунія, так і високою: від 30 до 40% в таких країнах, як Канада, Словенія, США, Франція, Ірландія та Нова Зеландія [1]. Близько 25% всіх смертельних випадків на дорогах Європи пов'язані з алкоголем [1].

З метою зниження аварійності, викликані водінням в нетверезому вигляді, в США і в деяких країнах Європи запроваджена установка антиалкогольного блокування на автомобілях порушників, які вчинили порушення вперше, але в небезпечній ступені, а також всіх порушників-рецидивістів, в поєднанні з курсом

удосконалення навичок водіння і програмою медичного консультування в разі підозри на алкогольну залежність.

Блокування має значний потенціал для скорочення даної проблеми, особливо якщо його встановлювати практично відразу після порушення і якщо установка супроводжується медичними програмами консультування та лікування алкоголізму.

Експерти [1] вважають, що існує потенціал повного усунення водіння в нетверезому вигляді як проблеми для безпеки дорожнього руху, якщо встановити антиалкогольне блокування на всі транспортні засоби, а не тільки на машини порушників-рецидивістів. Однак в більшості країн перш, ніж вводити обов'язкову вимогу щодо встановлення такого блокування на всіх автомобілях, необхідно переконати широкий загал громадськості в її цінності і технічній надійності.

Сумлінного водія транспортного засобу антиалкогольне блокування ніяк не обмежує в його можливостях, а до деяких можливих незручностей він, напевно, поставиться з розумінням. Адже нетверезий водій - це потенційна загроза для будь-якого громадянина України, в тому числі, для членів сім'ї водія сумлінного.

Але при розробці способів антиалкогольного блокування автомобілів і при конструюванні пристроїв для їх реалізації необхідно врахувати всі можливі негативні наслідки даного втручання в конструктив автомобіля.

З іншого боку, конструкція таких пристроїв повинна забезпечити однозначне виявлення нетверезих водіїв і не дозволяти цим водіям керувати транспортним засобом.

Пошук в українському інформаційному просторі по антиалкогольному блокуванню транспортних засобів не дав результатів – не знайдено жодних відомостей на цю тему. Російськомовних статей чи інших документів, де б були запропоновані технічні рішення для скорочення водіння в нетверезому вигляді, теж нами не знайдено. На початку 2000-х у російській Госдумі було винесено до голосування законопроект по впровадженню так званих “алкозамків”, однак, його не було проголосовано, і технічну реалізацію не було розпочато. Ні в Україні, ні в Росії патентний пошук також не дав результатів – не знайдено жодних авторських свідоцтв на цю тему.

Взагалі, як не дивно, цією проблемою (як і проблемою примусового дотримання існуючих обмежень швидкості водіями транспорт-

них засобів) не займаються не тільки в Україні та Росії, але й у багатьох інших країнах світу.

Таким чином, проведений аналіз показав, що в даний час в Україні не вирішена задача унеможливлення керування транспортними засобами водіями у нетверезому стані. А саме це, на думку експертів Транспортного форуму [1], багато в чому є запорукою зниження аварійності на автодорогах.

Передумовами для виконання такої задачі є, по-перше, бажання суспільства жити в безпечному середовищі, а, по-друге, – стрімкий розвиток мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій.

Мета та постановка задачі

Виходячи з проведеного аналізу, нами була сформульована мета дослідження, яка полягає в створенні способу і пристрою для унеможливлення керування транспортними засобами водіями у нетверезому стані.

Для того, щоб реалізувати запропонований спосіб антиалкогольного блокування на базі сучасних інформаційних технологій, необхідно вирішити ряд завдань:

1. Сформулювати концепцію підвищення безпеки дорожнього руху в Україні в частині унеможливлення керування транспортними засобами водіями у нетверезому стані;
2. Розробити функціональну схему пристрою для антиалкогольного блокування транспортних засобів;
3. Розробити електричну принципову схему такого пристрою;
4. Зібрати і випробувати натурний зразок блокувального пристрою в лабораторних умовах для експериментального підтвердження працездатності запропонованого способу;
5. Випробувати пристрій на автомобілі на еталонних значеннях вмісту алкоголю у крові водія;
6. Вирішити можливі питання про використання відеокамери в цьому пристрої для ідентифікації водіїв.

Можливо, що в ході вирішення цих задач, постануть й інші проблеми.

Вирішення кожного з цих завдань само по собі є окремою серйозною дослідницькою роботою. Поставлені завдання ми бачимо досить широкими, особливо, в частині реалізації в реальних транспортних засобах. Це і градуїровка чутливого елемента антиалкогольного блокувальника, ідентифікація водія, алгоритм безпечної зупинки автомобіля та припинення

подачі палива в двигун, неушкодження автомобіля і безпека водія, пасажирів та вантажу транспортного засобу.

Тому першочерговим завданням є формування концепції з підвищення безпеки на автошляхах України в частині, що обумовлена керуванням транспортними засобами (ТЗ) нетверезими водіями, розробка способу унеможливлення такого керування та конструювання та випробування, що реалізує такий спосіб пристрою.

Розробка концепції боротьби з нетверезими водіями ТЗ

Спосіб підвищення безпеки дорожнього руху за рахунок унеможливлення керування транспортними засобами нетверезими водіями полягає в наступному.

У кабіні ТЗ в безпосередній близькості від водія розташований сенсорний датчик, що розпізнає пари спирту у повітрі.

Відповідний електричний сигнал від датчика надходить на мікропроцесор, який вимірює рівень сигналу від сенсора і, відповідно до програми дій, виконує ті чи інші процедури.

Зміст цих процедур залежить від багатьох факторів. У деяких країнах (а в США навіть в деяких штатах) є закони, які дозволяють застосування пристроїв блокування запалювання в якості альтернативи покаранню для нетверезих водіїв. У США пропонується установка пристроїв блокування запалювання (УБЗ) з різними порогоми установки. Пороги кримінального процесу для вимог установки варіюються від мінімального рівня алкоголю в крові (наприклад, 0,2%) до повторного порушення, причому приблизно в половині штатів потрібна установка при першому порушенні.

У більшості штатів встановлено рівень «нульового допуску» (встановлений або на рівні, відповідному кулінарному алкоголю або помилок вимірювання). В цілому, в США розвинене і докладне законодавство, що відноситься до антиалкогольних УБЗ. Якесь положення з нього, можливо, запозичить і Україна, якщо візьме на озброєння концепцію використання антиалкогольних блокуючих пристроїв. Але на сьогодні такі заходи в Україні навіть не обговорюються.

Деякі політики в Швеції, Японії, Канаді, США та інших країнах закликають встановити такі пристрої в якості стандартного обладнання на всі автомобілі, що продаються. Проблеми, які необхідно вирішити, крім

прийняття споживачами і виборцями таких закликів включають складність отримання точних вимірювань і необхідність досягнення високої надійності, щоб не заважати зручності використання транспортного засобу [1].

В Україні справи з аварійністю, обумовлені керуванням транспортними засобами у нетверезому стані, не кращі. За даними Патрульної поліції, за 10 місяців цього року зафіксовано 1,4 тис. ДТП через водіння в стані алкогольного сп'яніння. Це на 25,2% більше, ніж за аналогічний період минулого року. В результаті цих ДТП 1 тис. 360 осіб отримали травми і 78 – загинули. Для порівняння, за весь 2018 рік кількість загиблих в результаті водіння в нетверезому стані становила 87 осіб [4].

Тому, на наш погляд, в Україні законодавчо потрібно вводити антиалкогольні пристрої блокування запалювання (або інших). Всі збільшення сум штрафів за водіння транспортного засобу в стані алкогольного сп'яніння за багато років не принесли жодних результатів. При цьому необхідна роз'яснювальна робота з суспільством щодо всіх сторін використання антиалкогольних УБЗ.

Розробка способу унеможливлення керування ТЗ нетверезими водіями

У попередньому розділі зроблено висновки про необхідність введення в Україні обов'язкового обладнання всіх автомобілів антиалкогольними блокуючими пристроями, що має зробити практично неможливим керування транспортними засобами нетверезими водіями.

В даному розділі пропонується найбільш оптимальний спосіб такого блокування. Завдання не таке просте, адже блокування запалювання, наприклад, під час руху транспортного засобу може призвести до непередбачуваних наслідків не тільки для заблокованого ТЗ, але і для ТЗ, які перебувають під управлінням сумлінних водіїв.

Проаналізувавши декілька можливих варіантів функціонування антиалкогольних пристроїв блокування запалювання, ми зупинилися на наступному способі.

Сенсорний датчик, що діагностує пари спирту, встановлюється в місці, найбільш наближеному до обличчя водія транспортного засобу. Оскільки сучасні датчики парів спирту мають невеликі розміри, то місцем установки може бути і кермо, і приладова панель.

У США пристрої, що містять такі датчики, мають розміри приблизно $100 \times 50 \times$, мають штуцер для видиху і з'єднані з панеллю приладів шлангом довжиною 70-80 см. На наш погляд така конструкція дає можливість для зловживань. Наприклад, передній пасажир може робити видих в антиалкогольний блокуючий пристрій замість водія. Таким чином, для функціонування такого пристрою необхідні додаткові захисні заходи.

У запропонованому нами способі антиалкогольного блокування таку фальсифікацію зробити набагато складніше, тому пари спирту, що видихаються нетверезим водієм повинні неминуче досягти чутливого елемента датчика, вмонтованого, наприклад, в обід керма.

У разі, якщо в повітрі, що видихається водієм, будуть присутні пари спирту, антиалкогольний блокувальний пристрій повинен розімкнути електричні ланцюги запалювання і живлення стартера, внаслідок чого транспортний засіб не зможе рушити з місця.

Щоб виключити інші можливі випадки керування транспортним засобом водіями в стані алкогольного сп'яніння, датчик парів спирту повинен періодично включатися при працюючому двигуні, тобто і під час руху транспортного засобу. Або уявіть ситуацію, коли двигун запускає хтось із знайомих нетверезого водія, а потім передає останньому керування транспортним засобом. Подібні випадки повинні бути враховані і виключені програмним шляхом.

З іншого боку, в програмному забезпеченні блокуючого пристрою повинні бути враховані вимоги до безпеки як блокуємих, так і оточуючих транспортних засобів. При блокуванні не повинно бути, наприклад, різкої зупинки ТЗ під час руху. Автомобіль в цьому випадку повинен плавно знизити швидкість до повної зупинки з включенням звукової і світлової сигналізації.

На рис. 1 показана структурна схема розробленого способу зниження аварійності на автошляхах.

Наведена схема є укрупненою і складається з основних функціональних блоків. У разі отримання від датчика-сенсора сигналу про наявність парів алкоголю у повітрі, що видихає водій, мікропроцесорний блок управління формує сигнал на розмикання для нормально-замкнених контактів реле, які забезпечують електричним живленням стартер, запалювання та електробензонасос транспортного засобу, що не дає завестися двигуну остан-

нього, тим самим запобігаючи нетверезий керування транспортними засобами з непередбачуваними наслідками.

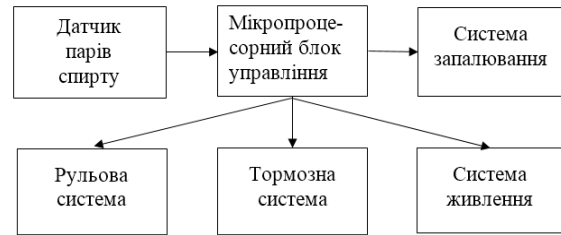


Рис. 1. Структурна схема способу унеможливлення керування транспортними засобами нетверезими водіями

Таким чином, спосіб, що пропонуємо антиалкогольного блокування транспортного засобу полягає в безумовному блокуванні запалювання та запуску двигуна ТЗ по сигналу від датчика парів спирту про наявність парів спирту в повітрі, що видихається водієм, з метою недопущення керування транспортним засобом нетверезим водієм. При цьому будуть потрібні деякі зміни в програмному забезпеченні мікропроцесорного блоку управління транспортного засобу.

Формальні і технічні передумови для реалізації запропонованого способу підвищення безпеки на автошляхах України наступні:

1. Величезні моральні та матеріальні збитки від аварійності на автошляхах і прагнення до їх мінімізації у влади, експертного співтовариства і громадянського суспільства;
2. Розвиток мікропроцесорної техніки і мехатроніки взагалі та на транспорті окремо;
3. Тотальне покриття мережею GSM-телефонії та інтернету автодоріг України.

Таким чином, запропоновано та розроблено спосіб зниження аварійності на автодорогах в частині, що залежить від керування транспортними засобами водіями у нетверезому стані.

Конструювання пристрою для запобігання керуванню транспортним засобом у нетверезому стані

Метою даного розділу є розробка і конструювання пристрою, що реалізує запропонований в попередньому розділі спосіб зниження аварійності транспортних засобів за рахунок неприпустимості управління ними водіями в стані алкогольного сп'яніння. Йдеться про обов'язкове обладнання такими пристроями всіх автомобілів, що має бути встановлено на законодавчому рівні. Такий пристрій

може бути розроблено для будь-якого транспортного засобу з різним ступенем втручання в обладнання автомобіля. На якому варіанті конструкції зупинитися і якого рівня має бути втручання в конструкцію і в програмне забезпечення автомобіля, будуть вирішувати законодавці.

Очевидно, що знадобляться додаткові дослідження і випробування розроблених пристроїв з метою вибору їх оптимальної конструкції і зведення до мінімуму можливих аварійних ситуацій, пов'язаних із застосуванням таких пристроїв під час руху ТЗ.

Відкритих питань щодо застосування пристроїв для антиалкогольної блокування транспортних засобів достатньо. Це й устаткування такими пристроями вже експлуатованих автомобілів, і алгоритм зупинки рухомого транспортного засобу, в якому в повітрі салону виявлені пари спирту, і багато інших питань. Обсяг цього дослідження не дозволяє зупинитися докладніше на цих питаннях. Це зовсім інший обсяг і засобів на дослідження, на обладнання і часу на їх проведення.

Нами зроблені певні кроки в цьому напрямку. Розпочато розробку програмного забезпечення антиалкогольного блокуючого пристрою для різної глибини впровадження в звичайне заводське ПО. В даному розділі представлена розробка антиалкогольного блокуючого пристрою початкового рівня.

Розроблений пристрій реалізує описаний вище спосіб антиалкогольного блокування транспортного засобу без втручання в програмне забезпечення останнього, тому даний пристрій може встановлюватися і на автомобілі, що вже знаходяться в експлуатації, без втручання в їх конструкцію, а також на автомобілі застарілих конструкцій, які не мають мікропроцесорних блоків управління.

На рис. 2 наведена структурна схема антиалкогольного блокувального пристрою, що реалізує запропонованій вище спосіб зниження аварійності на автошляхах.

Пристрій розроблено на основі мікропроцесора і є автономним по відношенню до транспортного засобу, на якому він встановлений.

Працює розроблений пристрій наступним чином. За сигналом від датчика про присутність у повітрі салону ТЗ парів спирту мікропроцесор формує керуючий сигнал для реле з нормально замкнутими контактами, через які проходить живлення електрострумом стартеру. Контакти реле розмикаються, унеможливаючі запуск двигуна транспортного за-

собу. Тим же чином в цілях безпеки унеможливується живлення електрострумом бензонасосу.

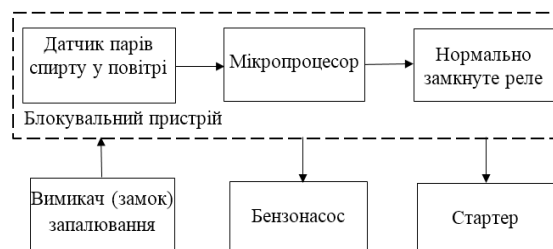


Рис. 2. Структурна схема антиалкогольного блокувального пристрою

Антиалкогольний блокувальний пристрій реалізовано нами на базі платформи мікропроцесорної техніки *Arduino* [5]. Вибір цієї платформи обумовлений її широким розповсюдженням, наявністю у продажу величезної кількості всіляких датчиків, мікропроцесорів, різних супутніх радіоелектронних елементів, порівняно невисокою ціною, наявністю великої бібліотеки програм тощо. Використання мови програмування *C++* дозволяє розробнику пристроїв на платформі *Arduino* самому створювати програмне забезпечення для проектів. Мікропроцесори програмуються за допомогою спеціальної програми.

Крім того, в цій платформі продуманий зручний монтаж радіоелементів без пайки контактів. Цей момент особливо важливий для нас, так як в подальшому планується використовувати дану розробку як основу для лабораторної роботи при вивченні дисципліни "Інформаційні технології в керуванні автотранспортними засобами".

Для розроблюваного пристрою була обрана мікропроцесорна система *Arduino Uno* версії *R3*. Це друкована плата на основі 8-бітного мікроконтролера *ATmega328P* [6] (рис. 3). Таким чином, плата *Arduino Uno* є платою розширення або платою розробника *ATmega328P*.

На платі є ще один допоміжний мікроконтролер *ATmega16U2*. У *Arduino Uno* є 14 цифрових і 6 аналогових входів/виходів, пристосованих для роз'ємного монтажу, кварцовий кристал-резонатор на 16 МГц, вихід *USB*, кнопка перезавантаження, вихід для підключення адаптера живлення (7-12 В) або батарейки на 9 В, роз'єм для програмування контролера. Крім цього, плата має три виходи землі (*GND*), один вихід на 5 В, один – на 3,3 В та *Vin*-пін для підключення зовнішнього джерела живлення або для отримання напруги,

що перевищує 5 В, якщо плата підключена до зовнішнього адаптера живлення (через *USB* з'єднання живлення обмежується 5 В).

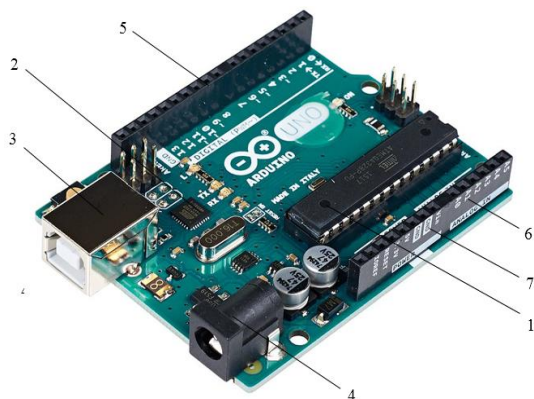


Рис. 3. Мікропроцесорна система *Arduino Uno* версії *R3*: 1 – мікроконтролер *ATmega328P*; 2 – мікроконтролер *ATmega16U2*; 3 – *USB* порт плати; 4 – роз'єм для живлення; 5 – 14 цифрових виходів; 6 – шість аналогових виходів; 7 – виходи живлення

Мікроконтролер *ATmega328P* для *Arduino Uno* поставляється вже з завантажувачем програм, що дозволяє завантажувати програмний код без використання зовнішнього програматора, а безпосередньо зі звичайного персонального комп'ютера через роз'єм *USB*.

В якості сенсора використаний датчик парів спирту *MQ-3* [7], призначений для реєстрації і вимірювання концентрації парів алкоголю в повітрі (рис. 4).



Рис. 4. Датчик парів спирту *MQ-3*

Для використання в якості переривника електричного кола живлення стартера в антиалкогольному блокувальному пристрої було вибрано реле *HLS-13F-2* [8] (рис. 5), призна-

чене для ланцюгів постійного струму з напругою 12 В і силою струму до 10 А з нормально замкнутими контактами. Ці параметри відповідають тим струмам і напругам, які можливі при експлуатації пристрою в реальних умовах транспортного засобу.

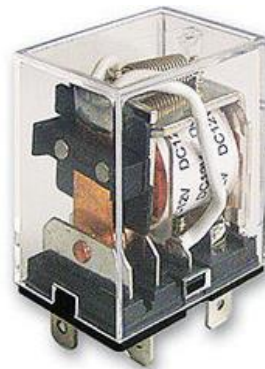


Рис. 5. Реле *HLS-13F-2*

Поєднанням перерахованих вище компонентів відповідно до розробленої електричної схеми (рис. 6) було отримано розроблюваний антиалкогольний блокувальний пристрій для транспортних засобів, на яких відсутній електронний блок управління.

Принцип дії антиалкогольного блокувального пристрою наступний.

Основою пристрою є друкована плата *Arduino Uno* з встановленим мікроконтролером *ATmega328P*. На схемі (рис. 6) зображені тільки ті контакти плати, які задіяні в роботі пристрою. Їх при монтажу пристрою легко визначити по добре помітному маркуванню (рис. 3).

Датчик парів спирту *MQ-3*, розміщений в салоні автомобіля якомога ближче до обличчя водія і отримуючий живлення 5В з контактів *GND* і 5В плати *Arduino Uno*, весь час аналізує склад повітря в салоні. У разі, якщо в повітрі з'явилися пари спирту, датчик *MQ-3* видає сигнал на пін *A0* для мікроконтролера.

За цим сигналом мікроконтролер відповідно до програми, яка в нього введена, формує керуючий імпульс для спрацьовування реле і передає його на цифровий вихід *D10*.

Реле спрацьовує і розмикає ланцюг живлення стартера, унеможливаючи запуск двигуна нетверезим водієм. Разом з ланцюгом живлення стартера може бути розімкнутий і ланцюг живлення котушки запалювання.

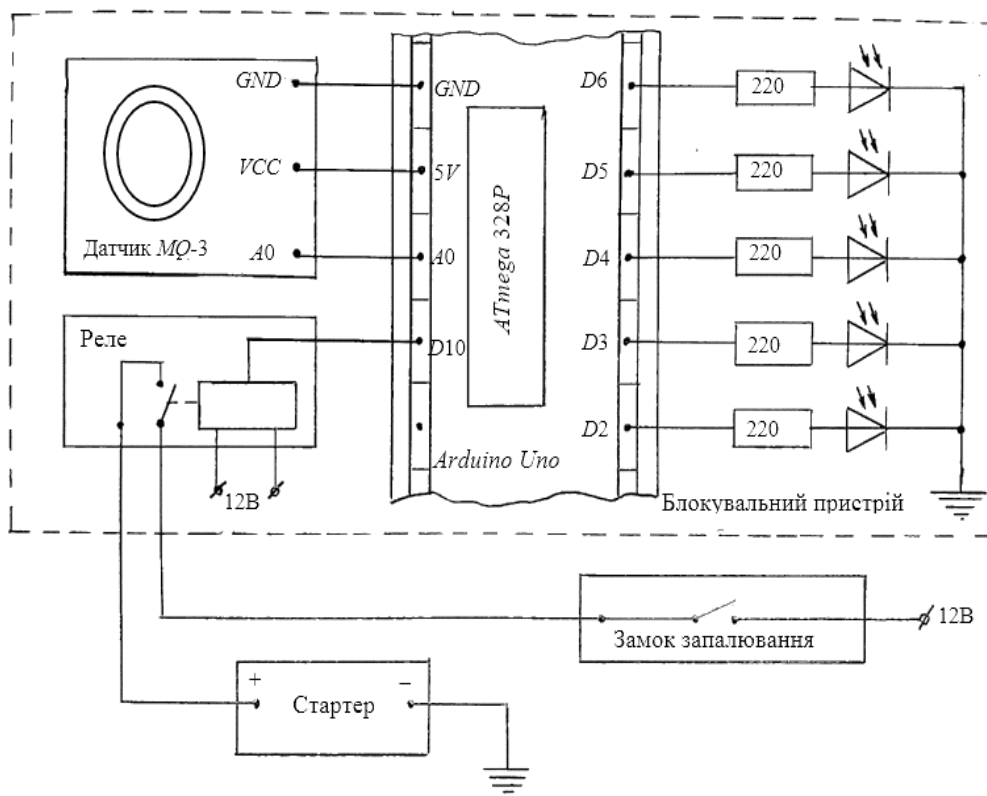


Рис. 6. Електрична схема антиалкогольного блокувального пристрою та схема його монтажу на автомобілі

Програмування антиалкогольного блокувального пристрою

Для того, щоб створений мікропроцесорний антиалкогольний блокуючий пристрій виконував покладене на нього завдання щодо недопущення керування транспортними засобами водіями в нетверезому стані, необхідно розробити алгоритм роботи даного пристрою. Такий алгоритм з одного боку повинен враховувати особливості програмування мікропроцесорних систем *Arduino*, а з іншого боку – особливості програмування бортових комп'ютерів автотранспортних засобів.

Нами був розроблений алгоритм, що забезпечує функціонування антиалкогольного блокувального пристрою. У загальному вигляді для сучасних ТЗ такий алгоритм має значний обсяг, так як виконується взаємодія з бортовим програмним забезпеченням, а також керується вимогами до безпеки водія і пасажирів.

У даній роботі ми зупинилися на розробці алгоритму, що лежить в основі роботи блокувального пристрою, принципова електрична схема якого приведена на рис. 6. Даний блокуючий пристрій має нескладну конструкцію, принцип дії і алгоритм роботи, разом з тим чітко виконує своє призначення – не допускати

до керування автомобілем водія в стані алкогольного сп'яніння.

Мікропроцесорні системи *Arduino* програмуються на мові *C++*. Була розроблена програма, що реалізувала алгоритм роботи схеми (рис. 6) по перериванню заданих електричних ланцюгів.

Для введення розробленої програми в пам'ять мікроконтролера використовувалося програмне середовище *Arduino* в версії 1.8.13, яке містить текстовий редактор, інтерфейс для зв'язку з мікроконтролером і налагоджувач програм для мови *C++*. Крім цього, на монітор (вікно на екрані, що додатково відкривається) можна вивести значення необхідних змінних (в нашому випадку це вміст алкоголю в повітрі поблизу датчика *MQ3*).

Платформа *Arduino* значно спростила процес конструювання, програмування і налагодження мікропроцесорних систем. Розроблена для проектного пристрою програма була завантажена в мікроконтролер, підключений до комп'ютера за допомогою звичайного *USB* кабелю. Після виправлення декількох орфографічних помилок мікропроцесорна система запрацювала. Детальніше про експериментальну частину цього дослідження розказано в наступному розділі.

Експериментальна перевірка антиалкогольного блокувального пристрою

Для експериментальної перевірки антиалкогольного блокувального пристрою він був змонтований у повній відповідності до розробленої електричної схеми (рис. 7).

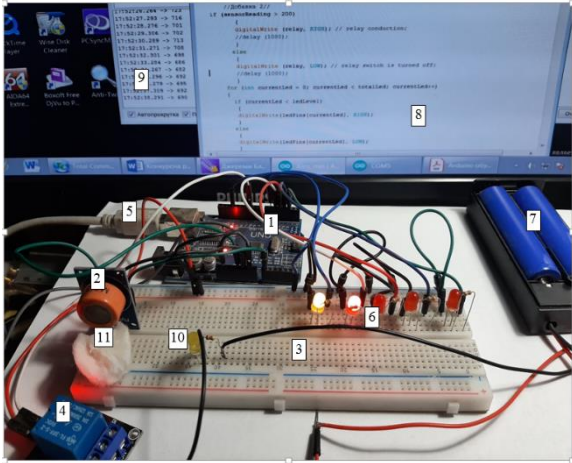


Рис. 7. Експериментальна перевірка пристрою для антиалкогольного блокування ТЗ: 1 – плата *Arduino Uno*; 2 – датчик *MQ3*; 3 – макетна плата; 4 – модуль реле; 5 – *USB* кабель для з'єднання з комп'ютером; 6 – п'ять світлодіодів для індикації величини сигналу *MQ3*; 7 – акумулятори; 8 – вікно програми *Arduino*; 9 – монітор зі значеннями сигналу; 10 – сигнальний світлодіод; 11 – ватка зі спиртом

До плати 1 *Arduino Uno* за допомогою провідників під'єднані світлодіоди 5 та резистори. Кількість запалених світлодіодів вказує на ступінь вмісту алкоголю в повітрі.

Для монтажу використана спеціальна макетна плата для платформи *Arduino 3*, що дозволяє проводити роз'ємний монтаж. Це дуже важливо, тому що на базі платформи *Arduino* нами розробляються лабораторні роботи для дисципліни "Інформаційні технології в керуванні автотранспортними засобами", і всі елементи схеми будуть використовуватися декілька разів.

Під час налагодження програми та пристрою для зручності використовувався модуль реле 2 *Arduino JQC-3FF*. Реле модуля по сигналу мікроконтролера повинно переривати електричний ланцюг живлення світлодіоду від автономного джерела, яке було задіяно для більшої достовірності експерименту.

Експеримент пройшов вдало. Програма 8 була введена у мікроконтролер і налаштована за допомогою програмного середовища *Arduino*. Після запуску програми до датчика

парів спирту було піднесено вату зі спиртом 11. По черзі запаливалися світлодіоди 5, що свідчило про наявність алкоголю у повітрі. Крім того, на екрані комп'ютеру у спеціальному вікні-моніторі 9 постійно відображалися поточні значення вмісту алкоголю у повітрі. Якщо вата зі спиртом віддалялася від датчика, то ці значення зменшувалися майже до нуля, і світлодіоди поступово гаснули.

У розробленій програмі передбачене введення порогового значення вмісту алкоголю у повітрі для включення реле 4, тобто для розмикання живлення сигнального світлодіоду 10. Розроблений блокувальний пристрій було випробувано для декількох порогових значень. Реле завжди спрацювало, та сигнальний світлодіод гаснув при наявності у повітрі заданої кількості алкоголю.

Для більш достовірної перевірки блокувального пристрою було зібрано схему з автомобільними акумулятором, реле і стартером (рис. 8).



Рис. 8. Експериментальна перевірка блокувального пристрою з автомобільними акумулятором і стартером: 1 – плата *Arduino Uno*; 2 – датчик *MQ3*; 3 – макетна плата; 4 – модуль реле; 5 – *USB* кабель для з'єднання з комп'ютером; 6 – п'ять світлодіодів для індикації величини сигналу *MQ3*; 7 – автомобільний акумулятор; 8 – вікно програми *Arduino*; 9 – монітор зі значеннями сигналу; 10 – стартер; 11 – ватка зі спиртом

В цій схемі керуючий сигнал від мікроконтролера надходить до автомобільного реле,

яке при наявності у повітрі алкоголю розмикає електричний ланцюг живлення стартера від автомобільного акумулятора, таким чином унеможливаючи запуск двигуна транспортного засобу водієм, що знаходиться у нетверезому стані.

Автомобільне реле *HLS-13F* призначене для напруги 12 В та току до 25 А, що значно перевищує параметри реле *Arduino JQC-3FF* і повністю відповідає реальним умовам експлуатації пристрою в транспортному засобі.

Експеримент пройшов успішно. Програма знову була введена у мікроконтролер і налаштована за допомогою програмного середовища 8 *Arduino*. Після запуску до сенсора було піднесено вату зі спиртом 11. Запалювалися світлодіоди 5, що свідчило про наявність алкоголю у повітрі. На екрані комп'ютеру постійно відображалися поточні значення 9 вмісту алкоголю у повітрі. При досягненні порогового значення вмісту алкоголю у повітрі автомобільне реле спрацьовувало, та стартер не запускався.

Таким чином, експериментальна перевірка антиалкогольного блокувального пристрою в умовах, максимально наближених до реальних умов автотранспортного засобу, показала можливість застосування такого пристрою для унеможливлення керування транспортним засобом у нетверезому стані.

Висновки

Метою даного дослідження є підвищення безпеки експлуатації транспортних засобів за допомогою розробки на основі сучасних інформаційних технологій способу для унеможливлення керування транспортними засоби водіями у нетверезому стані і реалізує такий спосіб антиалкогольного блокувального пристрою.

Нами запропоновано законодавчо вводити в Україні антиалкогольні пристрої блокування стартеру та запалювання. Збільшення сум штрафів за водіння транспортного засобу в стані алкогольного сп'яніння за багато років не принесли жодних результатів. При цьому необхідна роз'яснювальна робота з суспільством щодо всіх сторін використання антиалкогольних УБЗ.

При розробці способу для унеможливлення керування ТЗ та блокувального пристрою проведено аналіз існуючих способів та пристроїв для примусового обмеження можливості керування транспортними засобами

водіями у нетверезому стані, який показав відсутність в Україні на даний момент рішень цієї проблеми.

Нами розроблений спосіб підвищення безпеки на транспорті, оснований на безумовному унеможливленню керування ТЗ водіями у нетверезому стані та розроблено його структурну схему. Розроблено також функціональну схему антиалкогольного блокувального пристрою для реалізації запропонованого способу на сучасних автомобілях, що потребує змін у їх програмному забезпеченні.

Описана реалізація блокувального пристрою на автомобілях без комп'ютерного управління, тому що на таких ТЗ це не потребує перепрограмування блока управління. При цьому можуть виникнути питання щодо безпеки руху, що буде вимагати додаткових досліджень. Розроблена електрична схема такого пристрою для транспортних засобів, що передбачає використання мікропроцесорної платформи *Arduino*. Використання *Arduino* дозволяє розробнику скомпонувати пристрій з потрібними властивостями та самостійно запрограмувати мікропроцесор до виконання потрібних дій у заданій послідовності.

Таким чином був сконструйований, зібраний, запрограмований спеціально розробленою програмою та експериментально перевірений антиалкогольний блокувальний пристрій. Експериментальна перевірка в умовах, що максимально наближені до реальних (автомобільні стартер та акумулятор) показала, що розроблений пристрій відключає стартер від живлення при наявності заданої кількості алкоголю в повітрі.

Ціна розробленого пристрою навіть з урахуванням податків і відрахувань не є перешкодою для обладнання транспортних засобів антиалкогольними блокувальними пристроями. Вартість комплектуючих на 1 листопада становить близько 500 грн.

Продовженням цього дослідження може стати виготовлення предсерійного зразка блокувального пристрою і його натурні випробування з перепрограмуванням бортових комп'ютерів.

В цілому авторами запропоновано спосіб та пристрій для підвищення безпеки дорожнього руху (звичайно, разом з іншими заходами в цьому напрямку), що дозволить уникнути величезних людських жертв і матеріальних збитків.

Література

1. Organisation for Economic Cooperation and Development. *Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach* (Russian version). Paris, 2010. 298 с.
2. Дубровик-Рохова А. Дорогие дороги. *День*. Київ, 2018. № 60. С. 3.
3. Симбірський Г. Д. Інформаційна технологія дистанційного примусового обмеження швидкості транспортних засобів для підвищення безпеки дорожнього руху. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. Харків, 2020. Вип. 17. С. 54-62.
4. Рудик А. В Україні на 25% збільшилася кількість ДТП через водіння в нетверезому вигляді. *Українські новини*. Київ, 19.11.2019.
5. Блум Д. Изучаем Arduino. СПб, БХВ-Петербург, 2015. 336 с.
6. Шликов В.В. Мікропроцесорна техніка. Київ, КПІ, 2018. 144 с.
7. Модуль датчика алкоголя MQ-3 в Києві і Україні [arduino.ua](http://arduino.ua/prod1240-modul-datchika-alkogolya-mq-3). URL: <http://arduino.ua/prod1240-modul-datchika-alkogolya-mq-3> (дата звернення: 16.09.2020).
8. HLS-13F-1 РЕЛЕ (12VDC) ток-20А/контакты-1С. URL: <https://kharkov.prom.ua/p608088170-hls-13f-rele.html> (дата звернення: 16.09.2020).

References

1. Organisation for Economic Cooperation and Development (2010). *Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach*. Paris.
2. Dubrovik-Rohova, A. (2018) Drogie dorogi – expensive roads. *Den – Day, Vol. 60, 3*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Simbirskyi G. (2020) Informaciina tehnologiiia distancinogo prymusovogo obmezhenia shvydkosti transportnyh zasobiv dlia pidvyshennia bezpeky dorozhnogo ryhu. *Avtomobil i elektronika. Sovremennyye tehnologii: elektronnoe nauchnoe spetsializirovannoe izdanie*. Kharkiv, 17, 54-61. [in Ukrainian].
4. Rudyk A. (2019) V Ukraini na 25% zbilshylasia kilkist DTP cherez vodinnia v netverezomu vygliadi. *Ukrainski novyny – Ukrainian News, 19.11.2019*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Blum, D. (2015) *Izuchaem Arduino*. SPb [in Russian].
6. Shlykov V. (2018) *Microprocesorna tehnika*. Kyiv [in Ukrainian].
7. Modul datchika alkogolia MQ-3 v Kyivi i Ukraini arduino.ua (2020). Retrieved from: <http://arduino.ua/prod1240-modul-datchika-alkogolya-mq-3>. (accessed: 16.09.2020)
8. HLS-13F-1 Rele (12VDC) tok-20A/kontakty-1C (2020). Retrieved from: <https://kharkov.prom.ua/p608088170-hls-13f-rele.html> (accessed: 16.09.2020).

Симбірський Геннадій Дмитрович¹, к.т.н., доцент кафедри інформатики та прикладної математики, тел. 066-129-04-75, simbir.gd@gmail.com

Кушнір Дмитро Едуардович¹, студент факультету транспортних систем ХНАДУ, тел. 066-099-87-72, e-mail: dima_99.99_1999@mail.ru.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Применение информационных технологий и микропроцессорной техники для снижения аварийности на автодорогах

Аннотация. Предлагается использование информационных технологий для снижения аварийности на автодорогах в части, связанной с управлением транспортными средствами (ТС) в нетрезвом состоянии. Разработан способ предотвращения управления ТС нетрезвыми водителями на основе микропроцессорной техники. Разработана функциональная схема устройства на основе микропроцессорной платформы Arduino для антиалкогольной блокировки ТС. Подробно описано такое устройство, которое сконструировано, собрано, запрограммировано специально разработанной программой и экспериментально проверено.

Ключевые слова: платформа Arduino, информационные технологии, снижение аварийности на автодорогах, микропроцессорные системы, программирование микропроцессоров.

Симбирский Геннадий Дмитриевич¹, к.т.н., доцент, кафедра информатики и прикладной математики, тел. 066-129-04-75, simbir.gd@gmail.com;

Кушнір Дмитрій Едуардович¹, студент факультета транспортних систем ХНАДУ, тел. 066-099-87-72, e-mail: dima_99.99_1999@mail.ru.

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Application of information technologies and microprocessor equipment for reducing the number of road accidents

Abstract. Problems. Overcoming the consequences of road accidents places a heavy burden on the country's health care and social services. The International Transport Forum has prepared a report "Striving for Zero: High Challenges and a Systemic Approach to Road Safety". The forum experts consider driving while intoxicated one of the key problems in the growing number of road accidents, and the use of information technology is one of the ways to reduce the number of accidents. **Goal.** On the basis of the conducted analysis the purpose of research which consists in creation of a way and the device for impossibility of driving of vehicles by drunk drivers is formulated. **Tasks:** 1. To formulate the concept of improving road safety in Ukraine in terms of preventing drunk drivers from driving; 2. To develop

the functional scheme of the device for anti-alcohol blocking of vehicles; 3. To develop a schematic diagram of such a device; 4. To collect and test a full-scale sample of the device in the laboratory for experimental confirmation of the efficiency of the proposed method. **Methodology.** The analytical method was used – the study of existing systems that do not allow drivers to drive while intoxicated and the method of synthesis - the creation of a block diagram of a new system based on the advantages and disadvantages of the analyzed systems. **Results.** When creating a method of a device to prevent driving a vehicle, an analysis of existing methods and devices for forcible restriction of driving under the influence of drinks was made, which showed the lack of solutions to this problem in Ukraine at the moment. We have developed a method of improving safety in transport, based on the unconditional impossibility of driving under the influence of drunk drivers and developed its block diagram. A functional diagram of an anti-alcohol blocking systems device for the implementation of the proposed method on modern cars, which requires changes in their software, has also been developed. An electrical circuit of the locking device for vehicles based on the Arduino microprocessor platform has been developed. Using Arduino allows the developer to assemble the device with the desired properties and independently program the microprocessor to perform the desired

actions in a given sequence. As a result, an anti-alcohol blocking device was assembled, programmed and experimentally tested. Experimental testing in conditions as close as possible to real (car starter and battery) showed that the developed device disconnects the starter from the power supply in the presence of a given amount of alcohol in the air. **Practical value.** The practical significance of the developed method of improving transport safety, which makes it impossible for drunk drivers to drive vehicles, is the possible savings for the state of Ukraine of about twenty billion hryvnias, which are spent each year on the consequences of road accidents. But the most important thing is the lives saved, which cannot be estimated in hryvnias or dollars.

Key words: Arduino platform, information technologies, reduction of accidents on highways, microprocessor systems, microprocessor programming.

Simbirsky Gennady¹, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Informatics and Applied Mathematics, tel. +38 066-129-04-75, simbir.gd@gmail.com;

Kushnir Dmytro Eduardovych¹, student of the Faculty of Transport Systems, tel. 066-099-87-72, e-mail: dima_99.99_1999@mail.ru.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkov, 61002, Ukraine.

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ CAN МЕРЕЖІ

Сорока К. О.¹

¹Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Анотація Виконано аналіз характеристик CAN мережі та порівняння з відомими електронними інтерфейсами: RS-423, RS-422 і RS-232. Перевагами CAN є висока захищеність, надійність та безпомилковість роботи, а також можливість забезпечити адаптивне управління з використанням удосконалених протоколів обміну інформацією. Розроблено проекти систем актуальних для впровадження. Проект системи адаптивного освітлення (AFS), рекомендації NECE: No. 123. Система автоматизованого збору оплати за проїзд в тролейбусі. Обидві систем реалізовані на одній CAN шині. Розроблено проект системи вибору оптимальних режимів руху на маршруті з економією електроенергії.

Ключові слова: CAN мережа, інтелектуальна система, автомобіль, тролейбус, адаптивне освітлення, енергозбереження інтерфейс.

Вступ

Розвиток транспортних засобів (ТЗ) відбувався від перших колісних екіпажів з кінною тягою до заміни тяги двигунами: спочатку паровими, а пізніше внутрішнього згоряння. В наш час здійснюється перехід до ТЗ на електричній тязі. Основна увага конструкторів була направлена на збільшення швидкості, забезпечення надійності, без аварійності, комфорту шляхом вдосконалення механічних пристроїв ТЗ. З появою електричних систем, розвитку електроніки все більша увага приділяється електричним і електронним системам керуванню роботою вузлів ТЗ. Основним напрямком стала автоматизація роботи системи керування за допомогою електроніки. Проте можливості електроніки не безмежні. При всіх позитивних характеристиках і швидкодії електронних систем лишаються проблеми організації їх взаємодій у таких складних і великих системах як автомобіль чи інший транспортний засіб. Зараз, з розвитком інформаційних технологій в ТЗ впроваджуються інтелектуальні системи керування, які не тільки забезпечують надійну і безаварійну роботу, а в багатьох випадках замінюють водія, полегшують його працю. Основними інструментами реалізації інформаційних технологій є мікропроцесори, система датчиків і виконавчих механізмів, які об'єднуються за допомогою різних інтерфейсів і CAN мережі для сумісної роботи, керування якою здійснюється бортовими комп'ютерами ТЗ. Метою цієї роботи є аналіз різних інтерфейсів електронних систем, вибір найбільш перспективних для забезпе-

чити інтелектуального керування. В роботі розглянуто використання CAN мережі і реалізація за їх допомогою завдань інтелектуального керування роботою вузлів та транспортних засобів в цілому. Відповідно лозунгу фірма Tesla формулює завдання в області автобудування: Змусити автомобіль думати. Об'єднати автомобіль з комп'ютером, комп'ютер з людиною і дорогою. Зробити автомобіль таким, який зможе думати краще людини, швидше, берегти її життя виправляючи її помилки. Задати нові стандарти безпеки. [1].

Актуальність роботи зумовлена широким використанням інформаційних технологій, без яких неможливе забезпечення технічних характеристик транспортних засобів відповідно сучасних вимог транспортного будівництва та практики експлуатації.

Основна проблема вітчизняної транспортної галузі це відставання в сфері впровадження передових інформаційних технологій і необхідність досягнення рівня передових автомобільних фірм Європи та світу. На подолання існуючого відставання направлена робота спеціалістів в університетах і, певною мірою, авторів статті.

Аналіз публікацій

Для забезпечення надійної роботи ТЗ, полегшення роботи водія, в автомобілях встановлюють різні електронні системи керування. Автомобілі перетворюються у вмістилище електронних приладів, проводів, з'єднань, перемикачів тощо. Довжина проводів сягає двох кілометрів. Проте сама досконала елек-

троніка ускладнює автомобіль, і роботу водія та технічне обслуговування.

Для забезпечення роботи електричного та електронного обладнання впроваджують різні інтерфейси, які забезпечують його узгоджену роботу. В цій якості використовують програмовану систему процесорів АРДУІНО [2, 3], інтерфейси типу: RS-423, RS-422 та найбільш сучасні RS-485 [4]. Це багато точкові системи зв'язку з 32 вузлами в одиночному виконанні і до 256 вузлів в разі використання репітерів (повторювачів) і підсилювачів. Швидкість передачі даних у них 100 Мбіт/с. Проте вони не задовольняють в повній мірі вимогам створення інтелектуальної системи керування.

Поряд з тим в ТЗ різного типу впроваджуються CAN мережі [5]. Розробники мережі поставили завдання замінити всі проводи в ТЗ однією парою проводів і об'єднати електричне обладнання в єдину систему. Основою розробки послужило прийняття відкритого стандарту взаємодії телекомунікаційних мереж ВТС (OSI).[6]. На його основі, з використанням протоколів фізичного і каналного рівнів фірма BOOSCH розробила CAN мережу, яка повністю змінила автомобіль, його системи, методи керування, методи проектування та розробки.

Стандарт CAN шини розроблений компанією Robert Bosch GmbH в 1983р. [7]. У лютому 1986 року фірма представила його на конгресі Товариства автомобільних інженерів (SAE). Сьогодні майже кожен легковий автомобіль у Європі оснащений мережею CAN (Controller Area Network). З впровадженням CAN автомобіль поступово стає інтелектуальним ТЗ, в якому функції водія суттєво спрощуються, а надійність роботи та безпека підвищуються. CAN впроваджуються не тільки в автомобілях, а в інших транспортних засобах: поїздах, автобусах, сільськогосподарчих машинах на підводних човнах, і на космічних апаратах.

CAN-шина забезпечує підключення та інтелектуальне керування будь-якими пристроями ТЗ та його режимом руху. На ринку присутня CAN у двох версіях: версія 2.0 А з 11-бітовою ідентифікацією повідомлень (в системі може бути 2048 повідомлень), версія 2.0 В – 29-бітову (536 млн повідомлень). Версія 2.0 В, (FullCAN), поступово витісняє версію 2.0 А (BasicCAN). Сучасні транспортні засоби мають електронні блоки управління (ЕБУ), які через CAN мережу керують

двигуном, коробкою передач, гальмами, рульовим колесом, системою безпеки, комфорту, здійснюють автоматичну парковку, працюють в режимі автоведення. Декілька ЕБУ в ТЗ об'єднують CAN мережею для спільного використання інформації.

Впровадження електронного керування привело до принципово нових рішень в транспортному машинобудуванні. Досить відмітити заміну карбюраторних двигунів інжекторними. Інжекторний двигун суттєво простіший від карбюраторного. В ньому подача робочої суміші в циліндри здійснюється простим жиклером, який в потрібний момент за потрібний проміжок часу здійснює строго дозоване вприскування суміші. Об'єм пального, яка вприскується в кожен циліндр двигуна розраховується досить точно. ЕБУ аналізує покази датчиків, положення колінчастого валу, дросельної заслінки, температури охолоджуючої рідини, температуру двигуна, масову витрату повітря. Змінюючи проміжок часу відкриття повітряного каналу, регулює обсяг повітря, що надходить в циліндри, збільшує тривалість уприскування на непрогрітому двигуні і зменшує його в міру прогріву двигуна. Здійснюється коригування складу паливної суміші за показами зонду вихлопу по системі зворотного зв'язку.

Інжекторні двигуни відомі давно. Їх в обов'язковому порядку встановлювали на літаках, оскільки карбюраторні і дизельні двигуни при маневрах літака працювати не могли. Проте конструкція їх була надто складною і в наземних ТЗ майже не використовувались. Реалізувати в механічній системі вприскування суміші в циліндри у потрібний моменті і потрібній кількості досить складне технічне завдання, яке ставить великі вимоги до механізмів. При електричному керуванні двигуном реалізувати потрібну точність роботи також досить важко, адже кількість пального залежить від режиму роботи двигуна і цілого ряду чинників. Інша справа використання електроніки і комп'ютерного керування. У сучасних ТЗ, які випускаються передовими фірмами, всі проблеми вирішені сучасними протоколами обміну інформацією, програмним забезпеченням, а взаємодія з іншим обладнанням використанням бортового комп'ютера (чи відповідного контролера) і передачею команд керування по CAN мережі.

Виготовлення інжекторного двигуна значно простіше ніж складного двохкамерного карбюратора, економайзера, розподільника

запалювання, регулятора кута випередження, які потрібні для забезпечення роботи карбюраторного двигуна. Тому такий двигун дешевший. Він економний, оскільки мінімізує витрати пального. Тільки такі двигуни дозволяють виконати умови екологічності Євро-5 та Євро-6. Основні витрати на розробку автомобілів з такими двигунами – розробка програмного забезпечення. При масовому виробництві програмне забезпечення легко копіюється і тому ТЗ повинні стати більш дешевими. Хоча навряд чи транспортні фірми погодяться прийняти єдиний відкритий стандарт двигунів і програмного забезпечення, як це реалізовано при розробці Інтернету, а саме стандарту взаємодії відкритих телекомунікаційних систем (OSI).

В сучасних засобах міського електричного транспорту CAN мережі частково використовують для керування роботою двигуна, для роботи системи автоматизованого збору оплати за проїзд, тощо. Проте використання цих мереж у вітчизняних засобах міського електротранспорту досить обмежене.

Мета та задачі дослідження

Метою досліджень є розширення можливостей використання CAN мереж в керуванні роботою міського електричного транспорту. Задачі досліджень:

- детальний аналіз роботи CAN мережі: швидкості передачі повідомлень і об'єму даних, які передаються, відповідності цих параметрів вимогам систем курування обладнанням, надійності і безпомилковості роботи, захищеності від зовнішніх перешкод.

- аналізу завдань, які потребують вирішення і можуть бути вирішені з використанням CAN та розробка відповідних методів їх реалізації. Розробка нових схеми, принципово нових рішень, які змінять традиційну архітектуру ТЗ і дозволять забезпечити їх ефективну роботу.

Аналіз роботи CAN мережі відповідно до вимог систем керування

В CAN мережі швидкість обміну інформацією значно менша ніж у розглянутих інтерфейсах. Якщо в інтерфейсі RS-485 вона становить $V = 100$ Мбіт/с, то в CAN мережі всього 1 Мбіт/с. Крім того RS-485 передає сигнали керування безпосередньо на виконавчий орган, а CAN мережа передає дані поміщені в пакети (фрейми) розміром 134 біт (CAN 2.0A). Ці пакети підлягають розшиф-

ровці. Тобто швидкість передачі даних не перевищує 7462 фреймів/с. Фактично вона ще менша за рахунок можливої втрати часу очікування передачі фрейму та можливої повторної передачі, в разі виникнення помилки. Крім цього швидкість роботи CAN залежить від довжини мережі. Зі швидкістю 1 мбіт/с працюють тільки мережі довжиною до 40 м. Отже по швидкодії CAN суттєво поступається розглянутим інтерфейсам. Виникає питання доцільності її використання і чому саме CAN надається перевага у багатьох системах керування?

Перш за все, степінь захисту мережі CAN від перешкод більша ніж RS-485, а робота в системі з багатьма вузлами надійніша. При однаковому диференційному принципі сигнали в них формуються по різному. В RS-485 сигнал – це різниця повністю інвертованих напруг в двох проводах мережі, а в CAN це різниця нульової наруги обох проводів і напруги різної полярності цих проводів. При такому формуванні сигналу CAN мережа виявила більш захищеною від перешкод. Згідно стандарт ISO11898 CAN шина нормально працює навіть при короткочасному попаданні на неї напруги перешкод до 150 В.

По друге, в CAN мереж реалізовано ряд способів запобігання помилок. Перший – це вузол, який передає інформацію, прослуховує мережу і контролює її стан. Якщо в мережі появляється сторонній сигнал то вузол припиняє роботу і видає сигнал помилки. Другий – це наявність в кінці кожного фрейму циклічного CRC коду. Згідно цього коду перевіряється відсутність помилки у всій прийнятій інформації фрейму. В разі виявлення помилки формується відповідний сигнал і здійснюється повторна передача фрейму. Додатково сам фрейм має поле в якому здійснюється відмітка, що інший вузол прийняв інформацію. В результаті вузол, який передавав інформацію, знає що її прийняв один (або декілька) вузлів мережі. Виконаний в роботі [8] розрахунок ймовірності появи невиявленої помилки показав, що вона не перевищує $p \leq 10^{-10}$. Тобто одна помилка може проявитись лише 1 раз на 20 років неперервної роботи. Така велика надійність роботи зумовлена методом доступу до мережі (арбітражу) і забезпечується при одночасній роботі багатьох вузлів. Розглянуті вище інтерфейси, в тому числі і RS-495 при роботі в мережі з багатьма вузлами не

можуть забезпечити такої надійної і захищеної роботи.

Важливим є те, що CAN мережа забезпечує адаптивну роботу системи. Адаптивність полягає у тому, що мережа забезпечує взаємодію різних вузлів на логічному рівні. Вузли передають інформацію в бортовий комп'ютер, той її опрацює і видає повідомлення іншим вузлам. Ці вузли також опрацюють інформацію і діють відповідно своїх протоколів. Таким чином дії певного вузла обумовлені обставинами в поточний момент часу. Протоколи обміну в такій системі дозволяють реалізувати керування на

більш складному логічному рівні суттєво краще ніж електроніка з використанням операторів вибору варіантів. При такій організації роботи CAN мережа виступає як аналог нервової системи живих істот.

Наприклад розглянемо адаптивну систему переднього освітлення (АСПО) [9]. Для забезпечення якісного освітлення звивистої дороги, під час руху в нічний час, в систему переднього освітлення входять фари, виконані як електромехатронні модулі, датчики положення фар, GPS навігатор та бортовий комп'ютер (рис. 1).

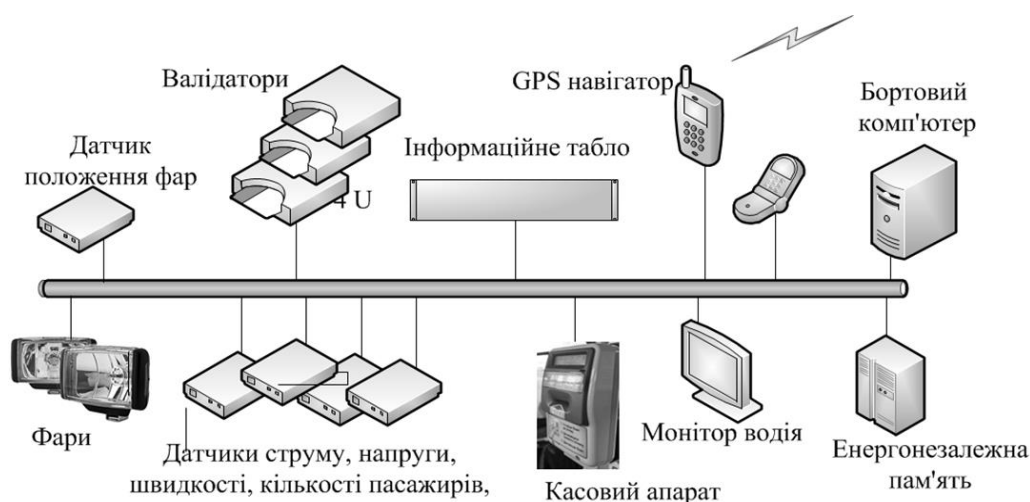


Рис. 1. Функціональна схема суміщеної системи контролю і збору оплати за проїзд та адаптивної системи переднього освітлення

Навігатор відслідковує положення автомобіля, а комп'ютер аналізує його покази згідно карти місцевості. Відповідно до результатів аналізу комп'ютер подає команди на фари і здійснює перемикання світла відповідно до радіусу повороту дороги, її ширині, швидкості руху автомобіля.

Взаємодія будь яких вузлів CAN мережі, бортового комп'ютера, датчиків, тощо забезпечується протоколами обміну інформацією. Робота CAN здійснюється на основі протоколів фізичного і канального рівнів OSI (рис. 2). На фізичному рівні забезпечується інтерфейс з середовищем, тобто робота прийомопередатчика вузла (трансивера). Він безперервно прослуховує мережу. В разі, якщо в мережі передається фрейм потрібний для його роботи, він приймає його. Чи потрібен фрейм для роботи вузла визначається за кодом записаним у першому (арбітражному) полі фрейму. В мережі CAN здійснюється ширококомовна передача фреймів – один вузол

передає – усі інші прослуховують. Роботу може розпочати будь який вузол, який має інформацію потрібну іншим вузлам. Приймає фрейм той вузол, для роботи якого цей фрейм потрібен. В першому арбітражному полі міститься код призначення фрейму. За цим же кодом здійснюється ранжирування фреймів по їх важливості.

У випадку колізій, тобто при одночасному початку передачі даних декількома вузлами, в першу чергу передається фрейм з найвищим рангом. Найбільш високий ранг має фрейм помилки. На наступному, канальному рівні OSI здійснюється обробка фреймів відповідно до протоколів цього рівня. Операції, які здійснюються на цьому рівні приведені на рис. 2.

Наступний мережевий рівень OSI в протоколі CAN відсутній. Потреби у цьому рівні немає, оскільки прийнята ширококомовна передача даних і адресація вузлів відсутня.

Канальний рівень	Логічний канал (LLC) Фільтрація пакетів, Переповнення, Відновленням.	Визначено в ISO 11898	CAN контролер
	Доступ (MAC) Інкапсуляція даних, Кодування даних, Виявлення помилок, Перетворення сигналів в послідовну форму.		
Фізичний рівень	Обробка сигналів Кодування бітів, Бітова синхронізація, Загальна синхр.		Трансівер MCP2551
	Підключення Трансівера,		Мережа
	Інтерфейс середовища Розйоми/проводи		

Рис. 2. Відповідність рівнів CAN мережі рівням стандартної моделі взаємодії відкритих комунікаційних систем

Слід також відмітити недоліки CAN мережі. Її протоколи розроблені для перших двох рівнів OSI. Це зумовлює недостатню захищеність об'єкту, в якому встановлена мережа, від зовнішнього несанкціонованого втручання. Мережа відносно легко може піддаватись зовнішнім атакам. Крім цього відсутність сьомого прикладного рівня – це відсутність інтерфейсу мережі з користувачем. Мережа не має засобів роботи з користувачами. Тому зараз з'являється багато протоколів прикладного рівня, серед яких найпоширенішими є CANopen і DeviceNet.

Розробка систем транспортних засобів на основі CAN мережі

Робота водія наземного міського електро-транспортного, особливо тролейбуса на маршруті, досить напружена і вимагає від нього надзвичайної уваги. Водій зобов'язаний виконувати графік руху, дотримуватись вимог правил дорожнього руху, забезпечувати безпеку пасажирів у досить складних дорожніх ситуаціях. Йому доводиться виконувати невластиві функції, такі як збір оплати за проїзд. Водій повинен бути звільнений від невластивих йому функцій, потрібна система, яка б автоматизувала цей процес.

Для реалізації системи збору оплати розроблено проект локальної CAN мережі транспортного засобу. Функціональна схема мережі представлена на рис. 1.

Локальна мережа побудована за архітектурі «Загальна шина», в даному випадку це послідовна шина, оскільки сигнали в ній передаються імпульсами постійного струму, який проходить послідовно вздовж мережі.

Джерелом струму може бути прийомо-передатчик вузла, що передає фрейм даних. В мережу входять бортовий комп'ютера, блок енергонезалежної пам'яті, GPS приймач, монітор водія, прийомо-передатчик зв'язку з диспетчерським пунктом в режимі GSM/GPRS, датчики: шляху, швидкості, датчик кількості пасажирів, датчики струму та напруги. Система автоматизує контроль кількості пасажирів і забезпечує водія транспортного засобу зв'язком з диспетчерським пунктом.

Приведена на рис. 1 система є суміщеною із адаптивною системою переднього освітлення. В темну пору доби та в умовах недостатньої видимості, під час руху звивистою дорогою на поворотах фари не освітлюють повною мірою усю дорогу і область дороги, де їде автомобіль, частково залишається неосвітленою. Для запобігання аварійних ситуацій потрібно використовувати системи, які забезпечують поворот фар, відповідно до радіусу кривизни дороги. Такі системи існують але, як правило, працюють за допомогою механічного зв'язку.

Водію під час керування рухом автомобіля доводиться переходити на ближнє світло, а рухаючись звивистою дорогою, змінювати поворот фар. Перемикання фар, зміна їх положення, корекція роботи гідростабілізатора відволікають водія від основної роботи. Водій значну увагу повинен приділяти контролю за дорогою, появою зустрічного транспорту і людей. Це вимагає від нього відповідної реакції, а будь-які перемикання призводять до втрати зосередженої уваги водія і збільшення ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод. Якщо ТЗ рухається під

час руху на підйом чи на спуску, то розподіл світлового потоку на полотні дороги змінюється і фари освітлюють тільки частину дороги на підйомі, або світловий промінь піднімається і не повністю освітлює дорогу на спуску. Вимоги до системи освітлення транспортних засобів в різних умовах різні і потребують диференційного підходу. Під час руху територією міста зі швидкістю до 50 км/год. та інтенсивним рухом, дальність світла невелика, а світловий промінь широкий, щоб освітлювати проїжджу частину і узбіччя дороги, пішоходів, які проходять по тротуару. У випадку руху по автомагістралі з великою швидкістю навпаки, фари повинні освітлюють дорогу далеко вперед, їх промінь вузький. Інші вимоги до освітлення під час руху польовою дорогою трасами, автобанами, рухом у разі поганої видимості, дощу, сніг, туману, а також дотримання освітлення дороги з появою зустрічного транспорту тощо.

Щоб забезпечити потрібне освітлення система керування повинна бути адаптивною, тобто режим переднього світла повинен враховувати конкретні умови руху. У 1999 році розроблено Міжнародний стандарт адаптивного освітлення (АСПО). Відповідно нього розроблено ряд алгоритмів функціонування системи АСПО. Керування роботою АСПО за допомогою CAN розглянуто в роботі [9]. Показано, що для забезпечення роботи цієї системи відповідно самого досконалого на сьогоднішній день алгоритму, а саме алгоритму попереднього огляду, [10] достатньо використовувати CAN мережу з швидкістю 500 кбіт/с. Вона забезпечує інтервал передачі $t_i = 1,2$ мс, швидкість 834 команди/с. Цього достатньо для якісного управління роботою АСПО тому що потрібно здійснювати передачу сигналів з періодом $t_i = 2$ мкс.

Враховуючи те, що система адаптивного освітлення працює під час руху ТЗ, а основне навантаження системи обліку оплати за проїзд під час зупинки прийнято рішення, що ці системи можуть бути реалізовані на одній спільній CAN мережі зі швидкістю 1 Мбіт/с

Питання енергозбереження на транспорті є одним з основних. Наземний електричний транспорт м. Харкова за рік витрачає понад 80 млн. кВт год. електроенергії. Ціна електроенергії кожен рік зростає, вже перевищує 2 грн/кВт·год. Підприємствам доводиться

значну частину коштів витратити на оплату електроенергії. Витрати електроенергії суттєво залежать від режимів руху ТЗ. Кожен водій, як показано в [11], притримується індивідуального режиму руху. Під час роботи на маршруті водій повинен обирати оптимальний, з точки зору енергозбереження, режим руху. Але на вітчизняних тролейбусах та трамваях відсутні лічильники електроенергії. Оскільки облік витрат електроенергії ТЗ не ведеться, то у водій не має критерію вибору оптимального режиму руху. Він намагається вести тролейбус в найбільш швидких режимах не турбуючись питанням енергозбереження, навіть у випадку коли графік руху дозволяє йому їхати повільніше.

Для реалізації економних режимів руху розроблена система, яка прораховує варіанти можливого продовження руху, вибирає найбільш економний і забезпечує водія потрібною інформацією. Розрахунки виконуються від точки маршруту, в якій знаходиться транспортний засіб, до наступної зупинки. Для розрахунку режимів руху з найменшими витратами електроенергії була вдосконалена теорія електричної тяги і розроблена математична модель. Вона дозволяє з достатньою точністю розрахувати режими руху ТЗ, врахувати поточні значення завантаження та швидкості і розраховувати витрати електроенергії за різних режимів руху [12]. З використанням удосконаленої теорії електричної тяги розроблена система автоматизованого вибору швидкісного режиму руху наземного електричного транспорту, на яку одержано державний патент [13].

Система автоматизованого вибору режиму руху (рис. 3) містить встановлений на кожному транспортному засобі 1 центральний процесор 2, до якого підключено блок пам'яті 3. В блок пам'яті 3 записано графік руху 3.1, плановий режим руху 3.2, цифрова карта міста 3.3 та програма розрахунку оптимального режиму руху і затрат електроенергії 3.4.

Працює система наступним чином: трекер 8 супутникової навігації (GPS, ГЛОНАСС) визначає координату та швидкість транспортного засобу. Блок вимірювання швидкості та шляху пройденого від зупинки 4 уточнює покази трекера. Ці дані поступають в комп'ютер 2, який контролює їх відповідно до графіка руху (технологічної картою руху).

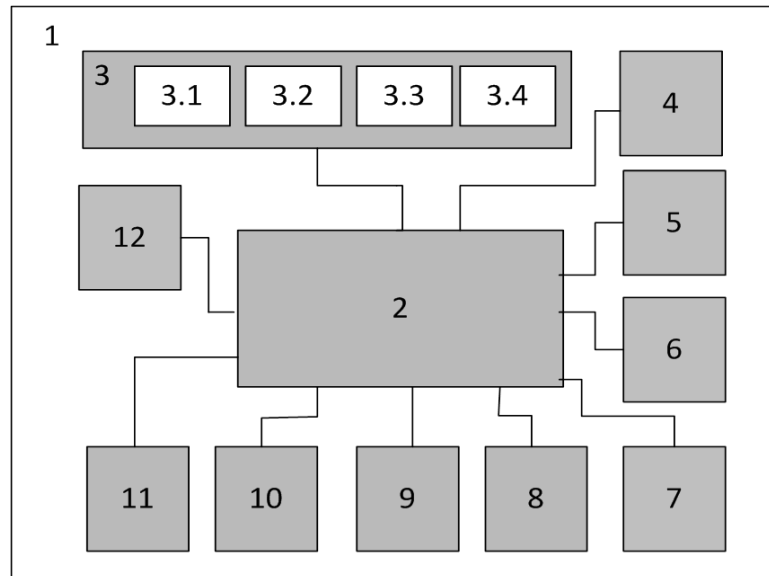


Рис. 3. Система автоматизованого вибору швидкісного режиму руху наземного електричного транспортного засобу

Система працює за вдосконаленою електронною моделлю розрахунку характеристик руху. Під час руху визначаються координати та швидкість транспортного засобу і згідно програми розраховується режим рух від поточної точки до зупиночного пункту. Комп'ютер прораховує оптимальний, з точки зору витрат електроенергії режим руху. Після обробки результатів і порівняння їх з графіком руху видаються рекомендації водію щодо вибору режиму руху з найменшими затратами електроенергії при дотриманні графіка. Водій може вибрати запропонований режим. На запропоновану систему одержано державний патент.

Висновки

1. Виконано аналіз можливостей CAN мережі забезпечити інтелектуальне управління роботою вузлів транспортних засобів. Показано, що в порівнянні з відомими інтерфейсами CAN мережа має суттєво меншу швидкість передачі інформації. Незважаючи на це переваги її полягають у захищеності від зовнішніх перешкод, надійності та безпомилковості роботи.

2. CAN мережа, в яку ввімкнутий комп'ютер чи досконалий контролер та вузли, що працюють за протоколами логічного вибору варіантів, надає можливість забезпечити адаптивне управління ТЗ, тобто керування з врахуванням поточної ситуації, яка складається під час руху.

3. Враховуючи адаптивні властивості системи з CAN і те, що вона реалізує обмін ін-

формації між всіма блоками її можна представити як нервову систему ТЗ.

4. Розроблено суміщену систему керування адаптивною системою переднього світла і систему контролю оплати за проїзд, яка реалізована на одній спільній мережі.

6. Виконана розробка системи автоматизованого вибору режимів руху ТЗ, яка дозволяє скоротити затрати електроенергії. На цю систему одержано державний патент.

Література

1. Машина часу: Тест-драйв Tesla Model X URL: <https://auto.ria.com/uk/news/test-drive/229529> (дата звернення 20.09.20).
2. Dahou H., Gouri R. El. Alareqi M. and others. Design and Implementation Intelligent Adaptive Front-lighting System of Automobile using Digital Technology on Arduino board. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2018 Vol. 8, № 1, P. 521-529. DOI: [10.11591/ijece.v8i1](https://doi.org/10.11591/ijece.v8i1).
3. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. БХВ-Петербург, 2014. 400 с.
4. Энциклопедия АСУ ТП: 2 Промышленные сети и интерфейсы: 2.3 Интерфейсы RS-485, RS-422 И RS-232. URL: https://www.bookasutp.ru/Chapter2_3.aspx (дата звернення 09.09.20)
5. Карпенко Е. Обзор. Промышленные сети. Возможности CAN протокола. URL: <http://www.cta.ru/cms/f/326789.pdf> (дата звернення 09.09.20)
6. ISO/IEC 7498-1:1994 Information technology — Open Systems Interconnection. Basic Reference Model. URL: International Standard ISO/IEC 7498-1:1994.

7. ISO 11898-1:2003(E), Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signaling,. URL: International Standard ISO 11898-1:2003(E).
8. Soroka K., Kharchenko V., Pliuhin V. Development of CAN network with improved parameters for adaptive car front lighting system. Східно-європейський журнал передових технологій, 2020. Том 4, № 9 (106) P. 24 – 33.
9. Soroka K. Kharchenko V., Shpyka N. Vehicle lighting equipment and control methods for an adaptive front-lighting system. Міжнародний журнал «Світлотехніка та електроенергетика», ХНУМГ, 2018, Вип. 52№ 02. С.63-67.
10. Lifu Li., Mingjun and Jinyong Z. The bending mode control method of AFS L system based on preview control, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 2015. Vol. 8, № 1, P. 637-657. DOI:10.21307/ijssis-2017-776.
11. Capasso A., Lamedica F.M., Gatta and others. Individual driving style impact on traction energy consumption in railway lines: A simulation model Power Electronics, Electrical Drives. Automation and Motion. 2016 International Symposium. Anacapri, Italy, 22-24 June 2016. P. 665-670.
12. Сорока К.О., Личов Д.О. Змістовна модель та рівняння руху електричного транспорту. Вісник ДНУЗТ, 2015, № 3 (57). С.97-106.
13. Патент України № 110877 МПК В60W 50/00; В60W 50/0825. Система автоматизованого вибору швидкісного режиму руху наземного електричного транспортного засобу. Сорока К. О. Личов Д.О. Опубл. 25.10.2016.
- Model: The Basic Model. International Standard ISO/IEC 7498-1:1994
7. ISO 11898-1:2003(E), Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signaling,. URL: International Standard ISO 11898-1:2003(E). (accessed 20.09.20).
8. Soroka K., Kharchenko V., Plyuhin V. (2020) Development of CAN network with improved parameters for adaptive car front lighting system. Skhidno-Yevropeys'kyu zhurnal peredovykh tekhnolohiy (EEJET). 4, 9 (106). 24 – 33.
9. Soroka K. Kharchenko V., Shpyka N. (2018) Vehicle lighting equipment and control methods for an adaptive front-lighting system. Mizhnarodnyi zhurnal «Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka», KhNUMH. 52 (02). 63-67.
10. Lifu Li., Mingjun and Jinyong Z. (2015) The bending mode control method of AFS L system based on preview control, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. 8 (1). 637-657.
11. Capasso A., Lamedica F.M., Gatta and others. (2016) Individual driving style impact on traction energy consumption in railway lines: A simulation model Power Electronics, Electrical Drives. Automation and Motion. 2016 International Symposium. Anacapri, Italy. 665-670.
12. Soroka K.O., Lychov D.O. (2015) Zmistovna model' ta rivnyannya rukhu elektrychnoho transportu. [Meaningful model and equation of motion of electric transport]. Visnyk DNUZT. 3 (57). 97-106.
13. Soroka K. O. Lychov D.O. (2016) Patent Ukrayiny № 110877 MPK B60W 50/00; B60W 50/0825. ystema avtomatyzovanoho vyboru shvydkisnogo rezhymu rukhu nazemnoho elektrychnoho transportnoho zasobu.

References

1. Mashyna chasu: Test-drayv Tesla Model X. URL: <https://auto.ria.com/uk/news/test-drive/229529> (accessed 20.09.20).
2. Dahou H., Gouri R. El. Alareqi M. and others. Design and Implementation Intelligent Adaptive Front-lighting System of Automobile using Digital Technology on Arduino board. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2018. 8 (1). 521-529.
3. Petin V.A. (2014) Proyecky s ispol'zovaniyem kont-rollera Arduino. [Projects using an Arduino controller]. VKHV-Peterburg. [in Russian]
4. Entsiklopediya ASU TP: 2 Promyshlennyye seti i interfeysy: 2.3 Interfeysy RS-485, RS-422 I RS-232. [Encyclopedia of APCS: 2 Industrial networks and interfaces: 2.3 RS-485, RS-422 AND RS-232 interfaces]. URL: https://www.bookasutp.ru/Chapter2_3.aspx (accessed 09.09.20). [in Russian]
5. Karpenko Ye. Obzor. Promyshlennyye seti. Vozmozhnosti CAN protokola. [Overview. Industrial networks. CAN protocol capabilities]. URL: <http://www.cta.ru/cms/f/326789.pdf> (accessed 09.09.20). [in Russian]
6. ISO/IEC 7498-1:1994 Information technology — Open Systems Interconnection Basic Reference

Сорока Костянтин Олексійович¹, к.т.н., с.н.с., доц., каф. Електричного транспорту, kasoroka@ukr.net, тел. +38 097-499-2495

¹Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. 61002, Україна, м. Харків вул. Маршала Бажанова, 17.

Разработка интеллектуальных систем

транспортных средств на основании CAN сети

Аннотация: Выполнен анализ характеристик CAN сети и сравнения с известными электронными интерфейсами: RS-423, RS-422 и RS-232. Преимуществами CAN является высокая защищенность, надежность и безошибочность работы, а также обеспечение адаптивного управления с использованием обновленных протоколов обмена информацией. Разработаны проекты систем актуальных для внедрения. Проект системы адаптивного освещения (AFS), рекомендации NECE: No. 123. Система автоматизированного сбора оплаты за проезд в троллейбусе. Обе систем реализованы на одной CAN шине.

Разработан проект системы выбора оптимальных режимов движения на маршруте с экономичной электроэнергией.

Ключевые слова: CAN сеть, интеллектуальная система, автомобиль, троллейбус, адаптивное освещение, энергосбережения интерфейс.

Сорока Константин Алексеевич¹, к.т.н., с.н.с., доц., каф. электрического транспорта, kasoroka@ukr.net, тел. +38 097-499-2495

¹Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова. 61002, Украина, г. Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17.

Development of intelligent vehicle systems based on CAN network

Abstract. *The paper analyzes the characteristics of CAN network (Controller Area Network) and compares them with the characteristics of known electronic interfaces, which are used for the development of traffic control systems. Such interfaces were considered as: RS-423, RS-422 and RS-232. It should be noted that they work much faster and transmit control signals directly to the executive bodies. It is shown that despite the lower speed, the advantages of the CAN network are high protection against external interference, reliability and error-free operation. These advantages are manifested in networks with many nodes that work simultaneously and interact with each other. The main advantage of CAN is the ability to provide adaptive management of network nodes when they exchange information, process it on on-board computers and take into account the current situation as it develops at a particular time. Using the CAN network, a system design of some systems has been developed, which are relevant for implementation on cars on urban electric vehicles. The project of adaptive lighting system developed in accordance with the recommendations of NECE is: Transport Regulation No. 123, Uniform provisions*

concerning the approval of adaptive front-lighting systems (AFS). This system implements one of the most advanced algorithms of AFS, namely the pre-inspection algorithm, which takes into account the properties of the driver's eyes to assess the traffic situation on the road. The option of implementing an automated toll collection system in a trolleybus, which includes cash registers, validators, number of passenger sensors and a passenger alert system, was also considered. It is proposed to perform an adaptive lighting system and an automated fare collection system on one CAN bus with a speed of 1 Mbit/s, as one of them works while driving on the route, and the other mainly during vehicle stops. The system of energy saving for the means of city ground passenger electric transport at the expense of a choice of optimum modes of movement is also developed. The system works on an advanced electronic model for calculating motion characteristics. It includes a computer with the appropriate software, an electronic route map, traffic schedules, and a satellite orientation system. During the movement the coordinates and speed of the vehicle are determined and according to the program the mode of movement from the current point to the stopping point is calculated. As a result of processing the results and comparing them with the schedule, the driver is recommended to choose the mode of movement with the lowest energy consumption. A state patent has been obtained for the proposed system.

Keywords: CAN network, intelligent system, car, trolleybus, adaptive lighting, energy saving, interface.

Soroka Konstantin Alekseevich¹, Ph.D. Electric transport, kasoroka@ukr.net, tel. +38 097-499-2495
¹Kharkiv National University of Municipal Economy named after OM Beketov. 61002, Ukraine, Kharkiv, street Marshala Bazhanova, 17.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЯГОВОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Двадненко В. Я.¹, Сериков Г. С.¹, Пушкарь О. Б.¹

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Показана необходимость контроля режимов заряда и разряда литий-ионной тяговой аккумуляторной батареи электромобилей и гибридных автомобилей. Полностью реализовать заложенные производителем возможности тяговой аккумуляторной батареи можно только, если строго обеспечивать рекомендованные изготовителем режимы заряда и разряда, т.е. поддерживать в допустимых пределах токи и напряжения на каждом элементе аккумуляторной батареи. Эти режимы должна обеспечивать специальная управляющая система. Данная статья посвящена рассмотрению практической реализации возможного варианта выполнения такой системы.

Ключевые слова: Электромобиль, гибридный автомобиль, тяговая аккумуляторная батарея, зарядное устройство, корректор коэффициента мощности, устройство балансировки элементов аккумуляторной батареи, контроллер заряда и разряда.

Введение

Тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ) в электромобиле или в подзаряжаемом гибридном автомобиле в значительной степени определяет основные параметры электромобиля или подзаряжаемого гибридного автомобиля (PHEV). Производители постоянно совершенствуют параметры ТАБ, такие как удельная энергоёмкость, удельная мощность, рабочий диапазон температур, долговечность, максимальное число рабочих циклов.

Однако реализовать полностью возможности ТАБ можно только, если строго обеспечивать рекомендованные изготовителем режимы заряда и разряда, т.е. поддерживая в допустимых пределах токи, напряжения, температурный режим.

При эксплуатации электромобиля или подзаряжаемого гибридного автомобиля с литий-ионной ТАБ, контроль за этими параметрами должна осуществлять специальная управляющая система, английская аббревиатура BMS (Battery Manger System). Возможным вариантам выполнения такой системы и посвящена эта работа.

Анализ публикаций

Различные типы аккумуляторов имеют свои особенности эксплуатации. Рассмотрим наиболее широко применяемые для электромобилей литий-ионные аккумуляторы. Благодаря высокому электрохимическому потенциалу лития у них наиболее высокое напряжение одного элемента (одной ячейки), а значит

и высокая удельная энергия. Однако из-за высокой химической активности лития необходимо не допускать химических реакций, ведущих к появлению металлического лития в аккумуляторе. Для этого работа литиевых аккумуляторов основана на процессах интеркаляции и деинтеркаляции ионов в материалы анода и катода.

Развитие электрического транспорта в последнее время характеризуется интенсивным ростом использования ТАБ на основе литий-ионных аккумуляторов [1–4].

ТАБ на основе литий-ионных аккумуляторов обладает высокими удельными массогабаритными энергетическими характеристиками. Поэтому в литий-ионных ТАБ накопленной энергии оказывается достаточно для обеспечения длительного пробега на одной зарядке и, как следствие, ТАБ на основе литий-ионных аккумуляторов может использоваться в транспортных системах различного назначения. В основе безопасной и эффективной эксплуатации литий-ионных батарей лежит непрерывный контроль за основными параметрами аккумулятора, а также мониторинг истории заряда/разряда и фактической ёмкости. При формировании многоэлементной последовательно соединённой литий-ионной аккумуляторной батареи возникает проблема разброса напряжений и уровней заряда отдельных аккумуляторных ячеек («разбаланс ячеек»). По достижении хотя бы одной из ячеек критического напряжения при разряде необходимо отключить накопитель от

нагрузки, так как дальнейший разряд повлечет нарушение требований эксплуатации. В этом случае емкость батареи будет определяться емкостью самой слабой ячейки. Таким образом, чтобы повысить эксплуатационные характеристики аккумуляторных батарей, необходимо управлять зарядным процессом накопителя и балансировкой аккумуляторных ячеек [5–8].

Способы балансировки можно разделить на два типа: активная и пассивная балансировка [9,10]. Вид балансировки аккумуляторной батареи определяется техническими, эксплуатационными, экономическими требованиями, а также особенностями построения накопителя.

Таким образом, актуальной задачей является разработка системы управления режимами ТАБ, т.е. разработка алгоритма заряда батареи, состоящей из n аккумуляторных ячеек, обеспечивающих оптимальное соотношение накопленной энергии и временных затрат на процесс заряда и балансировки. В таких аккумуляторах в зависимости от химического состава электродов и электролита в аккумуляторе, могут быть разные пределы зарядных и разрядных напряжений и токов. Вопрос балансировки литий-ионных аккумуляторных батарей подробно рассмотрен в работе [5].

Практическая реализация зарядного устройства и балансирующей системы ТАБ для гибридного подзаряжаемого автомобиля описана в работе [3].

Балансировка применительно к литий-железофосфатным аккумуляторным батареям рассмотрена в работе [8].

Цель и постановка задачи

Целью работы является разработка устройства контроля режимов работы ТАБ подзаряжаемого гибридного автомобиля, разработанного на основе автомобиля Ланос-пикап.

Задача состоит в разработке схемотехники зарядного устройства, балансирующего устройства и контроллера режимов заряда и разряда которые обеспечат безопасную зарядку и балансировку ТАБ за приемлемое для ночной зарядки время.

Кроме того, необходимо обеспечить конструктивное выполнение и размещение всех требуемых блоков и узлов, связанных с ТАБ в конкретном подзаряжаемом гибридном автомобиле с необходимым уровнем безопасности и надежности.

Результаты исследования

Рассмотрим требования и ограничения, которые необходимо соблюдать, а также рассмотрим проблемы, которые возникают при заряде и при разряде литий-ионных аккумуляторов, т.е. аккумуляторов, у которых установлены жесткие предельные значения зарядного и разрядного напряжений каждого элемента аккумуляторных батарей.

Будем рассматривать алгоритм заряда ТАБ в котором в первой фазе зарядное устройство стабилизирует ток заряда, а затем, во второй фазе заряда стабилизирует максимально допустимое при заряде напряжение ТАБ. Контролировать необходимо ток и напряжение каждой ячейки ТАБ.

Поскольку элементы ТАБ включены последовательно, то ток у них общий и контролируется датчиком тока ТАБ. По сигналу этого датчика производится защитное отключение (или ограничение) зарядного или разрядного тока аккумулятора, а также обычно производится и управление крутящим моментом тягового электродвигателя. Для токовой защиты ключей инвертора этот датчик недостаточно быстродействующий из-за большой емкости конденсаторов в цепи питания инвертора. Конденсаторы необходимы для устранения реакции индуктивности проводов, соединяющих ТАБ и инвертор. Защиту ключей инвертора обычно обеспечивает защита с датчиками тока в фазных проводах тягового электродвигателя и (или) токовая защита интеллектуальных силовых модулей (IPM) инвертора [3].

Напряжение на каждой ячейке ТАБ необходимо контролировать индивидуально для того, чтобы ни на одной ячейке не произошло ни повышения напряжения при заряде выше максимально допустимого, ни понижения напряжения при разряде ниже минимально допустимого.

Ограничение предельного разряда важно для предотвращения выхода из строя отдельных элементов ТАБ из-за их переплюсовки. Переплюсовка возникает потому, что разрядный ток ТАБ для полностью разряженных элементов становится зарядным, но с противоположной полярностью выводов. Это ведет к повреждению этих ячеек.

Кроме того, необходим контроль температуры ТАБ, обычно в нескольких точках. В случае слишком высокой температуры сни-

жается (или выключается) ток заряда или разряда. Если есть для ТАБ система охлаждения, может увеличиваться интенсивность ее работы. В случае слишком низкой температуры ТАБ, заряд производится после предварительного прогрева батареи электрическими нагревателями от сети.

Бортовое зарядное устройство практически реализовано на подзаряжаемом микрогибридном автомобиле на основе автомобиля ZAZ Lanos Pickup [3,4,11]. ТАБ этого автомобиля состоит из 20 ячеек литий-железофосфатных аккумуляторов WB-LYP90АНА, емкостью 90 Ач. Рабочее напряжение одной ячейки 3,2 В, батареи 64 В. Предельное напряжение заряда одной ячейки 3,6 В, батареи

72 В. Основная зарядка производится от однофазной сети переменного тока. Дополнительная зарядка происходит при рекуперативном торможении автомобиля.

Потребляемая мощность сетевого зарядного устройства до 1,8 кВт. Функциональная схема бортового зарядного устройства с системой балансировки и защиты приведена на рис.1. На входе бортовое зарядное устройство содержит корректор коэффициента мощности (ККМ) (Power factor corrector (PFC)), совмещенный с гальванической развязкой. ККМ выполнен на основе микросхемы IR1155S [12]. Гальваническая развязка выполнена в виде резонансного полумостового DC/DC конвертора с выходным напряжением $U=80$ В. Ток до 25А. на основе микросхемы IR2153 [13].

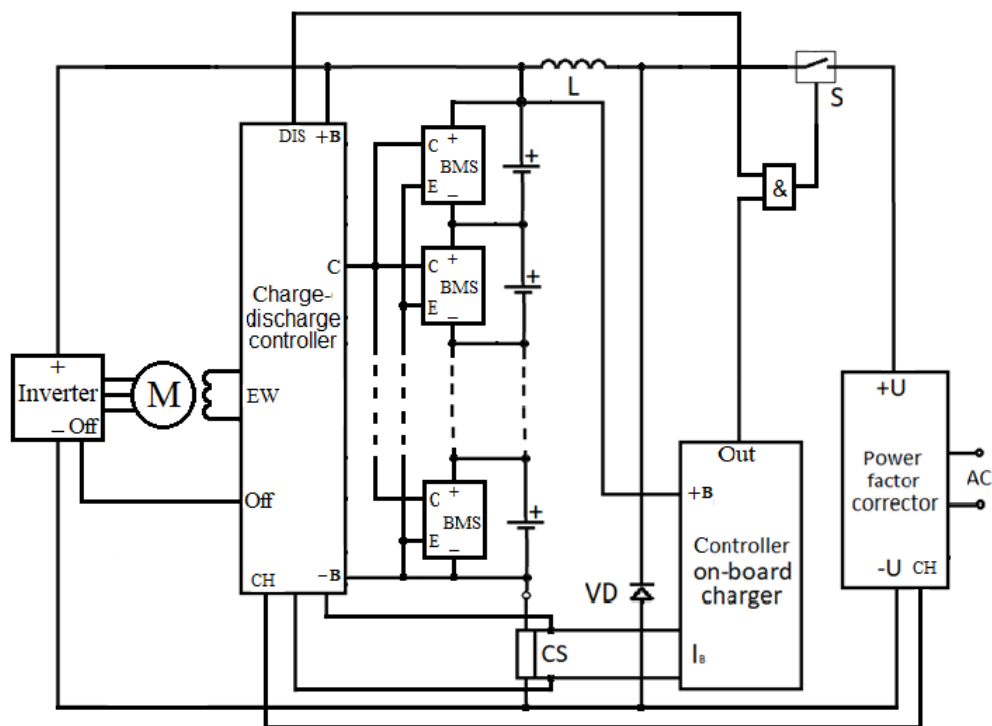


Рис.1. Функциональная схема бортового зарядного устройства с платами BMS

Контроллер бортового зарядного устройства, для управления ключом S, формирует на выходе Out импульсную последовательность. Путем изменения коэффициента заполнения этой последовательности, с учетом сигнала с датчика тока CS, осуществляется стабилизация зарядного тока на уровне 20 А. Когда в процессе зарядки напряжение ТАБ достигнет максимального значения 72 В, контроллер начинает уменьшать коэффициент заполнения, а значит и уменьшать зарядный ток. Та-

ким образом происходит стабилизация требуемого максимального напряжения ТАБ. Контроль этого напряжения происходит по входу +В контроллера зарядного устройства. Контроллер зарядного устройства выполнен на основе микросхемы TL494 [14]. Однако прежде чем будет достигнуто максимальное напряжение ТАБ, будет достигнуто максимальное напряжение отдельных элементов ТАБ. Для этих элементов дальнейшая зарядка становится недопустимой, поэтому необходима работа системы балансировки (BMS).

Система балансировки выполнена с использованием того обстоятельства, что при приближении к полной зарядке внутреннее сопротивление элементов ТАБ WB-LYP90АНА изменяется незначительно, а ЭДС, напротив, заметно увеличивается. Согласно расчетам, для указанных аккумуляторов, при подключении разрядного резистора, общий зарядный ток должен отключаться, так как разрядный резистор не рассчитан на прохождение через него зарядного тока. С целью упрощения системы увеличена разность между напряжениями включения и выключения разрядных резисторов системой BMS, т.е. соответственно 3,65 В и 3,55 В, при этом платы BMS сделаны отдельно для каждой банки. Каждая плата контролирует как заряд, так и разряд соответствующей банки. Информация о необходимости отключения зарядного или разрядного тока передается по однобитовой шине на вход С контроллера заряда-разряда. Система балансировки выполнена на

основе плат BMS, схема которых приведена на рис. 2.

Рассмотрим работу этой платы.

Вход микросхемы управляемого стабилизатора TL431 [15] через делитель подключен к плюсу и минусу элемента ТАБ, анод TL431 подключен к минусу элемента ТАБ. Делитель напряжения подобран так, чтобы когда ЭДС элемента ТАБ достигнет 3,65 В сопротивление между анодом и катодом TL431 существенно уменьшится и ток через TL431 откроет транзистор BC857C, напряжение на коллекторе этого транзистора через резистор 51к повысит напряжение на входе TL431 таким образом, чтобы выключение проводимости стабилизатора произошло при понижении ЭДС элемента ТАБ до 3,55 В. Одновременно открытый транзистор BC857C откроет транзистор BD137 и транзистор BD244C. В коллекторной цепи транзистора BD244C включен нагрузочный резистор 3,3 Ом с мощностью 5 Вт. Этот резистор обеспечит разряд элемента ТАБ.

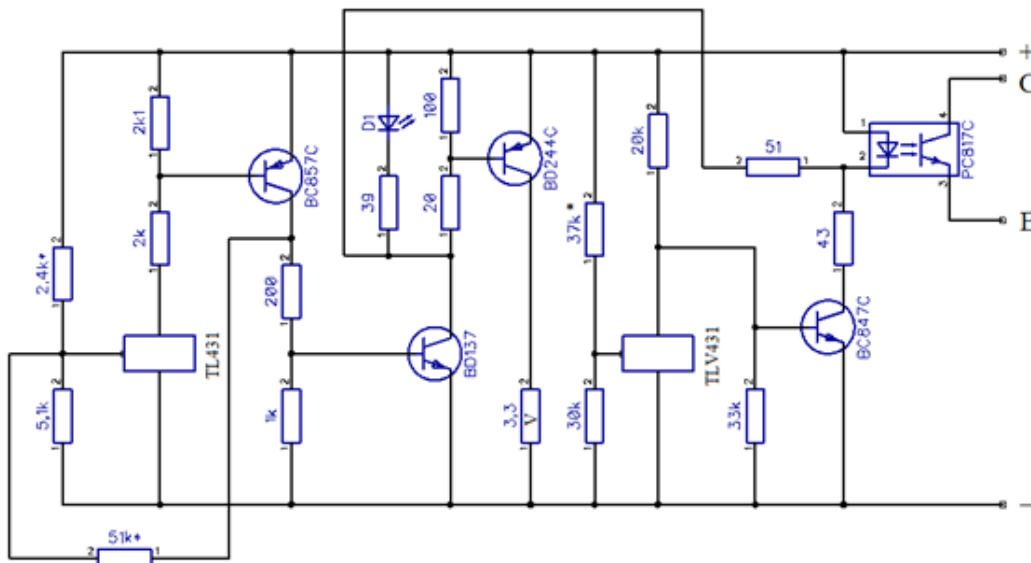


Рис. 2. Схема платы BMS

Кроме того, открытый транзистор BD137 включает светодиод D1, который обозначит элемент ТАБ, где подключен разрядный резистор и включает светодиод оптрона PC817C, который обеспечивает гальваническую развязку с контроллером BMS. Контроллер BMS во время зарядки, на время, пока есть этот сигнал, т.е. пока открыт транзистор оптрона, отключает зарядный ток и только тогда включает зарядный ток, когда транзистор оптрона закроется. Контроллер BMS определяет наличие режима зарядки по сигналу с вывода СН

блока PFC. Этот сигнал появляется, когда на PFC есть напряжение сети.

Отключение тягового электродвигателя происходит, когда напряжение на клеммах элемента опускается ниже заданного порога, например, ниже 2,0 В - 2,5 В. Следит за снижением напряжения микросхема управляемого стабилизатора TLV431 [16], которая перестает пропускать ток от катода к аноду и, тем самым, открывает транзистор BC847C. Этот транзистор включает светодиод оптрона

PC817C, тем самым подает сигнал контроллеру BMS. Контроллер BMS в режиме, когда нет зарядки, реагирует на открытие транзистора оптрона отключением разрядного тока, и уже не позволит его включить, пока вновь не будет заряжена ТАБ. В этом случае подзаряжаемый гибридный автомобиль может двигаться только на ДВС.

Схема бортового зарядного устройства с платами BMS (рис. 2) имеет более простую и более надежную структуру зарядно-разрядного контроллера, недостатком этой схемы является большое число плат BMS.

Выводы

Проведен краткий обзор особенностей применения литий-ионных аккумуляторов в электромобилях и подзаряжаемых гибридных автомобилях. Рассмотрены варианты организации безопасных режимов заряда и разряда литий-ионных ТАБ в автомобилях с тяговым электроприводом.

Предложенные варианты схемотехнического решения построения зарядного устройства, балансирующих устройств и контроллера режимов заряда и разряда ТАБ позволяют обеспечить ее достаточно быструю зарядку и балансировку, а также обеспечить защиту ТАБ при заряде и разряде.

Предложен и практически реализован вариант бортового зарядного устройства с системой выравнивания заряда.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты имеют практическое значение для транспортной отрасли.

Литература

1. Ning D., Prasad K., Lie T. The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. 9 (1), 49–66. (2017)
2. Гиббс Н. Плагин-гибриды будут преобладать среди автомобилей с электрифицированным приводом в Европе. *Журнал Автомобильных Инженеров*. 2015. № 6 (95). С. 20–21.
3. Бажинов О. В., Двадненко В. Я. Автомобільні гібридні силові установки. Харків, 2016. 186 с
4. Двадненко В. Я., Пушкарь О. Б. Улучшение экономических и экологических характеристик микрогибридного автомобиля. *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* Харьков, 2019. Вып. 45. С.12–22.
5. Рыкованов А. С. Системы баланса Li-ион аккумуляторовных батарей *Силовая электроника*. 2009. № 1. С.52–55.
6. Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, C. Guanquan, J. Sun, C. Chen Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power*

Sources. 2012. Vol. 208. P. 210–224.

7. Сердечный Д.В., Томашевский Ю.Б. Управление процессом заряда многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей *Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль*. Саратов, 2017. № 3 (21). С. 115–123.
8. Рыкованов А.С. Способы балансирования портативных железо-фосфатных Li-ион аккумуляторных батарей. *Компоненты и технологии*. 2012. № 10. С.1-12.
9. Pistoia, G. Li-Ion Batteries: Advances and Applications. Newnes. Oxford, 2013. 634 p.
10. Беляев С., Рыкованов А. Активные и пассивные системы баланса Li-Ion аккумуляторных батарей. *Компоненты и технологии*. 2014. №3. С.121-124.
11. Dvadnenko V., Arhun Shch., Bogajevskiy A., Ponikarovska S. Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 2018. Vol. 10, № 3, pp. 209–222. doi: 10.1504/IJEHV.2018.097377
12. IR1155S datasheet. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/427261/IRF/IR1155S.html>. (дата звернення 14.10.2020).
13. IR2153 datasheet. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/542363/IRF/IR2153.html>. (дата звернення 14.10.2020).
14. TL494 datasheet. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/12679/ONSEMI/TL494.html>. (дата звернення 14.10.2020).
15. TL431 datasheet. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/5774/MOTOROLA/TL431.html>. (дата звернення 14.10.2020).
16. TLV431 datasheet. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/28993/TI/TLV431.html>. (дата звернення 14.10.2020).

References

1. Ning D., Prasad K., Lie T. (2017). The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. 9 (1), 49–66.
2. Gibbs N. (2015) Plagin-gibridy` budut preobladat` sredi avtomobilej s elektrificirovannym privodom v Evrope. [Plug-in hybrids will prevail among electrified vehicles in Europe.]. *Zhurnal Avtomobilnykh Inzhenerov*. 6 (95). 20–21. [in Russian]
3. Bazhinov OV, Dvadnenko V. Ya. (2016) Avtomobilni gibrydni sylovi ustanovky. [Automobile hybrid power plants.]. Kharkiv.
4. Dvadnenko V. Ya., Pushkar O. B. (2019). Uluchshenie ekonomicheskikh i ekologicheskikh kharakteristik mikrogibridnogo avtomobilya. [Im-

- proving the economic and environmental characteristics of a micro-hybrid vehicle.]. *Avtomobilnyj transport: sb. nauch. tr. Kharkov.* 45.12–22.
5. Rykovanov A. S. (2009). Sistemy` balansa Li-ion akkumulyatorny`kh batarej Silovaya e`le-ktronika. [Balance systems of Li-ion rechargeable batteries] *Silovaya elektronika.* 1. 52-55.
 6. Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, C. Guanquan, J. Sun, C. Chen. (2012). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power Sources.* 208. 210–224.
 7. Serdechnyj D.V. Tomashevskij Yu.B. (2017) Upravlenie processom zaryada mnogoelementnykh litij-ionny`khakkumulyatornykh batarej. [Control of the charging process of multi-element lithium-ion rechargeable batteries]. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol. Saratov.* 3 (21). 115–123. DOI 10.21685/2307-5538-2017-3-16.
 8. Rykovanov A.S. (2012) Sposoby balansirovaniya portativnykh zhelezofosfatnykh Li-ion akkumulyatornykh batarej. [Methods of balancing portable iron-phosphate Li-ion rechargeable batteries.]. *Komponenty i tekhnologii.* 10. 1-12.
 9. Pistoia G. (2013). *Li-Ion Batteries: Advances and Applications.* Newnes. Oxford.
 10. Belyaev S., Rykovanov A. (2014) Aktivnye i pasivnye sistemy` balansa Li-Ion akkumulyatornykh batarej. [Active and passive balance systems for Li-Ion accumulator batteries] *Komponenty` i tekhnologii.* 3. 121-124.
 11. Dvadnenko V., Arhun Shch., Bogajev-skiy A., Ponikarovska S. Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles,* 2018. 10 (3). 209-222. doi: 10.1504 / IJEHV.2018.097377
 12. IR1155S datasheet. Retrived from: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/427261/IRF/IR1155S.html> (accessed: 14.10.2020)
 13. IR2153 datasheet. Retrived from: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/542363/IRF/IR2153.html>. (accessed: 14.10.2020).
 14. TL494 datasheet. Retrived from: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/12679/ONSEMI/TL494.html>. (accessed: 14.10.2020).
 15. TL431 datasheet. Retrived from: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/5774/MOTOROLA/TL431.html>. (accessed: 14.10.2020).
 16. TLV431 datasheet. Retrived from: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/28993/TI/TLV431.html>. (accessed: 14.10.2020)

Двадненко Владимир Яковлевич¹, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 067-733-04-41,

dvadnenkovladimir@gmail.com,

Сериков Георгий Сергеевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 067-947-86-87, georgy301212@gmail.com,

Пушкарь Олег Борисович¹, аспирант, каф. автомобильной электроники, тел. +38 095-246-30-07, oleg.pushkar83@gmail.com

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Розробка пристрою для контролю режимів роботи тягової акумуляторної батареї

Анотація. Показана необхідність контролю режимів заряду і розряду літій-іонної тягової акумуляторної батареї (ТАБ) електромобілів і гібридних автомобілів. Повністю реалізувати закладені виробником можливості тягової акумуляторної батареї можна тільки, якщо строго забезпечувати режими заряду і розряду, тобто підтримуючи в допустимих межах струми і напруги на кожному елементі акумуляторної батареї. Ці режими повинні забезпечувати спеціальна керуюча система BMS (Battery Manger System). Дана стаття присвячена розгляду практичної реалізації можливого варіанту виконання такої системи. Оскільки елементи ТАБ включені послідовно, то струм у них загальний і контролюється датчиком струму батареї. Напруга на кожному елементі ТАБ необхідно контролювати індивідуально для того, щоб ні на одному елементі не відбулося ні підвищення напруги при заряді вище максимально допустимого, ні зниження напруги при розряді нижче мінімально допустимого. Бортовий зарядний пристрій практично реалізовано на мікрогібридному автомобілі на основі автомобіля Ланос-нікан. ТАБ цього автомобіля складається з 20 банок літій-залізофосфатні акумуляторів WB-LYP90АНА, ємністю 90 Ач, максимальне напруження заряду однієї банки 3,6 В. Наведено функціональну схему бортового зарядного пристрою з системою балансування і захисту. На вході зарядний пристрій містить коректор коефіцієнта потужності. Гальванічна розв'язка виконана у вигляді резонансного полумостового DC / DC конвертору. Контролером бортового зарядного пристрою здійснюється стабілізація зарядного струму і напруги. Коли в процесі зарядки напруга ТАБ досягне максимального значення 72В, контролер починає зменшувати коефіцієнт заповнення, а значить і зменшувати зарядний струм, не допускаючи подальшого підвищення напруги. Однак перш ніж буде досягнуто максимальне напруження ТАБ, буде досягнуто максимальне напруження окремих елементів ТАБ. Для цих елементів подальша зарядка стає неприпустимою, тому необхідна робота системи балансування. Наведено

електричну схему і описаний принцип роботи плати BMS.

Ключові слова: Електромобіль, гібридний автомобіль, тягова акумуляторна батарея, зарядний пристрій, коректор коефіцієнта потужності, пристрій балансування елементів акумуляторної батареї, контролер заряду і розряду.

Двадненко Володимир Якович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 067-733-04-41, dvadnenkovladimir@gmail.com,

Серіков Георгій Сергійович¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 067-947-86-87, georgy301212@gmail.com,

Пушкар Олег Борисович¹, аспірант, каф. автомобільної електроніки, тел. +38 095-246-30-07, oleg.pushkar83@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Development of a control device of the traction battery operation

Abstract. *The necessity of control of charge and discharge modes of lithium-ion traction accumulation battery (TAB) of electric cars and hybrid cars is shown. It is possible to fully realize the capabilities of the traction battery set by the manufacturer only if you strictly ensure the modes of charge and discharge, i.e. maintaining currents and voltages on each element of the battery within acceptable limits. These modes must be provided by a special control system BMS (Battery Manger System). This article is devoted to the practical implementation of a possible use of such a system. Because the TAB elements are connected in series, the current in them is common and is controlled by a battery current sensor. The voltage at each element of the TAB must be monitored individually so that no element has an increase in voltage when the charge is above the maximum allowable, or a*

decrease in the voltage when the discharge is below the minimum allowable. The onboard charger is practically realized on the microhybrid car on the basis of the Lanos pickup car. TAB of this car consists of 20 cans of lithium-iron-phosphate batteries WB-LYP90AHA, capacity is 90 Ah, maximum charge voltage of one can is 3.6 V. The functional diagram of the onboard charger with balancing and protection system is given. At the input, the charger contains a power factor corrector. The galvanic isolation is made in the form of a resonant half-bridge DC/DC converter. The controller of the onboard charger stabilizes the charging current and voltage. When in the process of charging the TAB voltage reaches a maximum value of 72V, the controller begins to reduce the fill factor, and hence reduce the charging current, preventing further voltage increase. However, before the maximum TAB voltage is reached, the maximum voltage of the individual TAB elements will be reached. For these elements, further charging becomes unacceptable, so the work of the balancing system is necessary. The electric scheme is given and the principle of work of the BMS board is described.

Keywords: *electric car, hybrid car, traction battery, charger, power factor corrector, battery balancing device, charge and discharge controller.*

Dvadnenko Volodymyr Yakovych¹, Doctor of Technical Sciences, Prof. automotive electronics dep. tel. +38 067-733-04-41,

dvadnenkovladimir@gmail.com,

Serikov Georgy Sergeevych¹, Ph.D., Assoc. prof. automotive electronics dep., tel. +38 067-947-86-87, georgy301212@gmail.com,

Pushkar Oleg Borysovych¹, graduate student, dept. automotive electronics, tel. +38 095-246-30-07, oleg.pushkar83@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.