

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0

ISSN: 2226-9266



АВТОМОБІЛЬ І ЕЛЕКТРОНІКА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ



**ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ
СПЕЦІАЛІЗОВАННЕ
ВИДАННЯ**

ВИПУСК



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)

13/2018

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

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0

Харків 2018

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

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0

В журналі публікуються матеріали теоретичних та практичних досліджень присвячених перспективним напрямкам розвитку автомобільної електроніки, впровадженню та удосконаленню гібридних та електромобілів, моделюванню транспортних процесів і систем, інформаційним технологіям й інтелектуальним системам на транспорті, сучасним технологіям діагностики систем і агрегатів транспортних засобів. 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 наукових фахових видань України** наказом Міністерства освіти і науки України №1528 від 29.12.2014

Редакційна колегія

Головний редактор: *Дзюбенко О. А.*, к.т.н., доцент кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ
Заступник головного редактора: *Аргун Ш. В.*, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ
Відповідальний секретар: *Трунова І. С.*, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ
Члени редколегії: *Абрамчук Ф. І.*, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ;
Алексієв О. П., докт. техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки, ХНАДУ;
Бажинюк О. В., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ;
Батиґін Ю. В., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри фізики, ХНАДУ;
Богасєвський О. Б., докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ;
Богомолов Віктор Олександрович, докт. техн. наук, професор, заступник ректора з наукової роботи, ХНАДУ;
Валков В. П., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів, ХНАДУ;
Воронков О. І., докт. техн. наук, професор, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння ХНАДУ;
Гнатів А. В., докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ;
Гурко О. Г., докт. техн. наук доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ХНАДУ;
Горбачов П. Ф., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, ХНАДУ;
Двадненко В. Я., докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ;
Далека В. Х., докт. техн. наук, професор, професор кафедри електричного транспорту, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова;
Клименко В. І., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, ХНАДУ;
Клець Д. М., докт. техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, ХНАДУ;
Колодяжний В. М., докт. фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри інформатики і прикладної математики, ХНАДУ;
Корогодський В. А., докт. техн. наук, професор, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ;
Назлюк І. С., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри організації та безпеки дорожнього руху, ХНАДУ;
Нагорний Є. В., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій, ХНАДУ;
Ніконов О. Я., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки, ХНАДУ;
Подригало М. А., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин, ХНАДУ;
Полянський О. С., докт. техн. наук, професор, професор кафедри технології машинобудування та ремонту машин, ХНАДУ;
Сараєв О. В., докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів, ХНАДУ;
Смирнов О. П., докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ;
Солодов В. Г., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки і гідравліки, ХНАДУ;
Шуклінов С. М., докт. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів, ХНАДУ;
Янютин Є. Г., докт. техн. наук, професор, професор кафедри математики, ХГУПТ, м. Харків;
Богдан Д. І., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів і машин, ХНАДУ;
Вдовиченко В. О., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій, ХНАДУ;
Воронай О. В., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів і машин, ХНАДУ;
Михалевич М. Г., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, ХНАДУ;
Чаплигін Є. О., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри фізики, ХНАДУ;
Tropina A. A., Dr., prof., Texas A and M University, Department of Aerospace Engineering, College Station, United States;
Vrublevsky A. N., prof., D. Sc., University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland.

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

ЗМІСТ

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Рогозін І. В., Новічонок С. М., Гнатів А. В., Рогозіна А. І. Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів	5
Гнатів А.В., Аргун Щ. В., Дзюбенко О.А., Понікаровська С.В. Вибір схеми підключення електродвигунів у електромашинному вузлі пристрою генерації електричної енергії	13
Бажинов Ан. В., Бажинова Т.О. Визначення безпеки руху автомобіля по його індексу якості	22
Сараєва І. Ю., Стародубцов А. А. Применение современных литий–ионных аккумуляторных батарей на электромобилях	28
Манойло В. М. Управление дроссельной заслонкой системы воздухообеспечения автотранспортного двигателя.....	36
Михалевич Н. Г., Сильченко Н. Н. Усовершенствование параметров модели электродвигателя механизма переключения передач в трансмиссии автотранспортных средств	42

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ. СИНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЕКОМОБІЛІВ

Пронин С. В. Использование интеллектуальных агентов в задачах обмена информацией между транспортными средствами.....	48
Ніконов О. Я., Аврамов К. В., Успенський Б. В. Концепція розроблення транспортних засобів на основі конвергенції інтелектуальних критичних технологій	54
Сушков І. М., Дзюбенко О. А. Система допомоги при обгоні вантажних автомобілів	59

ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, РОЗВИТОК МЕРЕЖІ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕКОМОБІЛІВ. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ

Гнатів А. В., Аргун Щ. В., Дзюбенко О. А., Тарасова В. В., Новічонок С. М. Войт О. В. Похибки приладів обліку електричної енергії	66
Шелудченко Л. С. Функціональні ознаки автотранспортного потоку	75

**Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Дзюбенко О. А., Тарасова В. В., Левенець А. О.,
Пілявець О. О.**
Енергозбереження в системах електропостачання 80

Черновол О.В.
Електромобіль як важливий елемент розвитку транспортної інфраструктури90

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ І ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Солодов В. Г., Авершин А. Г.
Модель переносу атмосферних забруднень в полосе насаждений возле
автомобильной дороги 98

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

Бороденко Ю. М.
Синтез експертної діагностичної системи електроприводу автомобіля 108

Шляхи покращення економічних і екологічних показників автотранспортних засобів. Енергозберігаючі технології

УДК 629.33:681.51

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0.5

СПОСІБ РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОГО СИЛОВОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Рогозін І. В.¹, Новічонок С. М.¹, Гнатів А. В.², Рогозіна А. І.³

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

³Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

***Анотація.** Проведене теоретичне обґрунтування способу розрахунку параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів за умовою забезпечення роботи спеціального обладнання елементами автомобільного шасі. Результати проведених досліджень дозволяють визначити потужність гібридного силового агрегату автомобільного шасі, потужність генератора і ємність АКБ, а також обрати ДВЗ гібридного силового агрегату автомобільного шасі.*

***Ключові слова:** автомобільне шасі, генератор, гібридний силовий агрегат, електричний двигун, коефіцієнт динамічності, мотор-генератор, спеціалізований автотранспортний засіб.*

Вступ

На цей час, у світі ведеться постійна боротьба за зменшення залежності від нафтопродуктів. Поширення набувають електричні та гібридні автомобілі. Розвиток сучасної мобільної техніки (будівельної, аварійно-відбудовної, рятувальної, військової тощо), що дозволяє швидко пересуватися та виконувати різноманітні специфічні (спеціальні) завдання потребує створення спеціалізованих автотранспортних засобів (САТЗ). Слід звернути увагу, що сучасні САТЗ, також потребують вдосконалення та підвищення їх економічності [1–6].

У більшості випадків в конструкції САТЗ засовуються електричні приводи (генератори, електродвигуни тощо) спеціального обладнання, які приводяться до дії ДВЗ автомобільного шасі. Одним з перспективних напрямків розвитку САТЗ є побудова їх спеціального обладнання з використанням елементів гібридних (електродвигун та ДВЗ) силових агрегатів автомобільного шасі. У сукупності, усе це призводить до необхідності знаходження теоретичного підґрунтя для створення сучасних САТЗ з гібридними силовими агрегатами [4–12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо [6–8], що спеціальні і спеціалізовані автотранспортні засоби, це спеціальні ма-

шини на базі автомобільних шасі, які виконують різноманітні завдання з забезпечення рухомості спеціального обладнання (комунальної, будівельно-монтажної, пожежної, спеціальної, військової та іншої техніки) і пересування різноманітних вантажів до місць застосування за призначенням.

Характерним прикладом сучасних САТЗ можуть бути автомобільні крани типу КТА-25 та КТА-28, що призначені для виконання будівельно-монтажних робіт. Ці САТЗ, окрім вітчизняного автомобільного шасі КрАЗ-63221, мають у своєму складі спеціальне обладнання – вантажопідйомне обладнання та механізм приводу (електричні двигуни), що працює від джерела електричного струму. Під час роботи, електродвигуни механізму приводу крана отримують електричне живлення від генератора що приводиться до дії ДВЗ автомобільного шасі [6 – 8].

Слід відзначити [6, 7], що до САТЗ постійно висуваються вимоги, щодо підвищення ефективності їх експлуатації. На цей час шляхами підвищення ефективності застосування САТЗ може бути збільшення їх:

- мобільності;
- надійності;
- простоти побудови та експлуатації;
- можливості виконання завдань за призначенням в автономних умовах (в умовах відсутності систем електропостачання тощо).

Сучасні САТЗ потребують високу надійність характеристик силового агрегату автомобіля (автомобільного шасі – засобу пересування), для забезпечення заданого рівня мобільності та достатнього запасу потужності для подолання перешкод (рух поза шляхами). Саме тому переважна більшість САТЗ мають рухому базу (автомобільні шасі).

Основні положення, щодо вибору та обґрунтування параметрів автомобілів з силовими агрегатами, що використовують двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) та гібридні (електричні двигуни та ДВЗ одночасно) надані у [9–13].

Відповідно [13], зміна величини швидкості автомобіля (САТЗ) від початку гальмування V_1 до закінчення V_2 призводить до зміни кінетичної енергії САТЗ:

$$\Delta W_{\text{CM}} = \frac{m_{\text{CM}}}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad (1)$$

де m_{CM} – загальна маса САТЗ, кг.

Зрозуміло, що під час гальмування $V_1 > V_2$ й кінетична енергія САТЗ стає негативною $\Delta W_{\text{CM}} < 0$, тобто САТЗ (а саме гальмівні механізми) віддає свою кінетичну енергію [10, 11].

Якщо припустити, що САТЗ повністю зупиняється ($V_{\text{зр}2} = 0$ м/с), його кінетичну енергію, перетворюючи вираз (1), можна визначити як:

$$W_{\text{CM}} = \frac{m_{\text{CM}} V_{\text{CM}}^2}{2}, \quad (2)$$

де V_{CM} – швидкість САТЗ на початку гальмування ($V_{\text{CM}} = -V_1$), м/с.

При рекуперативному гальмуванні електродвигун автомобільного шасі САТЗ переключасться в режим генератора. Кінетична енергія САТЗ (2) перетворюється в електричну та використовується для заряджання АКБ [10, 11].

Враховуючи витрати на механічне тертя у різних складових двигуна та трансмісії гібридного автомобіля, дорожні умови та коефіцієнт корисної дії (ККД) генератору (мотор-генератору) близько 80 % кінетичної енергії САТЗ при такому гальмуванні можуть перетворюватися в електричну енергію.

Вирази (1) та (2) надають теоретичне обґрунтування доцільності застосування гібридних силових агрегатів у конструкції автомобілів (автомобільних шасі). Проте економічні

переваги, щодо застосування в конструкції саме САТЗ не висвітлюють [9–11].

У роботі [4] проаналізовані варіанти та запропоновано загальна схема використання елементів спеціального обладнання як частини елементів гібридної силової установки автомобільного шасі засобів наземного забезпечення польотів авіації. Проте це зроблено лише для техніки, що забезпечує обслуговування літаків та працює у специфічних умовах військового аеродрому.

Для визначення динамічності автомобілю та будь-якої іншої САТЗ на базі автомобільного шасі в роботі [3] у якості критерію запропоновано використовувати коефіцієнт динамічності. Але у вказаній роботі коефіцієнт динамічності визначено лише для автомобіля, що обладнано ДВЗ та не враховується специфіка динаміки гібридного силового агрегату.

Аналіз останніх публікацій показав, що в них відсутні рекомендації щодо вибору та теоретичного обґрунтування конструкції та характеристик спеціального обладнання САТЗ з використанням елементів гібридного силового агрегату автомобільного шасі [14, 15].

Метою статті є теоретичне обґрунтування способу розрахунку параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів за умовою забезпечення роботи спеціального обладнання елементами автомобільного шасі.

Спеціалізовані автотранспортні засоби

На теперішній час, практично всі автомобільні шасі САТЗ використовують ДВЗ. Налагоджене виробництво, система технічного обслуговування та ремонту, надійність цих двигунів у сполученні з механічної (гідромеханічною) трансмісією майже не спонукає до розвитку інших напрямків побудови силових агрегатів. Також слід відмітити, що прогрес у будь-якої галузі є поетапним процесом розвитку з чітко виділеними перевагами, тому кінцевий успіх використання того, чи іншого силового агрегату у конструкції САТЗ вимірюється успішним виконаннями завданням за призначенням з найбільшою ефективністю.

На даному етапі розвитку технологій гібридні та електричні силові агрегати застосовують переважно в деяких визначених класах автомобілів, ніж у якості автомобільних шасі САТЗ.

Використання електричного привода у конструкції автомобільних шасі САТЗ веде до фундаментальних змін у технологіях вироб-

ництва через те, що АКБ, які використовуються для живлення електродвигунів приводу коліс автомобіля також можуть застосовуватися й для приводу електричної частини (електродвигунів приводу, електричних систем

керування, іншого електрообладнання) спеціального обладнання САТЗ.

У таблиці 1 наведено основні переваги та недоліки використання САТЗ з повністю електричним силовим агрегатом.

Таблиця 1 – Основні переваги та недоліки використання САТЗ з повністю електричним силовим агрегатом

Складові САТЗ	Переваги	Недоліки
Автомобільне шасі	підвищення керованості, безвідмовності та, відповідно, безпеки руху за рахунок того, що кожне колесо має можливість приводитися до дії окремо (мотор-колесо), незалежно від інших	обмежений запас ходу, через залежить від ємності АКБ автомобільного шасі та доступу до джерела зовнішнього живлення для їх заряджання (дозаряджання)
	економічність через відсутності необхідності працювати двигуну на «холостому ході»	немає
	економічність через усунення втрати енергії, що витрачається на нерівномірність роботи ДВЗ	немає
	економічність через використання енергії рекуперації під час гальмування автомобільного шасі для заряджання АКБ	ускладнення конструкції
Спеціальне обладнання	можливість забезпечення плавного та більш точного виконання функціонального призначення (елементи керування, виконавчі приводи тощо)	обмежений час роботи, через залежить від ємності АКБ автомобільного шасі та доступу до джерела зовнішнього живлення для їх заряджання (дозаряджання)
	підвищення економічності через використання енергії рекуперації під час гальмування приводів спеціального обладнання (під час опускання вантажу, обладнання тощо)	немає
	можливість використання електричної енергії зовнішніх від джерел у місці виконання завдань за призначенням (промислова мережа, пересувні зовнішні джерела (електрогенератори) тощо)	немає
САТЗ в цілому	підвищення економічності за рахунок використання альтернативних джерел енергії (сонячної, вітрової тощо) для заряджання АКБ САТЗ	обмежений запас ходу автомобільного шасі та час роботи спеціального обладнання

Застосування в конструкції гібридного електричного силового агрегату автомобільного шасі ДВЗ надає можливість при зберіганні вище наведених переваг (табл. 1) збільшити запас ходу та час роботи спеціального обладнання тобто автономність роботи САТЗ в цілому.

Розглянемо основні параметри гібридного силового агрегату для САТЗ та спосіб їх розрахунку за умовою забезпечення роботи спеціального обладнання елементами автомобільного шасі.

Визначення потужності гібридного силового агрегату автомобільного шасі, що необхідна для переміщення САТЗ у різних режимах руху

Загальна потужність гібридного силового агрегату автомобільного шасі, що необхідна для переміщення САТЗ у різних режимах

руху та умовах експлуатації може бути визначена наступним чином:

$$N^{\text{гіб}} = N_{\text{стал}} + N_{\text{дод}}, \quad (3)$$

де $N_{\text{стал}}$ – потужність, необхідна для підтримання сталої швидкості руху $V_{\text{стал}}$, яка визначається з залежності [2, 3, 5]:

$$N_{\text{стал}} = \frac{V_{\text{стал}}}{\eta_{\text{тр}}} \left(m_{\text{СМ}} \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \rho \cdot F \cdot V_{\text{стал}}^2 \right), \quad (4)$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансмісії;

C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору;

ρ – щільність повітря, кг/м³;

F – площа лобового опору (мідель) САТЗ, м²;

$N_{\text{дод}}$ – додаткова потужність, кВт.

Додаткова потужність враховує умови руху САТЗ і може бути визначена за виразом:

$$N_{\text{дод}} = N_{\text{розг}} + N_{e1} + N_{e2} + N_{e3} + N_{e4}, \quad (5)$$

де $N_{\text{розг}}$ – потужність необхідна для розгону САТЗ від швидкості на початку прискорення V_0 до $V_{\text{стал}}$, кВт.

Складові: N_{e1} необхідна для збереження постійної швидкості САТЗ під час руху на підйомі; N_{e2} – для забезпечення сталого повороту САТЗ із необхідною кутовою та лінійною швидкістю; N_{e3} – для підтримки створеного рульовим керуванням необхідного керуючого впливу при повороті САТЗ; N_{e4} – для забезпечення подолання інших протидій руху САТЗ визначається за допомогою залежності наведених [3].

Виходячи з характеристик ДВЗ, електродвигуна (мотор-колеса, мотор-генератора тощо) та враховуючі особливості роботи автомобільного шасі САТЗ оснащеного гібридним силовим агрегатом, та (3), приймаємо:

$$N_{\text{стал}} = N^{\text{ДВЗ}}, \quad N_{\text{дод}} = N^{\text{едв}}, \quad (6)$$

де $N^{\text{ДВЗ}}$ – потужність ДВЗ, що необхідна для розгону САТЗ від швидкості V_0 до $V_{\text{стал}}$, кВт;

$N^{\text{едв}}$ – сумарна потужність електричних двигунів, кВт.

Визначення потужності генератора (мотор-генератора) та ємності АКБ автомобільного шасі за умовою забезпечення роботи спеціального обладнання

У зв'язку з тим, що мотор-генератор автомобільного шасі передбачається використовувати як резервне джерело живлення для спеціального обладнання САТЗ, потужність мотор-генератора $N_{\text{м-г}}^{\text{едв}}$ не повинна бути нижче потужності, що споживається спеціальним обладнанням САТЗ:

$$N_{\text{м-г}}^{\text{едв}} \geq N_{\text{СО}} + N_{\text{з АКБ}}, \quad (7)$$

де $N_{\text{СО}}$ – потужність, що споживає спеціальне обладнання САТЗ, кВт;

$N_{\text{з АКБ}}$ – потужність, що необхідна для зарядки АКБ, кВт.

Отже:

$$N_{\text{м-г}}^{\text{едв}} \geq N_{\text{АКБ}} = I_{\text{роз}} \cdot U_{\text{АКБ}}, \quad (8)$$

де $N_{\text{АКБ}}$ – миттєва потужність, що забезпечує АКБ, кВт;

$I_{\text{роз}}$ – сила струму розряду АКБ, А;

$U_{\text{АКБ}}$ – напруга АКБ, В.

Характеристики АКБ ($U_{\text{АКБ}}$ та $I_{\text{роз}}$) можливо підібрати з'єднуючи послідовно-паралельно акумулятори в єдину батарею (АКБ). У свою чергу, ємність АКБ визначимо через роботу мотор-генератора та мотор-колес, яка витрачається на прискорення ЗР протягом деякого часу t до сталої швидкості. При цьому буде витрачатися потужність $N^{\text{едв}}(t)$. Енергію, що витрачається мотор-генератором та мотор-колесом визначаємо за виразом:

$$E_{\text{едв}} = \int_0^{t_{\text{пр}}} N^{\text{едв}} dt, \quad (9)$$

де $t_{\text{пр}}$ – час прискорення ЗР, с.

Струм розряду АКБ визначаємо:

$$I_{\text{роз}} = \frac{N^{\text{едв}}}{U_{\text{АКБ}}}, \quad (10)$$

а ємність АКБ:

$$E_{\text{АКБ}} = I_{\text{роз}} \cdot t. \quad (11)$$

Напругу АКБ ($U_{\text{АКБ}}$) можливо розраховувати за параметрами мотор-генератора. За умовою послідовного з'єднання акумуляторів їх кількість визначається за виразом:

$$n_A = \frac{U_{\text{АКБ}}}{U_A}, \quad (12)$$

де U_A – напруга одного акумулятору під навантаженням, В.

Застосування гібридного силового агрегату в автомобільному шасі САТЗ окрім своєї основної функції надає можливість здійснювати живлення (або його резервувати) спеціального обладнання забезпечуючи практичне

миттєве його включення. У якості джерел (резервних джерел) у цьому випадку можуть бути мотор-генератор та АКБ автомобільного шасі. Постійна готовність АКБ до прийняття навантаження, дозволяє забезпечувати електроживлення спеціального обладнання на час виходу на режим основних джерел електроживлення. При обиранні характеристик АКБ та мотор-генератора слід виходити з того, що вони повинні забезпечувати струм навантаження еквівалентний або кращий за струм, що забезпечується штатним генератором САТЗ.

Для забезпечення встановленого режиму заряду АКБ оптимальна величина електричного струму визначається за формулою:

$$I_{з\ АКБ} = 0,5E_{АКБ} \cdot \quad (13)$$

Враховуючи ККД, потужність мотор-генератора, що необхідна для заряджання АКБ визначається як:

$$N_{м-г\ АКБ} = \frac{U_{м-г} \cdot I_{м-г\ з}}{\eta_{м-г}}, \quad (14)$$

де $U_{м-г}$ – напруга мотор-генератора ($U_{м-г} \approx 1,14U_{АКБ}$), В;

$I_{м-г\ з}$ – зарядний струм мотор-генератора ($I_{м-г\ з} = I_{з\ АКБ}$), А;

$\eta_{м-г}$ – ККД мотор-генератора.

У самому складному випадку під час виконання завдання за призначенням – використання спеціального обладнання на місці, мотор-генератор гібридного силового агрегату автомобільного шасі повинний одночасно забезпечити роботу спеціального обладнання САТЗ та заряджання АКБ. У цьому випадку потужність, що витрачається на живлення спеціального обладнання визначається з урахуванням умови (6). Потужність мотор-генератора автомобільного шасі можливо визначити як суму потужностей, що витрачаються для забезпечення роботи спеціального обладнання САТЗ ($N_{CO} = N_{г\ CO}$) та заряджання АКБ з урахуванням виразів (13) та (14), як

$$N_{м-г} = N_{г\ CO} + N_{з\ АКБ} \cdot \quad (15)$$

Визначену величину потужності генератора (мотор-генератора) доцільно округлити до найближчого значення типорозмірного ряду у більший бік згідно з [16].

Вибір ДВЗ гібридного силового агрегату автомобільного шасі

Під час виконання автомобільним шасі завдання за призначенням (пересування САТЗ) потужність двигуна внутрішнього згорання та потужність мотор-генератора можливо визначити через сумарну потужність гібридного силового агрегату автомобільного шасі [4–11]:

$$N_e^{гіб} = N^{гіб} = N^{едв} + N^{ДВЗ} \cdot \quad (16)$$

З урахуванням [3], у якості критерію динамічності САТЗ оснащеного гібридним силовим агрегатом доцільно встановити коефіцієнт динамічності:

$$K_{дин}^{гса} = \frac{N_e^{гіб}}{N_{e0}} \leq K_{дин}^{max} \cdot \quad (17)$$

Сумарну потужність автомобільного шасі САТЗ з врахуванням залежності (17), можна визначити як:

$$N_e^{гіб} = K_{дин}^{ЗР} N_{e0} \cdot \quad (18)$$

Враховуючи (15), (16), за різницею між сумарною потужністю силового агрегату автомобільного шасі та сумарної потужності електричних двигунів (мотор-генераторів) визначаємо сумарну потужність ДВЗ, за виразом:

$$N_e = N_e^{гіб} - N^{едв} \cdot \quad (19)$$

За виразами (16) – (19) визначаємо необхідну потужність ДВЗ автомобільного шасі САТЗ оснащеного гібридним силовим агрегатом.

Для вибору ДВЗ, що найбільш доцільно використовувати у САТЗ з гібридним силовим агрегатом обираємо найбільш близький за характеристиками потужності дизельний двигун.

Висновки

Таким чином, проведено теоретичне обґрунтування способу розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів за умовою забезпечення роботи спеціального обладнання елементами автомобільного шасі.

1. Результати проведених досліджень дозволяють:

– визначити потужність гібридного сило-

вого агрегату автомобільного шасі, що необхідна для переміщення САТЗ у різних режимах руху;

– визначити потужність генератора (мотор-генератора) та ємність АКБ автомобільного шасі за умовою забезпечення роботи спеціального обладнання;

– обрати ДВЗ гібридного силового агрегату автомобільного шасі.

2. Отримало подальшого розвитку застосування у якості критерію динамічності автотранспортного засобу коефіцієнта динамічності спеціалізованого автотранспортного засобу оснащеного гібридним силовим агрегатом.

3. Застосування в конструкції гібридного електричного силового агрегату автомобільного шасі ДВЗ надає можливість збільшити запас ходу та час роботи спеціального обладнання тобто автономність роботи САТЗ в цілому.

4. Використання наданої концепції надає можливість створення спеціалізованих автотранспортних засобів вітчизняного виробництва, зокрема автомобільного крану на базі автомобіля КраЗ, з використанням елементів гібридного силового агрегату автомобільного шасі та з урахуванням умов його експлуатації.

Література

1. Фасхiev X.A. Обоснование выбора рациональных параметров автомобиля при разработке технического задания / X.A. Фасхiev. – Уфа: УГАТУ, 2013. – т. 17, №3 (56) – С. 117 – 122.
2. Theory of Ground Vehicles J. Y. Wong. John Wiley & Sons, 2008 – 592 p.
3. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів / М.А. Подригалo, В.В. Шелудченко –Суми: СНАУ, 2015.– 213 с.
4. Перспективна схема побудови засобу рухомості аеродромного пересувного електроагрегату. / С.І. Борових, С.М. Новічонoк, І.В. Рогозін, І.В. Терентьєва / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – X., ХУПС, 2009. – С. 41 – 44. Доступ до сайту: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Nitps_2009_2_12.pdf
5. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двaдненко В.Я.]. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
6. Краткий автомобильный справочник: Специальные и специализированные автотранспортные средства: Коммунальная техника, строительномонтажная техника, спецтехника для нефтегазового комплекса, пожарная техника, автомастерские и автолаборатории / М.И.

- Грифф, И.А. Венгеров, В.С. Олитский и др. – М.: Автополис-плюс, 2005. – Т4. – 472 с.
7. Курочкин А.И. Стреловые самоходные краны технические характеристики. Часть 1. Краны автомобильные и на шасси автомобильного типа. / А.И. Курочкин. – М.: ПКТИПРОМСТРОЙ, 1996 – 236 с.
 8. Автокраны КраЗ-65053, КраЗ-63221. Офіційний сайт. Режим доступу: <http://www.autokraz.com.ua/index.php/ru/fabrication/automobile/civil/spec/for-construction/item/215-avtokran>
 9. К вопросу выбора мощности и алгоритма работы силовой установки гибридного автомобиля. В.В. Ломакин, А.А. Шабанов, А.В. Шабанов, / Журнал автомобильных инженеров. — №6 (83), 2013. Доступ к сайту: <http://www.aeppress.ru/f/83/40.pdf>
 10. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатoв А.В., Колесніков А.В. Гібридні автомобілі. – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
 11. Бажинов О.В. Конверсія легкового автомобіля в гібридний / О.В. Бажинов, В.Я. Двaдненко, М. Хакім. – X.: ХНАДУ, 2014. – 160 с.
 12. O. Alekseyev, V. Alekseyev, D. Klets, M. Artiomov, A. Kurenko, I. Rohozin, S. Novichonok, V. Khabarov, B. Kruk Development of automotive computer systems based on the virtualization of transportation processes management [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2017.– 6 (3 (90)), p. 14 – 25.
 13. Кирсанов М. Н. Теоретическая механика / Под ред. А. И. Кириллова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 384 с.
 14. Hnatov A. Energy saving technologies for urban bus transport / A. Hnatov, Shch. Arhun1, S. Ponikarovska // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. – №14(4). – С. 4649-4664.
 15. Bobbie Frank. Using optimal control in concept evaluation and system optimization of diesel-electric hybrid construction machines. 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), 2016.– P. 1 – 6.
 16. ГОСТ 12139-84. Машины электрические вращающиеся. Ряды номинальных мощностей, напряжений и частот. – М.: Издат-во стандартов, 1985.– 6 с.

References

1. Fashsev H.A. "Ground of choice of rational parameters of car at development of requirement specification", 2013. p.117–122.
2. J. Y. Wong. "John Theory of Ground Vehicles Wiley & Sons", 2008, 592 p.
3. M.A. Podrigalo, V.V. Sheludchenko "New in the theory of operating properties of cars and tractors",

- Sumy, 2015, 213 p.
4. C.I. Borovyh, S.M. Novichonok, I.V. Rogozin, I.V. Terentieva "Perspective scheme of airdrome movable electro-set mobility means" Kharkiv, 2009
 5. O. V. Bazhynov, O. P. Smyrnov, S. A. Sierikov, V. Y. Dvadenko "Synerhetychnyi avtomobil. Teoriia i praktyka" [Synergetic automobile. Theory and practice]. Kharkiv, 2011, 236 p.
 6. M.I. Griff, I.A. Wengorov, V.S. Olitsky "Brief automobile guide: Special and specialized vehicles: Municipal machinery, construction equipment, special equipment for the oil and gas complex, fire equipment, auto and laboratory laboratories", Moscow, 2005, 472 p.
 7. A.I. Kurochkin "Self-propelled boom cranes technical characteristics. P.1. Truck cranes and car chassis", Moscow, 1996, 236 p.
 8. "Truck cranes KrAZ-65053, KrAZ-63221", Official site
 9. V.V. Lomakin, A.A. Shabanov, A.V. Shabanov "On the choice of power and the algorithm for the operation of the power plant of a hybrid car" [Journal of Automotive Engineers], 2013
 10. O.V. Bazhynov, O.P. Smirnov, S.A. Serykov, A.V. Gnatov, A.V. Kolyasnikov "Hybrid cars", Kharkiv, 2008, 327 p.
 11. O.V. Bazhynov, V.Y. Dvadenko, M. Khakim, "Konversiiia lehkovoho avtomobilia v hibrydnyi" [Hybrid conversion light duty vehicle], Kharkiv, 2014, 160 p.
 12. O. Alekseyev, V. Alekseyev, D. Klets, M. Artiimov, A. Kurenko, I. Rohozin, S. Novichonok, V. Khabarov, B. Kruk Development of automotive computer systems based on the virtualization of transportation processes management [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2017. – 6 (3 (90)), p. 14 – 25
 13. M. N. Kirsanov Theoretical mechanics physics and mathematics publishers. International Academic Publishing Company "Nauka" Russian Academy of Sciences Moscow, 2002, 384 p.
 14. Hnatov A. Energy saving technologies for urban bus transport / A. Hnatov, Shch. Arhun1, S. Ponikarovska // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. – №14(4). – С. 4649-4664.
 15. Bobbie Frank. Using optimal control in concept evaluation and system optimization of diesel-electric hybrid construction machines. 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), 2016. – P. 1 – 6.
 16. GOST 12139-84 "Electric rotating machines. Series of rated power, voltage and frequency" M., Publishing Standards, 1985, 6 p.

Поступила (received) 22.05.2018 p.

Рогозін Ігор Віталійович¹, к.т.н., с.н.с., тел. +38 066-915-91-67, iv_r@ukr.net,

Новічонок Сергій Михайлович¹, к.т.н., доц. тел. +38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,

Гнатів Андрій Вікторович², д.т.н., проф., тел. +38 066-743-08-87, kalifus76@gmail.com,

Рогозіна Анна Ігорівна³, студент, тел. +38 066-144-88-15, annyttal@i.ua,

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79,

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25,

³Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 61022, Україна, м. Харків, майдан Свободи, 4.

Method for calculating the basic parameters of hybrid power units for specialized vehicles

Abstract. Problem. Nowadays, in most cases, in the structure of specialized vehicles (SV) electric drives, generators, of special equipment, which are driven by an internal combustion engine of an automobile chassis, are used. One of the promising directions for the development of SV is the construction of their special equipment using elements of the hybrid power units of the car chassis and therefore there is a need to find the theoretical basis for their creation. **Goal.** The purpose of the article is to determine the method for calculating the parameters of a hybrid power unit for specialized vehicles on the condition that special equipment is provided with the elements of the car chassis. **Methodology.** A new approach to the use of SV car chassis is proposed through the use of its hybrid power unit as a special equipment element. **Originality.** The main provisions of the theoretical substantiation of the choice of parameters of a hybrid power unit for SV on the condition of maintenance of the work of special equipment by elements of the car chassis are considered. **Results.** The results of the conducted research allow to determine the power of the hybrid power unit of the car chassis, which is necessary for the movement of the SV in different modes of motion and the power of the generator (motor-generator) and the capacity of the battery car battery chassis on the condition of the operation of special equipment, as well as select a vehicle hybrid power unit chassis. **Practical value.** The use of the given concept provides the possibility of creation of specialized motor vehicles of domestic production, in particular a crane on the basis of the KrAZ vehicle.

Key words: automobile chassis, generator, hybrid power unit, electric motor, dynamic factor, motor-generator, specialized motor vehicle.

Rohozin I.¹, PhD, Senior Researcher, iv_r@ukr.net, **Novichonok S.**¹, Ph.D., Assoc. Prof., hobu4ohok@rambler.ru,

Hnatov A.², D.Sc., Prof., kalifus76@gmail.com,

Rohozina A.³, Student, annyttal@i.ua,

¹Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

²Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

³V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine.

Способ расчета основных параметров гибридных силовых агрегатов для специализированных автотранспортных средств

Аннотация. Проведено теоретическое обоснование способа расчета параметров гибридного силового агрегата для специализированных автотранспортных средств при условии обеспечения работы специального оборудования элементами автомобильного шасси. Результаты проведенных исследований позволяют определить мощность гибридного силового агрегата автомобильного шасси, мощность генератора и емкость АКБ, а также выбрать ДВС гибридного силового агрегата автомобильного шасси.

Ключевые слова: автомобильное шасси, генератор, гибридный силовой агрегат, электрический

двигатель, коэффициент динамичности, мотор-генератор, специализированный автотранспортное средство.

Рогозин Игорь Виталийович¹, к.т.н., с.н.с., тел. +38 066-915-91-67, iv_r@ukr.net,

Новичонок Сергей Михайлович¹, к.т.н., доц., тел. +38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,

Гнатов Андрей Викторович², д.т.н., проф., Тел. +38 066-743-08-87, kalifus76@gmail.com,

Рогозина Анна Игоревна³, студент, тел. +38 066-144-88-15, annyta1@i.ua,

¹Харківський національний університет Воздушних сил імені Івана Кожедуба, Інститут гражданської авіації, 61023, г. Харків, ул. Сумська 77/79,

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, г. Харків, ул. Ярослава Мудрого, 25

³Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 61022, Україна, г. Харків, площа Свободи, 4.

ВИБІР СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ У ЕЛЕКТРОМАШИННОМУ ВУЗЛІ ПРИСТРОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Гнатов А.В.¹, Аргун Щ. В.¹, Дзюбенко О.А.¹, Понікаровська С.В.¹
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

***Анотація.** Проведено дослідження та вибір типу двигуна і схем підключення його обмоток в генераторному режимі роботи електромашинного вузла для пристрою перетворення кінетичної та механічної енергії обертання в електричну. Запропоновано конструкцію та принцип роботи пристрою, що перетворює кінетичну енергію від натискання в електричну. Представлені результати експериментальних досліджень щодо визначення найбільш ефективного типу електродвигуна у відповідності до значення згенеровано потужності. За результатами експериментів визначено, що за одне обертання в прямому та зворотному напрямку з частотою $f = 1,185$ Гц більш ефективним є кроковий двигун ДШ 200-1.*

***Ключові слова:** електричні двигуни, перетворення електричної енергії, альтернативне джерело енергії, енергозбереження, кроковий двигун, генерація електроенергії.*

Вступ

Питання збереження та генерації електричної енергії набуває все більшої актуальності в усьому світі. Особливо нагальними є невеликі системи чи пристрої, що мають гарну «мобільність» та можуть бути легко змонтовані та встановлені у будь-якому місті для альтернативного та децентралізованого живлення. При цьому, мається на увазі те, що дана система (пристрій) здатна частково або повністю забезпечити електроенергією визначених споживачів [1, 2].

Останнім часом все більше країн декларують свої наміри щодо переходу на поновлювальні джерела електроенергії [3-6]. Одними з найперших в цьому є керівництво Шотландії, яке має намір з 2020 р. повністю перейти на поновлювальні джерела електроенергії. Для здійснення таких намірів розглядаються та застосовуються цілі комплекси заходів по розробці та впровадженню нових альтернативних джерел електроенергії. При цьому використовуються методи та способи перетворення різноманітних видів енергії в електричну. Цілком зрозуміло, що таке перетворення вимагає спеціальних технічних розробок пристроїв та систем. Отже, розробка пристроїв перетворення та генерації електроенергії є актуальною задачею, розв'язання якої дозволить не тільки вирішати питання електроживлення а й сприятиме прискореному переходу на чисті та поновлювальні джерела електроенергії.

У даній роботі представлено експериментальні дослідження типів двигунів та їх схем підключення у електромашинному вузлі пристрою генерації електричної енергії. Такий пристрій має компактні габаритні показники і призначений

для встановлення в містах з достатньою густиною людського потоку (вулиці, тротуари, зупинки громадського транспорту, сходинки, коридори, тощо). При виконанні кроку (натисканні) на такий пристрій йде процес перетворення кінетичної енергії в електричну. Основною ідеєю роботи є визначення найбільш ефективного двигуна та схеми з'єднання його статорних обмоток в електромашинному вузлу такого пристрою. В основу роботи покладено методи та способи перетворення кінетичної енергії та механічної енергії обертання в електричну, що дозволить згенерувати необхідну кількість електроенергії, а також забезпечить систему електроживлення додатковими, альтернативними малопотужними джерелами електроенергії [7, 8].

Аналіз публікацій

Одним з аналогів розробки є плитка Pavegen, що розробив англієць Лоуренс Кембелл-Кук, яка виробляє кінетичну енергію від кроків і перетворює її в електричну [9]. Аналогічну розробку запропонували російські вчені Абрамович Х., Хараш Е. та ін. [10]. Винахід відноситься до пристрою, системи і способу збору енергії на дорогах і автомагістралях з використанням п'єзоелектричного генератора. Недолік останньої розробки в тому, що вона потребує стаціонарної будови та вимагає спеціального обладнання і його монтажу. Винахідниками з США Brusaw S., Brusaw J. запропоновано пристрій «Сонячні дорожні панелі», які перетворюють енергію сонця в електричну, що й забезпечує роботу самих панелей та новітніх «розумних доріг» [11]. Але їх

розробка не може перетворювати кінетичну енергію від натискання в електричну. Вчений Ской В.Р. винайшов «П'єзоелектричний генератор постійного струму на основі ефекту Казимира» [12]. Винахід відноситься до перетворювачів енергії, які працюють на основі застосування п'єзокерамічних матеріалів і може бути використано в будь-якій області техніки, у якості мало-потужного джерела струму. В статті [13] Shalabh R.B. розглядає принципову можливість отримання електричної енергії шляхом її перетворення з енергії звукових хвиль та шляхом використання п'єзоелектричних елементів. Але автор розглядає лише принципову можливість такого перетворення та не дає конкретних приладів та систем, які здатні це зробити. У роботі [14] запропоновано поєднати процес перетворення механічної енергії в електричну та процес накопичення електричної енергії у вигляді хімічної енергії. Авторами не зазначено експлуатаційні характеристики їх розробки. В публікації [15] представлено спосіб перетворення електролітичного потоку в електричну енергію та надається схемна реалізація, але ж не зазначено склад та властивості основних матеріалів схеми та їх експлуатаційні характеристики. Авторами статті [16] запропоновано перетворювач енергії на основі термоелектричного конденсатора, а отже для його роботи потрібен перепад температур, що є його основним недоліком. В роботі [17] науковці наводять обґрунтування використання п'єзоелектричних перетворювачів в дорозі з асфальтним покриттям з точки зору ефективності та виробництва енергії. Отже, показано перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну, але не наведено конкретних технічних рішень для практичного використання цього процесу. В роботі [18] представлена технічний огляд гібридного вітрогенератора і фотоелектричного перетворювача енергії. Ці технічні рішення є досить потужними та громіздкими. Авторами статті [19] виконано моделювання робочих характеристик вітрових турбін що обертаються двигуном постійного струму. В роботі запропоновано схему імітації крутного моменту вітрової турбіни шляхом контролю струму якоря двигуна постійного струму. Але в статті не приведено характеристик згенерованої потужності двигуном постійного струму. В роботі [20] досліджено генератор з прямим приводом на основі принципу нелінійної комутації, що використовує енергію хвиль. Integrated with the sensorless technique, the direct-drive generator has the characteristics of low cost and robustness, and the power generation control system is especially suitable for the operation under hostile working environments since restrictions of

physical sensors are eliminated. Представлено аналіз ефективності системи управління виробленням електроенергії. Але автори, як і в статті [19] не приводять показники згенерованої потужності. Це не дає змоги сформулювати комплексну уяву щодо ефективності роботи електроприводу в генераторному режимі роботи. Авторами статті [21] досліджують пристрій перетворення кінетичної енергії від вібрацій в електричну. У цьому дослідженні розроблено прототип «Vibration Energy Harvester» для оцінки його ефективності при виробленні електроенергії з джерела вібрації. Основним елементом перетворення енергії є п'єзоелектричний матеріал. Завдяки властивостям та технічним характеристикам п'єзоелементів запропонований пристрій має малі масогабаритні показники. Загальним недоліком пристроїв та систем на основі п'єзоелементів є малий ресурс їх роботи, невелика надійність, та досить незначні силові показники з точки зору згенерованої потужності.

Досить перспективним представляється використання крокових двигунів в малопотужних системах генерації електроенергії, аналогом яких є плитка або дорожнє покриття, що генерує електроенергію [7-9]. В роботах [22] представлено результати чисельного моделювання для крокових двигунів але енергетичних характеристик не приведено. Нагальним же питанням остається такі – як ефективно кроковий двигун здатен працювати в електромашинному перетворювачі енергії? Яку кількість та потужність електроенергії можна згенерувати використовуючи кроковий двигун? Відповідь на поставлені питання будуть шукатися в дослідженнях запропонованої роботи.

Проведений огляд публікацій за темою дослідження показує, що дана тематика є актуальною для широкого загалу.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження та вибір типу двигуна і схем підключення його обмоток в генераторному режимі роботи електромашинного вузла для пристрою перетворення кінетичної та механічної енергії обертання в електричну.

Конструкція пристрою

Досить перспективним та ефективним виглядає електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну, в якому кінетична енергія від кроків людей перетворюється в електричну і накопичується в емнісних нагромаджувачах – іоністорах та акумуляторних батареях. Перетворення енергії відбувається за рахунок використання електромашинного вузла, в якому енергія від натискання перетворюється в енергію обертання

ротора електричної машини. Такого роду пристрій може бути використаний, як альтернативне та децентралізоване малопотужне джерело електричної енергії [7, 8].

Пропонується електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з електрогенератором (обратимая электрическая машина), що має корпус з натискною кришкою, в якому співвісно розміщені ротор і статор, з можливістю їх переміщення один відносно одного (рис.1). При цьому однакові кінці обмоток статора з'єднані між собою та виходять до електричного випрямляча, вихідні затискачі якого під'єднані до ємнісного накопичувача – іоністору. Останній через діод заряджає акумуляторну батарею, що через вимикач підключається до навантаження.

Ротор електрогенератора обертається відносно своєї вісі під дією рейки приводу електрогенератора через циліндричний мультиплікатор, що підвищує кутову швидкість обертання.



Рис. 1. Пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну: 1 – натискна кришка; 2 – рейка приводу електрогенератора; 3 – корпус; 4 – електрогенератор; 5 – мультиплікатор; 6 – робочий хід натискної кришки

Особливістю запропонованого пристрою перетворення кінетичної енергії в електричну є те, що він має малі ваго-габаритні показники та може легко встановлюватися в місцях з великою кількістю пішоходів та щільністю людського потоку.

Експериментальні дослідження

Метою експериментальних досліджень є визначення енергетичних характеристик різних типів електродвигунів (обратимых электрических

машин) та оптимальної схеми підключення їх статорних обмоток, для найкращої генерації електричної енергії при короткотривалих механічних впливах.

У відповідності до вимог здійснення пристрою перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну (конструктивні та ваго-габаритні), було відібрано два типи електродвигунів – це двигун постійного струму (ДПТ) типу: 45.3730 та кроковий двигун типу: ДШ 200-1, рис. 2.



Рис. 2. Досліджувані двигуни: а – двигун постійного струму (мотор опалювача ВАЗ, тип: 45.3730); б – кроковий двигун, тип: ДШ 200-1

Експериментальні дослідження складаються з двох частин:

1. Визначення найбільш ефективного типу електродвигуна (у відповідності до значення згенерованої потужності);

2. Визначення найбільш ефективною схеми підключення статорних обмоток електродвигуна.

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено експериментальний стенд (рис. 3), який складається з блоку керування (БК), драйверу крокового двигуна (КД), приводного крокового електродвигуна (ПКД) типу ДШ 200, до валу якого під'єднується досліджуваний електродвигун (ДД) в режимі генератора. Напруга, що генерується досліджуваним двигуном при обертанні, подається на блок випрямлення, фільтрації та навантаження (БВФН) і далі на вимірювальний канал осцилографа для фіксації результатів.

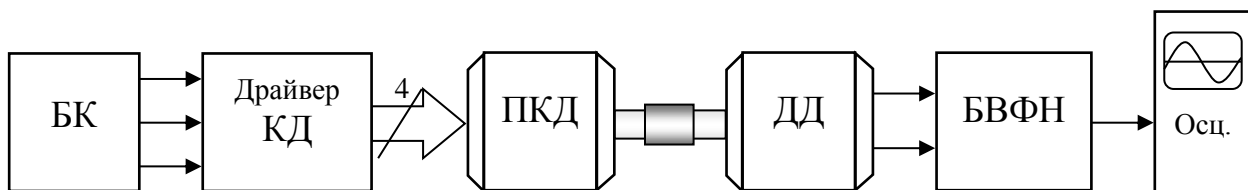


Рис. 3. Структурна схема експериментального стенду дослідження енергетичних характеристик роботи електродвигунів в якості генераторів

За принципом роботи пристрою генерації енергії від натискання примусове обертання двигуна здійснюється при натисканні через мультиплікатор в одному напрямку, а при відпусканні в зворотному, ці фази розділяються паузою при перенесенні ваги тіла людини. Весь процес триває близько секунди, тому за основу було вибрано такі часові параметри 300 мс на натискання, 100 мс пауза і 300 мс на зворотну дію пружини. Управління приводним двигуном здійснюється так, що він робить один повний оберт в одному напрямку, зупи-

няється та робить один оберт у зворотному напрямку, саме тому у якості приводного двигуна виступає кроковий двигун. Для всіх експериментальних досліджень час обертання приводного електродвигуна є сталим та незмінним.

На відміну від колекторного, досліджуваний кроковий двигун ДШ 200-1 має дві пари статорних обмоток, що дозволяє використати лише частину обмотки (рис. 4, а), а також включати їх в уніполярному (рис.4, б) та біполярному (рис. 4, в) з'єднанні.

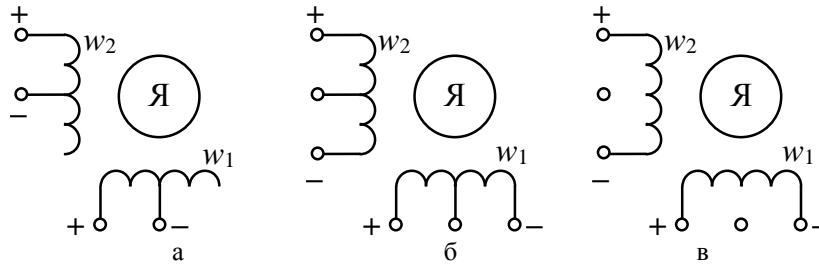


Рис. 4. Схеми з'єднання обмоток ДШ 200-1: а – однофазна; б – уніполярна; в – біполярна

Для виключення різноманітних похибок при вимірюваннях та для проведення їх в однакових умовах, виміри проводяться лише на одній парі

статорної обмотки КД. В залежності від схеми з'єднання статорних обмоток використовувались дві схеми блоку випрямлення напруги рис. 5.

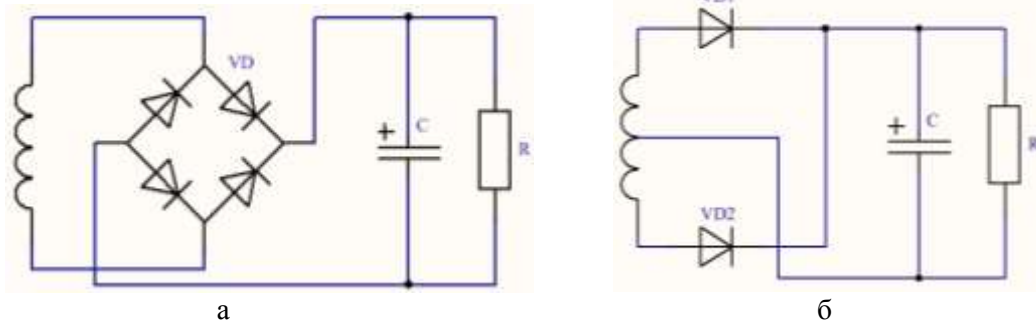


Рис. 5. Схема блоку випрямлення напруги: а – мостова; б – з середньою точкою

Зі статорної обмотки досліджуваного електродвигуна вимірюється сигнал напруги на активному опорі $R = 18 \text{ Ом}$. Отже, маючи опір навантаження (шунта) виміряну залежність напруги від часу $u = f(t)$, можна розрахувати залежність згенерованої потужності від часу $p = f(t)$ у відповідності до закону Ома [23]:

$$u(t) = R \cdot i(t), \tag{1}$$

де $u(t)$ – змінна напруга, В;
 R – активний опір кола, Ом;
 $i(t)$ – змінний струм, А.

Миттєва потужність, що виділяється на опорі визначається :

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}, \tag{2}$$

де P – миттєва потужність, Вт;

$$u = u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u);$$

$$i = i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Відомо, що для резистора $\psi_u = \psi_i$, тоді для потужності p отримаємо:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m I_m \sin^2(\omega t + \psi_u); \tag{3}$$

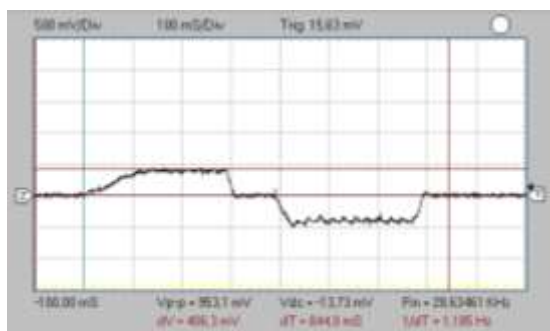
З рівняння (3) видно, що миттєва потужність завжди більше нуля і змінюється у часі. У таких випадках прийнято розглядати середню за період T потужність:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{U_m I_m}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t + \psi_u) dt. \tag{4}$$

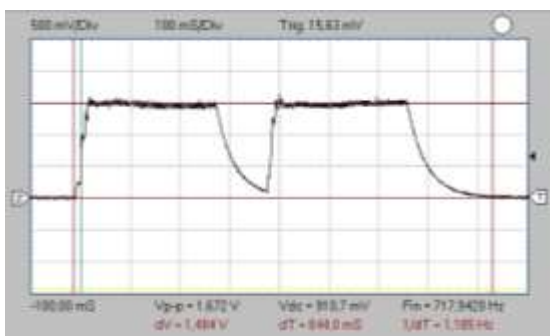
Виконавши інтегрування отриманих кривих $p=f(t)$ можна визначити значення згенерованої потужності статорною обмоткою досліджуваного двигуна за один оберт в прямому та зворотному напрямку.

Перейдемо до проведення експериментальних досліджень по першій з зазначених частин. Схема експериментального стенду представлена на рис. 3, схеми підключення статорних обмоток обох типів двигунів відповідають рис. 4,а. Спочатку проведено дослідження з електродвигуном постійного струму типу 45.3730, потім з кроковим електродвигуном ДШ 200-1.

Результати експериментальних досліджень по першій частині представлені на рис. 6.



а



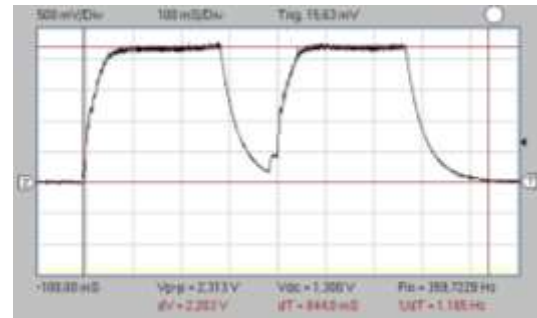
б

Рис. 6. Вимірювання кривої напруги на статорній обмотці електродвигунів: а – ДПТ; б – кроковий двигун

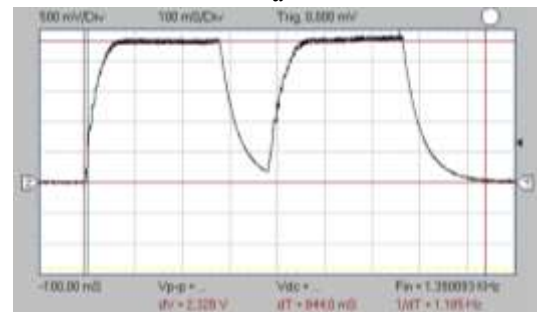
Слід зазначити, що вимірювання кривої напруги на двигуні постійного струму проводилось без випрямлення сигналу (без електричного випрямляча), в той час, як на кроковому двигуні сигнал був випрямлений за мостовою схемою. Це пов'язано з тим, що виміряні амплітудні значення напруги відрізняються більш ніж в 3,5 рази. Отже, очевидно, що більш ефективним є кроковий двигун, тому не має необхідності в випрямленні сигналу від ДПТ, для подальших розрахунків. Також слід вказати на те, що на схемі випрямлення втрачається потужність сигналу,

тобто його майже не видно (у вибраному масштабі), отже втрачається наочність.

У відповідності до другої частини експериментальних досліджень, проведено визначення найбільш ефективної схеми підключення статорних обмоток крокового електродвигуна. Схеми підключення статорних обмоток ДШ 200-1 представлені на рис. 4,б,в. Схема експериментального стенду представлена на рис. 3. Для кожної схеми проведено вимірювання кривої згенерованої напруги. Результати даних досліджень представлені у вигляді осцилограм на рис. 7.



а



б

Рис. 7. Вимірювання кривої напруги на статорній обмотці електродвигунів ДШ 200-1: а – схема рис. 4,б; б – схема рис. 4,в

Обробка результатів дослідження

Для отримання графіку згенерованої потужності у відповідності до виразів (2) та (4), необхідно провести інтегрування виміряних осцилограм, рис. 6, 7. Інтегрування осцилограм проведено у відповідності до методу трапецій [24]:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{2} \cdot \left(f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n) \right), \quad (5)$$

де $[a; b]$ – відрізок (границі) інтегрування;

$$h = \frac{a-b}{n} \text{ – крок розбиття;}$$

$$i = 0, 1, \dots, n;$$

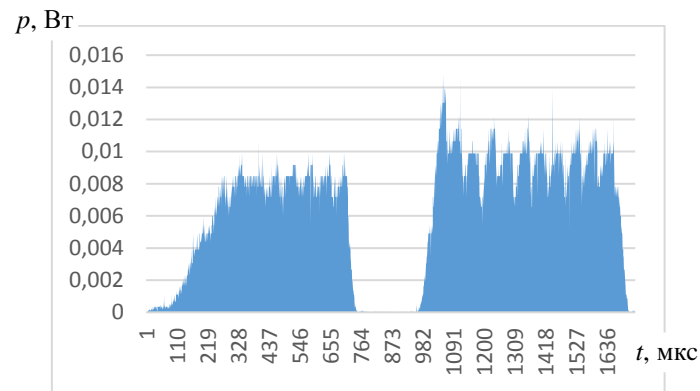
$f(x)$ – значення підінтегральної функції.

Відповідно до умов проведених експеримента-

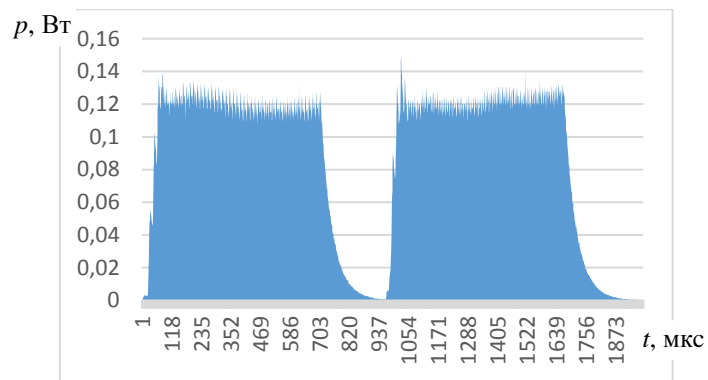
льних досліджень вираз (5), для визначення значення згенерованої потужності можна записати:

$$P = \int_0^T p(t) dt \approx \frac{h}{2} \cdot \left(p(t_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} p(t_i) + p(t_n) \right). \quad (6)$$

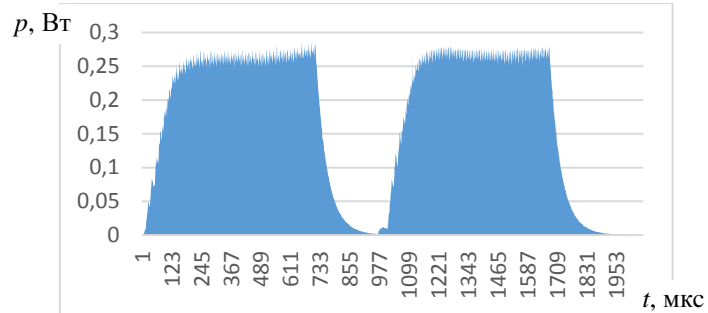
Результати проведеної обробки експериментальних досліджень у відповідності до виразу (6) представлені у вигляді графічної залежності $p = f(t)$ на рис. 8.



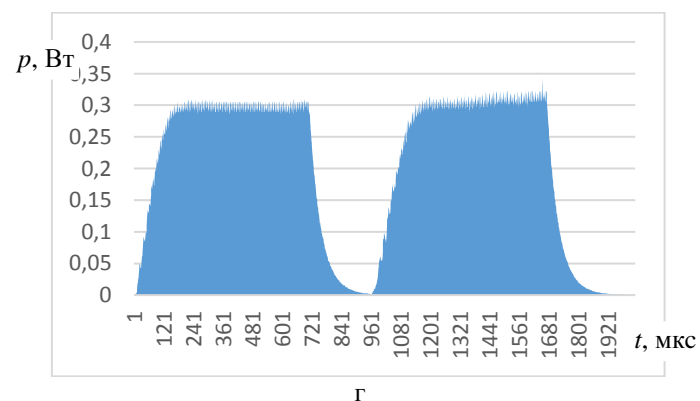
а



б



в



г

Рис. 8. Залежність згенерованої потужності від часу:

а – ДПС; б – ДШ 200-1 схема рис. 4,а; в – ДШ 200-1 схема рис. 4,б; г – ДШ 200-1 схема рис. 4,в

Значення згенерованої потужності, що розраховані при обробці експериментальних досліджень за виразом (5) приведені у табл. 1

Таблиця 1 – Значення згенерованої потужності

ДПС	ДШ 200-1(схеми з'єднання обмотки)		
	рис. 4,а	рис. 4,б	рис. 4,в
0,004 Вт	0,069 Вт	0,143 Вт	0,164 Вт

Результати проведених розрахунків показують, що за одне обертання в прямому та зворотному напрямку з частотою $f = 1,185$ Гц більш ефективним є кроковий двигун ДШ 200-1.

Інтегрування вимірних осцилограм показало, що найбільш ефективною, з точки зору згенерованої потужності, є схема з'єднання статорних обмоток крокового двигуна, що приведена на рис. 5,в. Отже, якщо стоїть задача отримати максимальне значення потужності, що генерує електромашинний вузол на основі крокового двигуна ДШ 200-1, то доцільно його статорну обмотку з'єднувати за даною схемою.

Досліджуваний електромашинний вузол у поєднанні з редуктором (мультиплікатором), що підвищує, може знайти своє застосування у малопотужних пристроях чи системах, що перетворюють механічну енергію обертання в електричну.

Висновки

Створення та отримання поновлювальних джерел електроенергії, які не утворюють шкідливих викидів та не забруднюють навколишнє середовище є нагальним науково-технічним завданням. Для вирішення поставленого завдання розглядаються та застосовуються цілі комплекси заходів по розробці та впровадженню нових альтернативних джерел електроенергії. При цьому використовуються методи та способи перетворення різноманітних видів енергії в електричну.

Актуальними є системи чи пристрої, що мають гарну «мобільність» та можуть бути легко змонтовані та встановлені у будь-якому місці для альтернативного та децентралізованого живлення. Дана система чи пристрій здатна частково або повністю забезпечити електроенергією визначених споживачів.

Представлено проведені експериментальні дослідження типів двигунів та їх схем підключення у електромашинному вузлу пристрою генерації електричної енергії. Такий пристрій

має компактні габаритні показники і призначений для встановлення в містах з достатньою густиною людського потоку. Запропоновано конструкцію та принцип роботи пристрою, що перетворює кінетичну енергію від натискання в електричну.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено структурну схему експериментального стенду для визначення енергетичних характеристик роботи електродвигунів в якості генераторів. За даною схемою розроблено стенд для проведення експериментальних досліджень.

Представлені результати експериментальних досліджень щодо визначення найбільш ефективного типу електродвигуна у відповідності до значення згенерованої потужності. Результати наведено у вигляді осцилограм напруги на статорній обмотці електродвигунів. За результатами вимірювань визначено, що за одне обертання в прямому та зворотному напрямку з частотою $f = 1,185$ Гц більш ефективним є кроковий двигун ДШ 200-1.

Обробка експериментальних досліджень проведено з використанням інтегральних методів математичної фізики, а саме методу трапецій. Інтегрування отриманих осцилограм дозволило визначити найбільш ефективну схему підключення статорних обмоток крокового двигуна ДШ 200-1. Визначено, що такою є схема з'єднання статорних обмоток, яка приведена на рис. 4,в. За одне обертання в прямому та зворотному напрямку з частотою $f = 1,185$ Гц вказана схема забезпечить потужність 0,164 Вт.

Проведені дослідження являються актуальними та віддзеркалюють широкий інтерес до розробки альтернативних малопотужних джерел електроживлення, а також до енергозбереження та розвитку енергоефективних технологій. Впровадження запропонованої розробки дозволить скоротити енергоживлення за рахунок згенерованої електроенергії альтернативними джерелами. Особливо ефективним запропонований пристрій буде в місцях в досить великою густиною людського потоку.

Література

1. Soni NK. Utilization of Gravitation for Generation of Electricity as an Additional Source. J Electr Electron Syst. 2016;5:177.
2. Garcia-Rodriguez LA, Balda JC, Mallela A, Escobar-Mejía A. A new SST topology comprising boost three-level AC/DC converters for applications in electric power distribution

- systems. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2015 IEEE: IEEE; 2015. p. 6051-8.
3. Chandel S, Shrivastva R, Sharma V, Ramasamy P. Overview of the initiatives in renewable energy sector under the national action plan on climate change in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;54:866-73.
 4. da Silva RC, de Marchi Neto I, Seifert SS. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;59:328-41.
 5. Jones GA, Warner KJ. The 21st century population-energy-climate nexus. *Energy Policy*. 2016;93:206-12.
 6. Schreurs MA. The Paris climate agreement and the three largest emitters: China, the United States, and the European Union. *Politics and Governance*. 2016;4:219-23.
 7. Гнатов А. В. Энергогенерирующая плитка как альтернативное маломощное джерело електричної енергії / А. В. Гнатов, Ш. В. Аргун // Автомобильный транспорт. – X. : ХНАДУ. – 2017. – Вып. 40. – С. 167-172.
 8. Hnatov AV, Arhun SV, Hnatova HA. Electric power generation device. *Ukrain*. 2016.
 9. Li X, Strezov V. Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. *Energy Conversion and Management*. 2014;85:435-42.
 10. Abramovich H, Harash E. Collection of energy from roads and runways. *Russia*.
 11. Welcome to Solar Roadways. Retrieved from <http://www.solarroadways.com>; 23 December 2016.
 12. Skoy VR. Piezoelectric DC generator based on the Casimir effect. *ussia*: 20.11.2013; 2013.
 13. Shalabh RB. Converting sound energy to electric energy. 2012.
 14. Xue X, Wang S, Guo W, Zhang Y, Wang ZL. Hybridizing energy conversion and storage in a mechanical-to-electrochemical process for self-charging power cell. *Nano letters*. 2012;12:5048-54.
 15. Liu L, Lim H, Lu W, Qiao Y, Chen X. Mechanical-to-Electric Energy Conversion by Mechanically Driven Flow of Electrolytes Confined in Nanochannels. *Applied Physics Express*. 2013;6:015202.
 16. Лунин Л, Карапетьян Г, Днепровский В, Катаев В. Преобразование тепла окружающей среды в электрическую энергию в системе металл-диэлектрик-полупроводник-металл. *Журнал технической физики*. 2013;83:72-7.
 17. Cafiso S, Cuomo M, Di Graziano A, Vecchio C. Experimental analysis for piezoelectric transducers applications into roads pavements. *Advanced Materials Research: Trans Tech Publ*; 2013. p. 253-7.
 18. Kumar P, Palwalia DK. Decentralized autonomous hybrid renewable power generation. *Journal of Renewable Energy*. 2015;2015.
 19. Gao L, Luo Y. Simulation of imitation of the characteristics of wind turbine based on DC motor with Matlab. *Sustainable Power Generation and Supply, 2009 SUPERGEN'09 International Conference on: IEEE*; 2009. p. 1-5.
 20. Pan J, Zou Y, Cheung N, Cao G. The direct-drive sensorless generation system for wave energy utilization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2014;62:29-37.
 21. Ramli MHM, Yunus MHM, Low CY, Jaffar A. Scavenging energy from human activities using piezoelectric material. *Procedia Technology*. 2014;15:827-31.
 22. Ionică I, Modreanu M, Morega A, Boboc C. Design and modeling of a hybrid stepper motor. *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2017 10th International Symposium on: IEEE*; 2017. p. 192-5.
 23. Bird J. *Electrical circuit theory and technology*: Routledge; 2014.
 24. English LD, Kirshner D. *Handbook of international research in mathematics education*: Routledge; 2015.

Поступила (received) 10.08.2018 р.

Гнатов Андрій Вікторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, kalifus76@gmail.com, тел. +38 066-7438-08-87,

Аргун Щасяна Валіковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,

Дзюбенко Олександр Андрійович¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Понікаровська Світлана Володимирівна¹, старший викладач кафедри іноземних мов, тел. +38 067-782-5250, ponikarovska@gmail.com,

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

Research of electrical distribution connections for the electrical energy generation device

Abstract. Problem. *Energy saving and energy efficiency is a pressing issue for now. One way to solve this problem is to implement various types of systems and devices that not only fulfill the function of energy saving, but also can generate a certain amount of energy for its further use. Such pieces of equipment that are small are good mobility and can be easily installed, are particularly relevant. One of the types of them is a power generating tile based on the conversion of kinetic energy into electrical one. Goal.* *Research and selection of the engine type and circuits for connecting its windings in the generator mode of operation of the electric machine for the device for converting kinetic and mechanical energy of rotation into electric. Methodology.* *We used the analytical methods of research on the development and application of methods and devices for transforming kinetic energy into electricity. The processing of*

experimental research was carried out using integral methods of mathematical physics, namely the trapezoid method. **Results.** The construction and principle of the device, which transforms the kinetic energy from electric pressure, is proposed. The results of experimental studies on the determination of the most efficient type of electric motor in accordance with the value of the generated power are presented. It is determined that for a single rotation in the forward and reverse direction with frequency $f = 1,185 \text{ Hz}$, the stepper motor DS 200-1 is more efficient. **Originality.** The method of determining the parameters of the generated electric energy with its transformed is improved. Integration of the received oscillograms allowed to determine the most effective scheme of connection of stator windings stepper motor DS-200-1. For one rotation in the forward and reverse direction with frequency $f = 1,185 \text{ Hz}$, the given circuit will provide a power of 0,164 W. **Practical value.** The proposed device can be used as an alternative source of electric energy in places with high permeability of people. Installing such devices will reduce the cost of power and save on consumed electricity.

Key words: energy generating tile, conversion of electrical energy, alternative energy source, energy-saving, energy-efficient technology, means of energy saving.

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Shhasiana Arhun¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Dzyubenko Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Ponikarovska Svitlana¹, senior lecturer of Department of Foreign Languages, tel. +38 067-782-5250, ponikarovska@gmail.com,

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

Выбор схемы подключения электродвигателей в электромашинном узле устройства генерации электрической энергии

Аннотация. Проведено исследование и выбор типа двигателя и схем подключения его обмоток в генераторном режиме работы электромашинного узла для устройства преобразования кинетической и механической энергии вращения в электрическую. Предложена конструкция и принцип работы устройства, преобразующего кинетическую энергию от нажатия в электрическую. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению наиболее эффективного типа электродвигателя в соответствии со значением сгенерировано мощности.

Ключевые слова: электрические двигатели, преобразования электрической энергии, альтернативный источник энергии, энергосбережение, шаговый двигатель, генерация электроэнергии.

Гнатов Андрей Викторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валиковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,

Дзюбенко Александр Андреевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Поникаровская Светлана Володимирвна¹, старший преподаватель кафедры иностранных языков, тел. +38 067-782-5250, ponikarovska@gmail.com,

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

ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ПО ЙОГО ІНДЕКСУ ЯКОСТІ

Бажинов Ан. В.¹, Бажинова Т.О.¹,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Анотація. Визначено ефективність оцінки безпеки руху автомобілів за рахунок кількісної їх оцінки на етапі експлуатації. Одержано методу визначення безпеки руху легкових автомобілів за енергетичними параметрами, які враховують експлуатаційні умови роботи.

Ключові слова: автомобіль, електромобіль, гібридний автомобіль, метод, умови експлуатації, методологія, якість.

Вступ

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

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

Складна обстановка з аварійністю багато в чому визначається постійно зростаючою мобільністю населення і, відповідно, збільшенням кількості автомобілів і приростом протяжності вулично-дорожньої мережі, що не врахованої на сучасні транспортні потоки. Наслідком такого становища є погіршення умов руху, екологічної обстановки і зростання кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Як показує аналіз, основаною причиною більшості ДТП є порушення водіями і пішоходами правил дорожнього руху.

Значна роль в ДТП належить недолікам конструкції транспортного засобу і його технічного стану. Пригоди від недоліків конструкції і технічного стану є найбільш важкими наслідками.

У цих умовах в останні десятиліття проблема забезпечення безпеки дорожнього руху набула особу актуальності.

Аналіз публікацій

Питанню безпеки руху транспортних засобів і, зокрема, автомобілів присвячено чимало публікацій. Значна їх кількість спрямована на експертну оцінку [1-4]. Аналіз цих публікацій показує, що сучасний стан розвитку ринку і оновлення структури легкових автомобілів на етапі експлуатації зумовлюють необхідність комплексного підходу до оцінки безпеки руху з метою найкращої альтернативи [5].

Існуючі методи оцінки безпеки руху легкових автомобілів не дозволяють в повній мірі комплексно і об'єктивно враховувати всю сукупність показників технічних характеристик автомобілів, що зумовлює необхідність їх вдосконалення [7, 8].

Мета і поставка завдання

Метою дослідження є підвищення ефективності безпеки руху за рахунок оцінки індексу якості автомобілів.

Для досягнення вказаної мети необхідно встановити закономірність зміни індексу якості автомобілів на кількість ДТП зі смертельними наслідками.

Індекс якості безпеки руху

Розвиток автомобільного-транспортного приносить не тільки громадські та економічні вигоди, але на жаль, призводить до зростання дорожньо-транспортних пригод зі збільшенням і смертю людей. Число дорожньо-транспортних пригод зі смертельними наслідками можна визначити за формулою [1]

$$D = 10^{-2} K^3 \sqrt{NP^2} \quad (1)$$

де D - кількість ДТП зі смертельним наслідком;

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

N - кількість автомобілів в регіоні;

P - чисельність населення в регіоні.

Дане рівняння не в повній мірі характеризує причини ДТП зі смертельним наслідком. Коефіцієнт безпеки враховує особливості дорожніх і природно-кліматичних умов, технічний стан автомобілів, кваліфікацію водіїв, соціальні умови життя населення, організацію контролю безпеки дорожнього руху, але не враховує ряд конструктивних особливостей автомобілів істотно знижують кількість ДТП. На наш погляд, таким показником може виступати інтегральний показник якості автомобілів [2].

Показник якості відображає пасивну і активну безпеку автомобіля. Цей показник дозволяє оцінювати якість безпеки різних класів автомобілів з урахуванням зовнішніх умов експлуатації.

Можна виділити п'ять основних видів факторів, що характеризують рівень безпеки руху. Це соціально-економічні, конструктивні і транспортні, кваліфікація водіїв, організація руху і навколишнього середовища. Останні чотири фактори можуть враховуватися інтегральним показником якості автомобіля, в якому встановлюється відео-камера, інтелектуальні системи освітлення та контролю швидкості руху, системи управління динамікою автомобіля і т.п.

Кількість автомобілів які входять в рівняння (1) приймаються по обліковій кількості в країні, а не які пересуваються по дорозі. В цьому випадку слід, кількість автомобілів розраховувати з енергетичних витрат. Тому кількість автомобілів, які перебувають на дорогах за добу складе

$$N = \frac{36500Q_{\text{доб}}}{H_0 L_p} \quad (2)$$

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

H_0 - норма витрати палива усереднена л/100 км;

L_p - середній річний пробіг автомобіля, км.

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

$$H_0 = 0,1 H_{0A} + 0,6 H_{0B} + 0,2 H_{0C} + 0,1 H_{0D} \quad (3)$$

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

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

Сукупність вище перерахованих параметрів визначає число ДТП (дорожньо-транспортних пригод) зі смертельним наслідком в залежності від якості автомобілів, що великою мірою визначає рівень безпеки дорожнього руху. Слід акцентувати увагу на необхідність підвищення якості автомобілів, що випускаються в країні.

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

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

В теорії автомобіля для оцінки гальмівних властивостей використовується ряд показників: максимальне уповільнення, гальмівний шлях, час спрацьовування гальмівних механізмів, падіння ефективності внаслідок тривалої роботи (нагрівання), діапазон і алгоритм зміни гальмівних зусиль [9].

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

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

Формула для розрахунку гальмівного шляху автомобіля

$$S_T = \frac{K_T}{254 \cdot \varphi_C} \cdot v_0^2, \quad (4)$$

де S_T - гальмівний шлях, м;

K_T - гальмівний коефіцієнт;
 v_0^2 - швидкість на початку гальмування, км/год;
 φ_c - коефіцієнт зчеплення з дорогою.
 В технічній характеристиці автомобіля

приводиться значення гальмівного шляху до повної зупинки при швидкості 100 км/год по сухій дорозі. В таблиці 1 наведені значення гальмівного шляху по різним маркам автомобілів [8].

Таблиця 1 – Гальмівний шлях автомобілів

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

Як видно з таблиці 1 довжина гальмівного шляху різна. Очевидно, гальмівний коефіцієнт може характеризувати якість гальмівних властивостей автомобіля при різній швидкості руху та дорожніх умовах. Виконавши перетворення формули (4) отримаємо

$$k_p = 0,025 S_T \cdot \varphi_{зч} \quad (5)$$

Таким чином, гальмівний коефіцієнт може бути прийнятий узагальнюючим показником активної безпеки автомобілів [10].

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

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

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

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

$$K_6 = \frac{1,8S_T}{n_3 \cdot S_{Tmin}}, \quad (6)$$

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

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

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

Чисельні значення критерію оцінки якості безпеки приведені на рисунку 1.

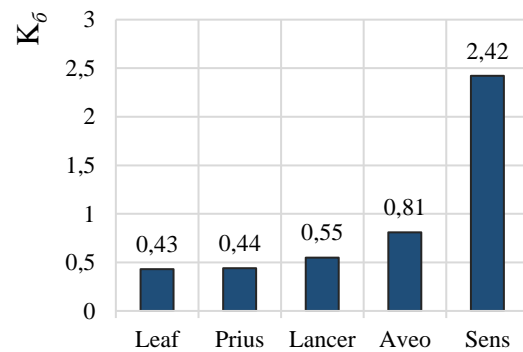


Рис. 1. Зміни критерію оцінки якості безпеки по маркам автомобілів

Показник оцінки якості безпеки автомобілів змінюється в межах $K_6 = 0,5 \dots 2,5$, то можна зменшити кількість ДТП зі смертельним наслідком на 30...50 % за рахунок поліпшення якості автомобілів.

Новим підходом в оцінці автомобілів може стати оцифрування якості. Необхідно для всіх моделей автомобілів ввести числовий індекс якості. Вважається, що якість автомобілів враховується споживчої ціною. Частково це так. Однак, в реальності справедливий баланс «ціна-якість» реалізується не завжди. Споживачеві важко узагальнити кілька різних параметрів з технічних характеристик автомобілів. Більш того, зростає небезпечна тенденція, приховування реальної якості автомобілів. Сенса числового індексу якості полягає в тому, щоб було видно наскільки даний автомобіль

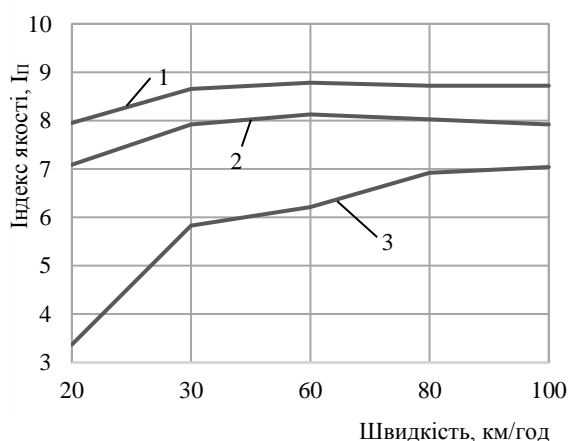
відповідає еталонному. При цьому індекс якості стає простим і наглядним, а головне, авторитетним чинником оцінки якості та формування ціни. Важливий момент – індекс якості автомобіля не тільки супроводжує цінник, а й може публікуватися в інтернеті і відкритій пресі. Таким чином, отримуємо відкриті бази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

$$I_{\text{п}} = 10 - K_{\text{ІН}} \cdot K_{\text{к}} \quad (7)$$

де $K_{\text{к}}$ - коефіцієнт коригування з урахуванням умов експлуатації.

Оскільки інтегральний показник залежить від середньої швидкості руху автомобіля, то і індекс якості також буде змінюватися від зовнішніх умов експлуатації. На рисунку 2 наведено зміна індексу якості автомобілів Nissan Leaf, Toyota Prius, Chevrolet Aveo в залежності від середньої швидкості руху.

Як видно з рис. 2 індекс якості гібридних та електромобілів змінюється незначно в межах 5...7 %, а базового автомобіля до 40 %.



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

Рис. 2. Зміна індексу якості автомобілів Nissan Leaf, Toyota Prius, Chevrolet Aveo в залежності від середньої швидкості руху

Очевидно, експлуатація базового автомо-

біля буде доцільна при першій групі умов експлуатації. З рис. 2 випливає, що найвищий індекс якості має електромобіль.

Висновки

Доказано, що при проведенні комплексної оцінки і конкурентоспроможності автомобілів необхідно враховувати сукупність показників на базових рівнях, відображаючи надійність, комфорт, екологічну безпеку, безпеку руху та технічні рішення.

Обґрунтована та розроблена методологія системного відбору показників якості, їх зіставлення і вимірювання на диференціальному рівні, формування інтегрального критерію оцінки якості та конкурентоспроможності легкових автомобілів.

Література

1. Борисенко А.О., Бажинова Т.О. Експлуатаційні властивості гібридних автомобілів: монографія. Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. – 104 с.
2. Бажинова Т.О. Оценка качества технических решений в конструкции легковых автомобилей. *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* 2012. Вып. 55. С. 49–51.
3. Vazhinova T.O., Nechytailo J.A., Vesela M.A. The energy estimation of transportation vehicles. *Научный вестник «Национального горничного университета»*. 2016. № 6(156). С. 84–88.
4. Бажинов А.В., Бажинова Т.О. Методика расчета числа дорожно-транспортных происшествий в регионе. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2014. № 4. С. 15-18.
5. Zayatrov A. Kozlovskiy A. Software complex for measuring operational reliability of electrical equipment of cars. *Scientific enquiry in the contemporary world theoretical basics and innovative approach*. FL, USA, L&L Publishing, 2012. P. 101-103.
6. Версан В.Г. Управление качеством на новом витке. *Стандарты и качество*. 2000. № 7. С. 44-48.
7. Строганов В.И. Комплексная оценка удовлетворенности потребителей качеством автомобилей. *Стандарты и качество*. 2013. № 1. С. 116-121.
8. Konstantinos S., Casper W., Rikard S. Defining Perceived Quality in the Automotive Industry An Engineering Approach. *CIRP 25th Design Conference Innovative Product Creation*. 2015. № 36. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/pii/S2212827115006034>
9. Кваліметрія, стандартизація і уніфікація тормозного управління колесних машин. Под ред. М.А. Подригало, Харьков, 2007. 446 с.
10. Говорущенко Н.Я., Волков В.П., Шаша И.К. Обеспечение безопасности на автомобильном транспорте. Харьков, ХНАДУ, 2006. 361с.

References

1. Borysenko A.O. Operational properties of hybrid cars / A.O. Borysenko, T.O. Bazhynova // Monograph X. : SP Brovin O.V., 2016. – 104 p.
2. Bazhynova T.O. Evaluation of the quality of technical solutions in the design of passenger cars / T.O. Bazhynova // Vestnik KhNAHU. – 2012 – No. 55. – p. 49–51.
3. Bazhynova T.O. The energy estimation of transport vehicles / T.O. Bazhynova, Yu.A. Nechytailo, M.A. Vesiolaya // Scientific Bulletin of the National Mining University № 6 (156), 2016, p. 84–88
4. Bazhynov O.V. Method of calculating the number of road accidents in the region / T.O. Bazhinov, O.V. Bazhynov // Bulletin of the Donetsk Academy of Motor Transport. – 2016. – № 4(44). – С. 5–8.
5. Zayatrov A. Kozlovskiy A. Software complex for measuring operational reliability of electrical equipment of cars. Scientific enquiry in the contemporary world theoretical basics and innovative approach. FL, USA, L&L Publishing, 2012. P. 101-103.
6. Versan V.H. Quality management on a new turn. Standards and Quality. 2000. № 7. P. 44-48.
7. Stroganov V.I. Comprehensive assessment of customer satisfaction with vehicle quality. Standards and quality. 2013. № 1. P. 116-121.
8. Konstantinos S., Casper W., Rikard S. Defining Perceived Quality in the Automotive Industry An Engineering Approach. CIRP 25t Design Conference Innovative Product Creation. 2015. № 36. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/pii/S2212827115006034>
9. Qualification, standardization and unification of brake control of wheeled vehicles., Kharkiv, 2007. 446 p.
10. Govorushchenko N.Ya. Volkov V.P, Shasha IK, Providing security for road transport. Kharkiv, KhNADU, 2006. 361 p.

Поступила (received) 05.06.2018 р.

Бажинов Анатолій Васильович, к.т.н., доц., кафедра організації і безпеки дорожнього руху,

Бажинова Тетяна Олексіївна, к.т.н., тел. (057) 707-37-06, tatyana2882@gmail.com,

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

Definition of safety of motor vehicle by its quality index

Abstract: It turns out that the smaller the integral criterion, the higher the quality of a car. Thus, the mathematical model of the integral criterion for assessing the quality of cars based on the average speed of traffic is made for basic cars, hybrids and electric vehicles. The paper considers new possibilities for improving the efficiency of passenger cars on the basis of the

results of research on the methods of assessing the quality indices during the exploitation phase. The methodology of the practical realization of the conducted researches is based on the evaluation of quality indicators of passenger cars at the stage of operation from the average speed according to the criteria of traffic safety, technical solutions, ecological compatibility, comfort and functional stability, as well as the main methodological principles are formulated. In the article the generalization and development of scientific fundamentals of the actual and important scientific and technical task for the development of scientific and methodical apparatus for assessing the quality of passenger cars is made, which forms the basis of the concept of the definition of interrelationships, the development of mathematical models and methods of evaluation and quality assurance during the exploitation phase. The theoretical researches of methods of estimation of car quality indicators at the stage of operation are given in the work. Performance indicators have been developed to assess the quality of vehicles. Important criteria for evaluating car quality indicators at the operational stage are functional stability, ecology, comfort, technical solutions, traffic safety. The performed researches and offered methods of estimation of indicators of quality of automobiles allow to provide the receipt of operative information about features of operation in the conditions of Ukraine on the basis of which for manufacturers of automobile engineering necessary conditions and possibilities which are aimed at perfection of design of cars, raising of an image of a brand of cars and increase of sales volume are created.

Keywords: car, electric car, hybrid car, method, operating conditions, methodology, quality.

Bazhinov An.V.¹, PhD, Associate Professor, Department of Organization and Traffic Safety, KhNADU

Bazhynova T.O.¹, PhD.,

tel: (057) 707-37-06, tatyana2882@gmail.com,

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

Определение безопасности движения автомобиля по его индексу качества

Аннотация: Определена эффективность оценки безопасности движения автомобилей за счет количественной их оценки на этапе эксплуатации. Чем меньше интегральный критерий, тем выше качество автомобиля. Таким образом, математическая модель интегрального критерия оценки качества автомобилей на основе средней скорости движения производится для основных автомобилей, гибридов и электромобилей. В статье рассматриваются новые возможности повышения эффективности использования легковых автомобилей на основе результатов исследований методов оценки показателей качества на этапе эксплуатации. Методология практической реализации проведенных исследований основана на оценке качественных показателей легковых автомобилей на этапе эксплуатации со средней скорости

в соответствии с критериями безопасности движения, технических решений, экологической совместимости, комфорта и функциональной стабильности, поскольку а также сформулированы основные методологические принципы. В работе даны теоретические исследования методов оценки показателей качества автомобиля на этапе эксплуатации. Для оценки качества транспортных средств были разработаны показатели эффективности. Важными критериями оценки показателей качества автомобиля на операционном этапе являются функциональная стабильность, экология, комфорт, технические решения, безопасность движения. Проведенные исследования и предлагаемые методы оценки показателей качества автомобилей позволяют обеспечить получение оперативной информации об особенностях

эксплуатации в условиях Украины, на основе которых для производителей автомобильной техники необходимы условия и возможности, направленные на совершенствование дизайна автомобилей, повышения имиджа марки автомобилей и увеличения объема продаж.

Ключевые слова: автомобиль, электромобиль, гибридный автомобиль, метод, условия эксплуатации, методология, качество.

Бажинов Ан. В.¹, к.т.н., доц., Кафедра организации и безопасности дорожного движения,

Бажинова Т. А.¹, к.т.н., тел: (057) 707-37-06 email: tatyana2882@gmail.com,

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

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЛИТИЙ–ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

Сараева И.Ю.¹, Стародубцов А.А.¹,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрены конструктивные особенности литий-ионных аккумуляторных батарей для автомобильного транспорта, их основные неисправности и причины возникновения, основные диагностические параметры, правила эксплуатации и рекомендации по увеличению срока службы гибридных и электро-автомобилей.

Ключевые слова: литий-ионная батарея, электроавтомобиль, гибрид, диагностика, неисправность, эксплуатация, срок службы.

Введение

На протяжении нескольких лет в связи с повышением экономичности и экологичности автомобилей были внедрены в массовое производство электроавтомобили и гибридные автомобили. В мире их стремительное количество с каждым годом всё больше растёт, и Украина - не исключение. Сегодня в больших населённых пунктах на дорогах общего пользования можно увидеть такой гибридный автомобиль как Toyota Prius, на котором ездит патрульная полиция Украины, такси-электроавтомобиль Nissan Leaf и другие. Для владельцев этих автомобилей важно разобраться с особенностями технического обслуживания электроавтомобилей. В основном на большинстве электроавтомобилей и гибридных автомобилях очень надёжная силовая установка. Например, компания Tesla Motors, которая производит электроавтомобили марки Tesla, даёт своим клиентам гарантию на автомобиль до восьми лет, что объясняется надёжной силовой установкой. Но некоторые из владельцев после приблизительно 30–60 тыс. километров пробега жалуются на уменьшение ёмкости батареи, таким образом уменьшается запас хода электрокара. Поэтому в этой статье описано какие бывают основные неисправности литиевых аккумуляторов, как можно их предотвратить, как правильно заряжать электрокар для продления срока службы батареи.

Анализ публикации

В работе дано теоретическое обоснование конструктивным особенностям литиевых аккумуляторов [1]. Приведены примеры применения современных литий–ионных аккумуляторных батарей и их характеристики на электромо-

билях Nissan Leaf и Tesla Model S [2,3]. Проведён анализ диагностики неисправностей современных аккумуляторных батарей электроавтомобилей [4]. Рассмотрены правила эксплуатации литий–ионных батарей на электроавтомобилей [5].

Цель и постановка задачи

Цель статьи – рассмотреть основные конструкции и модификации литий-ионных батарей и определить правила технической эксплуатации этих батарей на гибридных и электроавтомобилей.

Задачи: анализ конструктивных особенностей литий–ионных батарей, исследования правил и анализ диагностических параметров и правил технической эксплуатации литий–ионных батарей на автомобильном транспорте.

Конструктивные особенности литиевых аккумуляторов

Литий-ионные аккумуляторы являются самыми перспективными для использования в качестве тяговых батарей для электротранспорта. Технология производства литий-ионных аккумуляторов постоянно совершенствуется, совершенствуются характеристики, уменьшается стоимость производства аккумуляторов. И так, из чего состоит литий–ионные аккумуляторы?

Конструктивно Li-ion аккумуляторы, как и щелочные (Ni-Cd, Ni-MH), производятся в цилиндрическом и призматическом вариантах. В цилиндрических аккумуляторах свернутый в виде рулона пакет электродов и сепаратора помещен в стальной или алюминиевый корпус, с которым соединен отрицательный электрод.

Положительный полюс аккумулятора выведе-

ден через изолятор на крышку (рис. 1). Призматические аккумуляторы производятся складыванием прямоугольных пластин друг на друга. Призматические аккумуляторы обеспечивают более плотную упаковку в аккумуляторной батарее, но в них труднее, чем в цилиндрических, поддерживать сжимающие усилия на электроды. В некоторых призматических аккумуляторах применяется рулонная сборка пакета электродов, который скручивается в эллиптическую спираль (рис. 2). Это позволяет объединить достоинства двух описанных выше модификаций конструкции.



Рис. 1. Устройство литий-ионного (Li-ion) аккумулятора

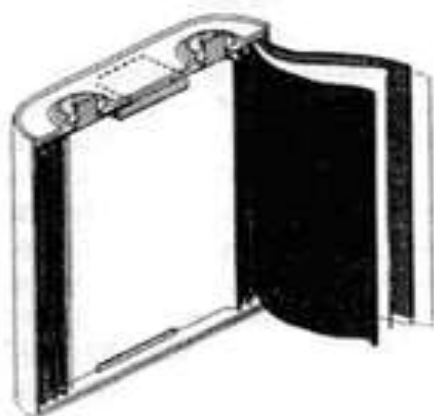


Рис. 2. Устройство призматического литий-ионного (Li-ion) аккумулятора с рулонной скруткой электродов

Некоторые конструктивные меры обычно предпринимаются и для предупреждения быстрого разогрева и обеспечения безопасности работы Li-ion аккумуляторов. Под крышкой аккумулятора имеется устройство, реагирующее на положительный температурный коэффициент увеличения сопротивления, и другое, которое разрывает электрическую связь между катодом и положительной клеммой при

повышении давления газов внутри аккумулятора выше допустимого предела.

Для повышения безопасности эксплуатации Li-ion аккумуляторов в составе батареи обязательно применяется также и внешняя электронная защита, цель которой не допустить возможность перезаряда каждого аккумулятора, короткого замыкания и чрезмерного разогрева.

Большинство Li-ion аккумуляторов изготавливают в призматических вариантах, поскольку основное назначение Li-ion аккумуляторов - обеспечение работы сотовых телефонов и ноутбуков. Как правило, конструкции призматических аккумуляторов не унифицированы и большинство фирм-производителей сотовых телефонов, ноутбуков и т.д. не допускают применение в устройствах аккумуляторов посторонних фирм.

Разноименные электроды в литиевых и литий-ионных аккумуляторах разделяются сепаратором из пористого полипропилена.

Конструкция Li-ion и других литиевых аккумуляторов, как и конструкция всех первичных источников тока ("батареек") с литиевым анодом, отличается абсолютной герметичностью. Требование абсолютной герметичности определяется как недопустимостью вытекания жидкого электролита (отрицательно действующего на аппаратуру), так и недопустимостью попадания в аккумулятор кислорода и паров воды из окружающей среды. Кислород и пары воды реагируют с материалами электродов и электролита и полностью выводят аккумулятор из строя. Технологические операции производства электродов и других деталей, а также сборку аккумуляторов проводят в особых сухих комнатах или в герметичных боксах в атмосфере чистого аргона. При сборке аккумуляторов применяют сложные современные технологии сварки, сложные конструкции гермовыводов и т.д.

Применения современных литий-ионных аккумуляторных батарей на электромобилях

При создании гибридов и электромобилей разработчики все чаще применяют литий-ионные батареи. Во-первых, это связано с их лучшим весовым качеством, отношением запасенной энергии к массе. Современные батареи, применяемые на автомобилях, способны вмещать 0,8-2,6 кВт·ч на килограмм собственного веса. Во-вторых, они допускают более глубокий заряд и разряд. Если для никель-металлгидридного аккумулятора оптимальный

диапазон зарядки составляет от 40% до 60%, то есть всего 20% общей емкости, то для литий-ионной она в 2,5 раза больше: от 25% до 75%. Срок их службы больше. Например, гарантия на литий-ионную батарею французской фирмы «SAFT» составляет 10 лет, а на никель-металлгидридную производства «Panasonic» – только 8 лет. Есть у литий-ионных батарей и существенные недостатки. Во-первых, невозможность реанимировать полностью разряженный аккумулятор. Во-вторых, для работы им нужно обеспечить узкий температурный диапазон от 25 до 45 градусов. Если их не согревать зимой, емкость упадет на треть при -10 , и на половину при -20 градусов. Летом еще опаснее: при 55–60 градусах аккумуляторы начинают разрушаться – их приходится охлаждать. Так же недостатком является высокая их себестоимость, которая может достигать до половины цены всего электромобиля [6].

Для примера рассмотрим аккумуляторную батарею такого электромобиля как Nissan Leaf (рис. 3).



Рис. 3. Электромобиль NissanLeaf

Nissan Leaf использует батарею ёмкостью порядка 24 кВт·ч, что хватает (по оценкам представителей Nissan) на 160 км пробега на одном полном заряде батареи. Стоит такой автомобиль от 20 000 до 30 000 тыс. долларов в зависимости от комплектации. Расположена батарея внизу под сиденьями автомобиля (рис. 4).

Литий-ионная батарея для электромобиля собрана из 192 ячеек (рис. 5). Её состав: манганит лития на положительном электроде и графит на отрицательном электроде. Масса батареи около 600 фунтов 270 кг. Жизненного цикла батарей, по предварительным оценкам, должно быть достаточно минимум на 5 лет, а гарантия батареи от производителя 8 лет эксплуатации [7].



Рис. 4. Разрез нижней части салона, где представлена аккумуляторная батарея Nissan Leaf



Рис. 5. Аккумуляторная батарея электромобиля Nissan Leaf

Полный цикл заряда аккумуляторов от бытовой электросети с напряжением 220 вольт и силой тока 30 ампер длится порядка 8 часов, 80 % ёмкости на специальном зарядном устройстве Nissan (480 вольт — 125 ампер) восполняются за 30 минут. Автомобиль оборудован двумя гнездами для зарядных устройств в передней части машины: одно для стандартной и другое для ускоренной подзарядки.

Элементы питания Nissan Leaf укомплектованы в блоки с напряжением около 400 В. Такое значение электрического напряжения выбрано с тем, чтобы, с одной стороны, этой величины вольтажа было достаточно, для маломощных моторов, с другой стороны, при такой компоновке расходы на преодоление сопротивления являются низкими. Литиевые батарейки имеют напряжение от 3,6 до 4 В, следовательно, если соединить последовательно 100 батареек, можно получить 400 В [8].

Для сравнения рассмотрим конструкцию аккумуляторной батареи Tesla ModelS (рис.6). Тесла Моторс является создателем поистине революционных экомобилей, которые не только выпускаются серийно, но и обладают уникальными показателями, позволяющими их использование буквально ежедневно.



Рис. 6. Электромобиль Tesla ModelS

По данным североамериканского Агентства по защите окружающей среды (EPA), Model S достаточно одного подзаряда батарей объемом 85 кВт·ч для преодоления более 400 км, что является самым значимым показателем среди подобных автомобилей, представленных на специализированном рынке. Для разгона до 100 км/час электрокару достаточно лишь 4,4 секунды [9].

Залогом успеха данной модели является наличие литий-ионных батарей, основные составляющие которых поставляются для Tesla компанией Panasonic. Аккумулятор расположен в днище, благодаря чему Tesla обладает низким центром тяжести и прекрасной управляемостью (рис. 7). Присоединяется он к кузову посредством кронштейнов.



Рис. 7. Аккумулятор Tesla ModelS в разобранном виде

Батарейный отсек формируют 16 блоков, которые параллельно соединены и ограждены от окружающей среды посредством металлических пластин, а также, пластиковой накладкой, предотвращающей попадание воды. Сборка аккумуляторов отличается высокой плотностью и точностью подгонки деталей. Весь процесс комплектации проходит в полностью стерильном помещении, с использованием роботов. Каждый блок состоит из 74 элементов, по виду крайне схожих с простыми пальчиковыми батарейками (литий-ионные ячейки Panasonic), разделенных на 6 групп (рис. 8).



Рис. 8. Литий-ионные ячейки Panasonic аккумуляторной батареи Tesla ModelS

В роли положительного электрода служит графит, а отрицательного — никель, кобальт и оксид алюминия. Указанный объем электрического напряжения в капсуле составляет 3,6 В. Самый мощный из имеющихся аккумуляторов (его объем составляет 85 кВт·ч) состоит из 7104 подобных батарей. И весит он порядка 540 кг, а его параметры равны 210 см в длину, 150 см в ширину и 15 см в толщину. Количество энергии, вырабатываемой всего одним блоком из 16, равно количеству, производимому сотней аккумуляторов от портативных компьютеров. Компания предоставляет гарантийной обслуживанием своей продукции на срок до 8 лет.

У метода, который применила компания Tesla с цилиндрическими батарейками есть свои преимущества. Электромобиль параллельно использует несколько блоков батарей, то есть, если один из элементов выйдет из строя, весь аккумулятор будет продолжать работать. Для сравнения в Nissan Leaf, ячейки подключены последовательно, подобно новогодней гирлянде, то есть, если одно звено выйдет из строя, то перестанет работать вся батарея. Слабой стороной всех этих методов является то, что трудно обнаружить неработающий элемент. В Nissan Leaf блоки размещены во всем доступном пространстве под сиденьями и полом, однако имеют недостаточное охлаждение. Аккумулятор Tesla ModelS сохраняет большое количество внутреннего пространства автомобиля, а размещение батареи снизу, делает ее потенциально уязвимой перед возможными ударами, но при этом он хорошо охлаждается.

Автопроизводители ещё окончательно не определились с выбором между цилиндрическими и пакетными элементами, однако некоторые эксперты утверждают, что пакетные батареи все же дешевле. Таким образом, можно сделать вывод, что пока нет единого мнения о том, каким должен быть «лучший» аккумулятор. С другой стороны, поскольку различные

подходы и технологические решения конкурируют между собой, можно надеяться на довольно быстрый прогресс в технологиях аккумуляции энергии.

Диагностика и правила эксплуатации современных литиево-ионных аккумуляторных батарей электромобилей

В предыдущей главе описывались основные недостатки литий-ионных аккумуляторов, главный из них это перегрев батареи и возможная её взрывоопасность. То есть получается, что на электромобилях в основном батарея находится под сиденьями, как у Nissan Leaf или же под днищем автомобиля, как на электромобиле Tesla ModelS. Можно сказать, что пассажиры и водитель сидят на взрывоопасном веществе, которое может в случае перегрева взорваться. Но это всё не так, потому что Li-ion аккумуляторные батареи имеют наиболее совершенную защиту среди всех типов батарей. Как правило в схеме защиты Li-ion батарей используется ключ на полевом транзисторе, который при достижении на элементе батареи напряжения 4,30 В открывается и тем самым прерывает процесс заряда. Кроме того, имеющийся термopредохранитель при нагреве батареи до 90 °С отсоединяет цепь ее нагрузки, обеспечивая таким образом ее термальную защиту. Некоторые аккумуляторы имеют выключатель, который срабатывает при достижении порогового уровня давления внутри корпуса, равного 1034 кПа (10,5 кг/м²), и разрывает цепь нагрузки. Есть и схема защиты от глубокого разряда, которая следит за напряжением аккумуляторной батареи и разрывает цепь нагрузки, если напряжение снизится до уровня 2,5 В на элемент. После проведенных исследований режимов эксплуатации на пожаро- и взрывобезопасность, было установлено, что современные конструкции литиевых элементов практически безопасны при их правильной эксплуатации. Ведь не зря, автомобиль Nissan Leaf и автомобили Tesla получили по «Европейской программе оценки новых автомобилей (EuroNCAR)» и «Национальным управлением безопасностью движения на трассах (NHTSA)» самые высокие оценки по безопасности электромобилей [10].

Если литиевый аккумулятор работает, но его параметры ухудшились, - первичная диагностика проводится без вскрытия корпуса батареи. Для этого аккумулятор полностью заряжают штатным зарядным устройством и подключают

к специальному стенду для проверки аккумуляторов. На стенде устанавливают требуемое напряжение и ток разряда. В процессе испытаний, также замеряется температура корпуса батареи. По результатам теста, мы видим реальную ёмкость аккумуляторной батареи, порог отключения при снижении напряжения, правильность работы BMS и максимальную величину вырабатываемого тока. Если мастер считает, что требуется разборка батареи, то он её выполняет. Далее проводится внешний осмотр всех элементов и снимаются их характеристики. По итогам диагностики, специалист сообщает клиенту о найденных неисправностях, возможностях их устранения и стоимости ремонта, а клиент уже принимает решение о целесообразности ремонта.

Данный тип аккумулятора оснащен полноценной системой управления, которая встроена непосредственно в корпус аккумулятора, поэтому зачастую пользователи забывают об элементарных нормах эксплуатации. Для того, чтобы литий-ионные АКБ служили как можно дольше, необходимо придерживаться ниже описанных правил.

1. Перед эксплуатацией нового литий-ионного аккумулятора, его нужно полностью зарядить. Одна из самых распространенных ошибок владельцев электромобилей – незамедлительное использование АКБ сразу после покупки. Электроды батареи действительно заряжаются в процессе производства примерно на 50%, но отсутствие первоначальной подзарядки уменьшит доступную полную ёмкость аккумулятора и сократит время его работы.

2. После разрядки литий-ионный аккумулятор необходимо сразу же зарядить. На практике встречаются случаи внезапной поломки АКБ. При выяснении причин оказывается, что выход из строя был вовсе не таким уж случайным, ведь хозяин постоянно доводил батарею до полного разряда и тем самым уменьшил его ресурс. Между прочим, совет об эксплуатации аккумуляторов до полного разряда цикла, дают некоторые продавцы батарей. Они это могут делать как по незнанию, так и преследуя свою выгоду – ведь испортив свой аккумулятор, вы придете покупать новый. Из этого правила вытекает следующее.

3. Не допускайте полного разряда АКБ. Не стоит ждать полного расхода энергии - аккумулятор электромобиля следует заряжать после каждой поездки, даже на короткие расстояния.

4. Избегайте нагревания литий-ионных аккумуляторов. Действие высоких температур оказывает крайне негативное влияние на батарею, ускоряя процесс ее «старения». Оптимальная температура для максимального ресурса и максимальной отдачи тока аккумулятором, не должна превышать 20 – 25 градусов Цельсия. Так, повышение температуры эксплуатации на 10 градусов, уменьшает ресурс аккумулятора в несколько раз. В связи с этим не рекомендуется хранить аккумулятор возле источников тепла или под прямыми солнечными лучами.

5. Низкие температуры, полуразряженное состояние даёт длительный срок службы. Если вы хотите продлить время эксплуатации своей АКБ и сэкономить на покупке новой, то хранить литий-ионную батарею (например, в зимний период), лучше при низких температурах, примерно 3-4°C. То есть, электромобиль лучше хранить зимой в гараже при температуре 3-4°C.

6. Не заряжайте переохлажденную батарею. Если в силу каких-либо обстоятельств ваш аккумулятор попал под длительное воздействие низких температур, например, вы катались на электромобиле в морозный день, то не следует его заряжать до тех пор, пока он не прогреется как минимум до плюсовой отметки градусника (по Цельсию), а ещё лучше до комнатной температуры. В противном случае, резкие перепады температур, – станут фатальными для АКБ.

7. Используйте только зарядные устройства фирменной комплектации. Многие пользователи недооценивают роль зарядного устройства, которым возвращают АКБ к «жизни». Зачастую они действуют по принципу – «подшло по напряжению - и ладно». Это в корне неверная позиция, поскольку «неродные» зарядные устройства могут иметь отличные от рекомендованных производителем параметры, что отрицательно скажется на сроке эксплуатации АКБ.

8. Не оставляйте батарею со 100% зарядом без нагрузки. У большинства электромобилей есть опция «Стандартной» и «Максимальной» зарядки. Желательно заряжать батарею полностью непосредственно перед поездкой. Большинство электромобилей предоставляют удобные таймеры для этого. Если оставить аккумулятор со 100% зарядкой на длительное время – это может плохо сказаться на его состоянии. Нужно, чтобы батарея не находилась в состоянии полного заряда больше чем в течении 8 часов.

Выводы

Проведён анализ использования литиевых аккумуляторных батарей для автомобиля. Эксплуатационные преимущества имеет батарея литий-ионного типа, ее оптимальный диапазон зарядки составляет 25-70%, что в 2,5 раза больше батареи никель-металлгидридного типа с диапазоном оптимальной зарядки 40-60%. Соответственно расширение оптимального диапазона зарядки литий-ионных батарей повышает продолжительность их гарантийного срока до 8-10 лет. Недостатки литий-ионных батарей: невозможность реанимировать полностью разряженный аккумулятор; узкий температурный диапазон оптимальной работы 25-45 °C; высокая себестоимость батареи – до половины цены электромобиля.

Рассмотрены конструктивные особенности литий-ионных батарей и их разновидности. В настоящее время получили практическое развитие два основных типа батарей – с цилиндрическими и пакетными элементами, которые применяют на электромобилях соответственно две ведущие компании Tesla и Nissan. С позиции эксплуатационных свойств электроавтомобиля батареи Panasonic, производимые для автомобилей Tesla, обладают рядом преимуществ: по надежности (имеют не последовательное, а параллельное соединение блоков); в наибольшей мощности – 85 кВт/ч; по обеспечению дальности пробега без подзарядки – 400 км; по динамике разгона до 100 км/час за 4,4 секунды. Недостаток – большая масса, себестоимость и уязвимость для механических повреждений снизу автомобиля.

Рассмотрены диагностические параметры и правила эксплуатации современных литиево-ионных аккумуляторных батарей электромобилей. Предельные технические (диагностические) параметры, которые определяют правила эксплуатации литиево-ионных батарей на электромобилях – это максимальное напряжение на элементе батареи 4,30 В, максимальная температура нагрева элемента батареи до 90 °C, пороговый уровень давления внутри корпуса 1034 кПа (10,5 кг/м²), минимальное напряжение на элементе батареи 2,5 В. Для эксплуатации электромобиля в диапазоне допустимых технических параметров работы литиево-ионной батареи необходимо соблюдение целого ряда современных правил технической эксплуатации.

Литература

1. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php>
2. Обзор батареи Nissan Leaf [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://ecotechnica.com.ua/stati/966-ustrojstvo-batarej-nissan-leaf-tesla-model-s-i-chevy-bolt-chej-akkumulyator-luchshe.html>
3. Аккумуляторная батарея электрокара Tesla Model S [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://autotesla.ru/auto-tesla/akkumulyatory-tesla/akkumulyator-tesla-model-s-chto-vnutri-razbiraem.html>
4. Анализ неисправностей современных аккумуляторных батарей электромобилей / И. Широкун // «Автоцентр» – 2016 – №2.
5. Правила эксплуатации литий-ионных батарей на электромобилях [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://rutesla.com/560/5-sovetov-kak-prodlit-vremya-zhizni-batarey-elektroavtomobiley/>
6. Применение литиевых батарей в гибридах и электромобилях [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://autoeco.info/libatt.php>
7. Электромобиль Nissan Leaf [электронный ресурс]: Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Nissan_LEAF
8. Обзор батареи Nissan Leaf [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://ecotechnica.com.ua/stati/966-ustrojstvo-batarej-nissan-leaf-tesla-model-s-i-chevy-bolt-chej-akkumulyator-luchshe.html>
9. Обзор электромобиля Tesla Model S / С. Знаемский // «Авторевю» – 2015 – №12
10. Электромобиль Tesla Model S [электронный ресурс]: Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/TeslaModelS>.

References

1. Lityi-ionnyye akkumulyatory. [Lithium-ion batteries]. Retrived from: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php> (accessed: 2.08.2018) [in Russian]
2. Obzor batarei Nissan Leaf. [Battery review Nissan Leaf]. Retrived from: <http://ecotechnica.com.ua/stati/966-ustrojstvo-batarej-nissan-leaf-tesla-model-s-i-chevy-bolt-chej-akkumulyator-luchshe.html> (accessed: 2.08.2018) [in Russian]
3. Akkumulyatornaya batareya elektrokara Tesla Model S. [Battery Electric Tesla Model S]. Retrived from: <http://autotesla.ru/auto-tesla/akkumulyatory-tesla/akkumulyator-tesla-model-s-chto-vnutri-razbiraem.html> (accessed: 20.08.2018) [in Russian]
4. Shirokun I. (2016) Analiz neispravnostey sovremennyih akkumulyatornyih batarey elektromobiley [Fault analysis of modern electric vehicle batteries] «Avtostran», 2 [in Russian].
5. Pravila ekspluatatsii lityi-ionnykh batarey na elektromobilyakh. [Rules for the operation of lithium-ion batteries in electric vehicles]. Retrived from: <http://rutesla.com/560/5-sovetov-kak-prodlit-vremya-zhizni-batarey-elektroavtomobiley/>

6. Primeneniye lityevykh batarey v gibridakh i elektromobilyakh. [The use of lithium batteries in hybrids and electric vehicles]. Retrived from: <http://autoeco.info/libatt.php> (accessed: 20.08.2018) [in Russian]
7. Elektromobil' Nissan Leaf. [Electric Nissan Leaf]. Retrived from: https://ru.wikipedia.org/wiki/Nissan_LEAF (accessed: 20.08.2018) [in Russian]
8. Знаемский С. Обзор электромобиля Tesla Model S. «Авторевю». – 2015. – №12
9. Elektromobil' Tesla Model S. [Electric vehicle Tesla Model S]. Retrived from: <https://en.wikipedia.org/wiki/TeslaModelS> (accessed: 20.08.2018) [in Russian].
10. Hnatov A. V., Arhun Shch. V., Ulianets O. A. (2017). Elektromobili – maibutnie, yake vzhe nastalo [Electric cars - the future that has already come]. *Avtomobyl y elektronika. Sovremennye tekhnolohyy: elektronnoe nauchnoe spetsyalyzovannoe yzdanye. Kharkiv: KhNADU*, 11, 24–28 [in Ukrainian].
11. Hnatov A. V., Arhun Shch. V. (2017). Retrospektyva osnovnykh etapiv rozvytku elektromobiliv. Chastyna 2 [Retrospective of the main stages of the development of electric vehicles. Part 2] *Kharkiv: Visnyk KhNADU*, 78, 116–124 [in Ukrainian].
12. Hnatov A. V., Arhun Shch. V. (2017). Retrospektyva osnovnykh etapiv rozvytku elektromobiliv. Chastyna 1 [Retrospective of the main stages of the development of electric vehicles. Part 1] *Kharkiv: Visnyk KhNADU*, 77, 68–74 [in Ukrainian].
13. Sub'ektivnyy vzglyad na dostupnyy sovremenny elektromobil'. [Subjective view of the affordable modern electric car]. Retrived from: <http://dig.by/book/export/html/129> (accessed: 20.08.2018) [in Russian].

Сараева Ирина Юрьевна¹, к.т.н., доц. каф. технической эксплуатации и сервиса автомобилей, тел. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Стародубцов Андрей Анатольевич¹, магистр, 0950926486, andrutar16@gmail.com.

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

Application of modern lithium – ionic battery packages on electric cars.

Annotation. Problem. In connection with the increase in efficiency and environmental safety of cars, electric vehicles and hybrid cars were introduced into mass production. In the world, their number is growing every year. In Ukraine, the hybrid car Toyota Prius is used by the patrol police of Ukraine, and Nissan Leaf electric cars are widely introduced into the taxi network. For the owners of these cars, it is important to understand the features of their technical service, diagnosis and maintenance. **Purpose.** The aim of the work is to study the basic

structures and modifications of lithium-ion batteries and to determine the rules for the technical operation of these batteries on hybrid and electric cars. **Methodology.** The design features of lithium-ion batteries and their varieties, which have received practical development on the example of two main types of batteries - with cylindrical and packet cells, which are used on electric vehicles from leading companies Tesla and Nissan, are analyzed. **Results.** The limiting technical (diagnostic) parameters that determine the operating rules for lithium-ion batteries on electric vehicles are highlighted: this is the maximum voltage on the battery element 4.30 V, the maximum heating temperature of the battery cell to 90 °C, the threshold pressure level inside Cases 1034 kPa (10.5 kg / m²), the minimum voltage on the battery cell is 2.5 V. **Originality.** Through an analysis of the design features and diagnostic parameters of Li-Ion batteries, the rules of technical operation and recommendations for increasing the service life of these batteries on hybrid and electric cars in Ukraine are considered. **Practical value.** The results of the research allow us to make certain recommendations for increasing the service life of lithium-ion batteries on hybrid and electric cars when used in Ukraine.

Keywords: lithium-ion battery, electric vehicle, hybrid, diagnostics, malfunction, operation, service life.

Saraieva Irina¹, Ph.D., Assoc. Prof., +38 050-64-00-787, sarayeva9@gmail.com,

Starodubtsov Andrii¹, master, 0950926486, andrustar16@gmail.com,

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

Застосування сучасних літій-іонних акумуляторів на електромобілях.

Аномація. Проблема. У зв'язку з підвищенням ефективності та екологічної безпеки автомобілів в масове виробництво були введені електромобілі і гібридні автомобілі. У світі їх число зростає з кожним роком. В Україні гібридний автомобіль Toyota Prius використовується патрульною поліцією, а електро-

мобілі Nissan Leaf широко впроваджуються в мережу таксі. Для власників цих автомобілів важливо розуміти особливості їх технічного обслуговування, діагностики та експлуатації. **Мета.** Метою роботи є вивчення основних конструкцій і модифікацій літій-іонних батарей і визначення правил технічної експлуатації цих батарей на гібридних і електро-автомобілях. **Методологія.** Проаналізовано конструктивні особливості літій-іонних батарей і їх різновидів, які отримали практичний розвиток на прикладі двох основних типів батарей - з циліндричними і пакетними осередками, які використовуються на електромобілях від провідних компаній Tesla і Nissan. **Результати.** Відзначені граничні технічні (діагностичні) параметри, що визначають правила експлуатації літій-іонних батарей на електромобілях: це максимальна напруга на елементі акумулятора 4,30 В, максимальна температура нагріву акумуляторної батареї до 90 °С, поріг рівень тиску всередині корпусу 1034 кПа (10,5 кг / м²), мінімальна напруга на акумуляторної батареї становить 2,5 В. **Оригінальність.** За допомогою аналізу конструктивних особливостей і діагностичних параметрів літій-іонних батарей розглядаються правила технічної експлуатації та рекомендації щодо збільшення терміну служби цих батарей на гібридних і електричних автомобілях в Україні. **Практична цінність.** Результати дослідження дозволяють зробити деякі рекомендації по збільшенню терміну служби літій-іонних батарей на гібридних і електро-автомобілях при експлуатації в Україні.

Ключові слова: літій-іонний акумулятор, електромобіль, гібрид, діагностика, несправність, експлуатація, термін служби.

Сараєва Ірина Юріївна¹, к.т.н., доц. каф. технічної експлуатації і сервісу автомобілів, тел. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com?

Стародубцев Андрій Анатолійович¹, магістр, 0950926486, andrustar16@gmail.com,

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

УПРАВЛЕНИЕ ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Манойло В. М.¹

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Аннотация. Получены соотношения и рассмотрены ограничения, позволяющие оценить значения основных параметров цифрового регулятора, обеспечивающего стабилизацию заданной частоты вращения коленчатого вала газового ДВС.

Ключевые слова: дроссельная заслонка, система управления, структурная схема, передаточная функция, разностные уравнения.

Введение

Управление изменением частоты вращения коленчатого вала ДВС с микропроцессорной подачей газа осуществляется с помощью электроуправляемой поворотной заслонки. С изменением расположения (поворотом) относительно корпуса, в котором находится заслонка, изменяется проходное сечение, а соответственно изменяется и секундный расход воздуха, поступающий в цилиндры ДВС. От согласованной работы системы питания и поворотной заслонки узла системы воздухообеспечения зависят стабильно высокие технико-экономические и экологические показатели рабочего процесса газового ДВС. Поэтому в данной работе основное внимание будет уделено модели упрощенной структурной схемы системы управления частотой вращения вала газового ДВС.

Анализ последних исследований и публикаций

Системы управления динамическими объектами с цифровыми регуляторами представляют собой достаточно сложный для описания класс систем [1, 2]. Непрерывная часть системы (объект управления) описывается дифференциальными уравнениями, тогда как микропроцессоры, реализующие алгоритмы управления, представлены разностными уравнениями.

На практике получили распространение модели, которые описывают поведение системы лишь в дискретные моменты времени. В этом случае удается ограничиться лишь разностными уравнениями, что радикально упрощает описание рассматриваемых систем и решение задачи синтеза регуляторов.

Цель расчетно-экспериментального исследования

Определение коэффициентов цифрового регулятора системы управления дроссельной заслонкой газового ДВС.

Описание модели управления дроссельной заслонкой

Альтернативный подход предполагает использование исходного описания системы в виде дифференциальных уравнений и синтез непрерывных регуляторов. Уже после синтеза непрерывных регуляторов преобразуются к дискретному виду для реализации в виде микропроцессорных программ.

Структура регулятора

Упрощенная структурная схема системы управления (СУ) частотой вращения коленчатого вала представлена на рис. 1.

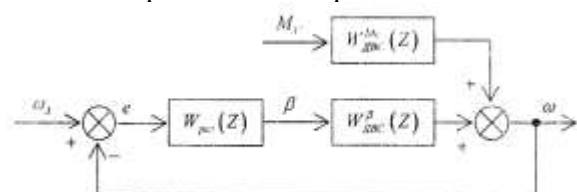


Рис. 1. Упрощенная структурная схема СУ газового ДВС

Дискретная передаточная функция объекта управления относительно задающего воздействия при наличии постоянного запаздывания d с экстраполятором нулевого порядка на входе представлена соотношением

$$W_{ДВС}^{\beta} = \frac{\omega(Z)}{\beta(Z)} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_n \cdot z^{-m}}{a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + \dots + a_m \cdot z^{-m}} \cdot z^{-d}.$$

Дискретная передаточная функция объекта управления относительно задающего воздействия имеет следующий вид

$$W_{ДВС}^{M_c} = \frac{\omega(Z)}{M_c(Z)} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_n \cdot z^{-m}}{a_{01} + a_{11} \cdot z^{-1} + \dots + a_{m1} \cdot z^{-m}}.$$

В качестве параметрически – оптимизируемого регулятора будем использовать линейный регулятор второго порядка

$$W_{рег}(Z) = \frac{\beta(Z)}{e(Z)} = \frac{q_0 + q_1 \cdot z^{-1} + \dots + q_2 \cdot z^{-2}}{1 - z^{-1}}.$$

Разностное уравнение, описывающее данный регулятор, имеет вид:

$$\beta(k) = \beta(k-1) + q_0 \cdot e(k) + q_1 \cdot e(k-1) + q_2 \cdot e(k-2).$$

Для получения хорошего качества процессов управления параметры q_0, q_1, q_2 должны выбираться с учетом характеристик объекта управления. Однако на данном этапе разработки газового ДВС идентификация его математической модели представляется нецелесообразной в силу неопределенности многих конструктивных решений.

Будем считать, что проектируемая система управления характеризуется относительно малым уровнем шумов и величиной запаздывания в объекте управления. В таких условиях рекомендуется использование ПИД-регуляторов.

Возникает необходимость определения допустимых значений коэффициентов регулятора, величина которых в дальнейшем будет уточняться в процессе испытаний газового ДВС.

Ограничения на величины параметров регулятора

Рассмотрим единичное ступенчатое изменение сигнала ошибки

$$e(k) = \begin{cases} 1, & k \geq 0 \\ 0, & k < 0 \end{cases}.$$

В этом случае, согласно разностному уравнению регулятора, его выходной сигнал

$$\begin{aligned} \beta(0) &= q_0; \\ \beta(1) &= \beta(0) + q_0 + q_1 = 2 \cdot q_0 + q_1; \\ \beta(2) &= \beta(1) + q_0 + q_1 + q_2 = 3 \cdot q_0 + 2 \cdot q_1 + q_2; \\ &\dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta(k) &= \beta(k-1) + q_0 + q_1 + q_2 = (k-1) \cdot q_0 + \\ &+ k \cdot q_1 + (k-1)q_2. \end{aligned}$$

Для того, чтобы рассматриваемый регулятор обладал свойствами непрерывного ПИД-регулятора наложим ограничения на его коэффициенты:

$$\begin{aligned} q_0 &> 0; \\ q_1 &< -q_0; \\ q_2 &> -(q_0 + q_1); \\ q_2 &< q_0. \end{aligned}$$

Первые три ограничения обеспечивают выполнение условий $\beta(0) > \beta(1)$ и $\beta(k) > \beta(k-1)$, $k \geq 2$. Последнее ограничение обеспечивает положительный коэффициент передачи регулятора. Допустимые области расположения коэффициентов на числовой оси иллюстрирует рис.2.

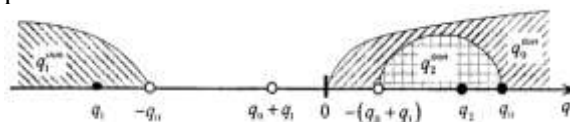


Рис. 2. Допустимые области расположения коэффициентов на числовой оси

Введем следующие коэффициенты, характеризующие свойства регулятора:

$$K = q_0 - q_1 \text{ – коэффициент передачи;}$$

$$C_D = \frac{q_1}{K} \text{ – коэффициент опережения;}$$

$$C_1 = \frac{q_0 + q_1 + q_2}{K} \text{ – коэффициент инте-}$$

грирования.

При малых значениях период дискретизации T_D данные коэффициенты связаны с соответствующими коэффициентами непрерывных ПИД-алгоритмов управления:

$$K = K^H; \quad C_D \approx \frac{T_D^H}{T_D}; \quad C_1 \approx \frac{T_D}{T_1^H}.$$

Реакция регулятора на единичное входное воздействие приведена на рис.3.

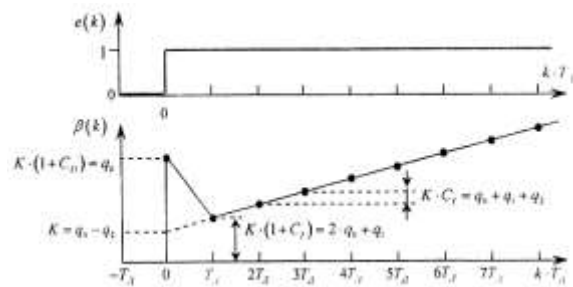


Рис. 3. Реакция регулятора на единичное входное воздействие

На рис 4 приведено приращение $\Delta\beta(k) = \beta(k) - \beta(k-1)$ реакций ПИД-регулятора, П-регулятора ($K \neq 0, C_D = C_1 = 0; q_0 = -q_1 \neq 0, q_2 = 0$), Д-регулятора ($C_D \neq 0, K = C_1 = 0; q_0 = -q_2 \neq 0, q_1 = -2 \cdot q_2$), а также И-регулятора ($C_1 \neq 0, K = C_D = 0; q_0 = q_2 = 0, q_1 \neq 0$), на воздействие в виде единичного импульса ограниченной длительности.

Коэффициенты регулятора

Используя передаточные функции объекта в составе замкнутой системы управления связь между задающей и управляющей переменными можно представить следующим образом:

$$\frac{\beta(Z)}{\omega_1(Z)_1} = \frac{W_{pez}(Z)}{1 + W_{pez}(Z) \cdot W_{ДВС}^\beta(Z)}$$

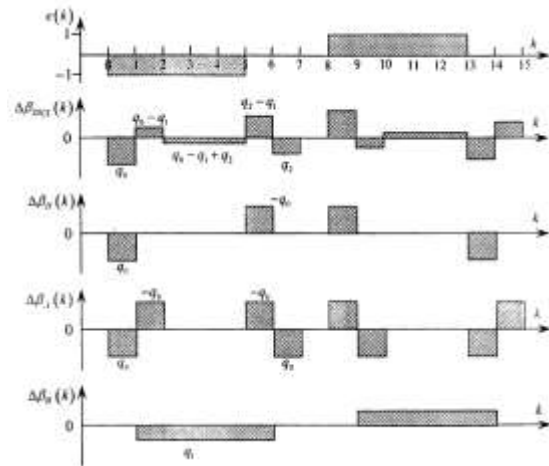


Рис. 4. Приращения реакций регуляторов

Используя передаточные функции объекта управления и регулятора можно записать разностное уравнение, разрешенное относительно управляющей переменной:

$$\begin{aligned} \beta(k) &= (1 - a_1) \cdot \beta(k-1) + a_1 \cdot \beta(k-2) - \dots \\ &\dots - a_m \cdot \beta(k-m-1) - q_0 \cdot b_0 \cdot \beta(k-d) - \dots \\ &\dots - q_0 \cdot b_1 \cdot \beta(k-d-1) - q_0 \cdot b_m \cdot \beta(k-d-m) - \dots \\ &\dots - q_1 \cdot b_0 \cdot \beta(k-d-1) - q_1 \cdot b_1 \cdot \beta(k-d-2) - \dots \\ &\dots - q_1 \cdot b_m \cdot \beta(k-d-m-1) - q_2 \cdot b_0 \cdot \beta(k-d-2) - \dots \\ &\dots - q_2 \cdot b_1 \cdot \beta(k-d-3) - q_2 \cdot b_m \cdot \beta(k-d-m-2) + \dots \\ &\dots + q_0 \cdot \omega(k) + q_0 \cdot a_1 \cdot \omega(k-1) + q_0 \cdot a_m \cdot \omega(k-m) + \dots \\ &\dots + q_1 \cdot \omega(k-1) + q_1 a_1 \omega(k-2) + q_1 \cdot a_m \cdot \omega(k-m-1) + \dots \\ &\dots + q_2 \cdot \omega(k-2) + q_2 \cdot a_1 \cdot \omega(k-3) + q_2 \cdot a_m \cdot \omega(k-n-2). \end{aligned}$$

Из последнего уравнения следует, что при подаче на вход системы ступенчатого задающего воздействия $\omega_3(k) = w \cdot 1(k)$ при нулевых начальных условиях первые значения управляющей переменной определяются следующими выражениями:

– при отсутствии запаздывания ($d = 0$)

$$\begin{aligned} \beta(0) &= \frac{q_0}{1 + q_0 \cdot b_0} \cdot w; \\ \beta(1) &= \left[\frac{q_0 \cdot (1 - a_1 - q_0 \cdot b_1 - q_1 \cdot b_2)}{(1 + q_0 \cdot b_0)^2} + \dots \right. \\ &\left. \dots + \frac{q_0 + q_0 \cdot a_1 + q_1}{1 + q_0 \cdot b_0} \right] \cdot w; \end{aligned}$$

– при наличии запаздывания $d = 1$

$$\begin{aligned} \beta(0) &= q_0 \cdot w; \\ \beta(1) &= \left[2 - q_0 \cdot b_0 + \frac{q_1}{q_0} \right] \cdot q_0 \cdot w; \end{aligned}$$

– при наличии запаздывания $d > 1$

$$\begin{aligned} \beta(1) &= [2 \cdot q_0 + q_1] \cdot w. \\ \Delta\beta(k) &= \beta(k) - \beta(k-1). \end{aligned}$$

Как видно из данных выражений, при ступенчатом изменении входного сигнала величина управляющего воздействия в начальный момент времени $\beta(0)$ не зависит от параметров объекта управления при наличии задержки, превышающей период квантования, либо при $b_0 = 0$ и определяется только значением параметра регулятора.

В рассматриваемой системе для управления частотой вращения коленчатого вала предполагается использовать изменение углового положения дроссельной заслонки при помощи шаго-

вого двигателя. При этом приращение управляющего воздействия на каждом шаге дискретизации

$$\Delta\beta(k) = \beta(k) - \beta(k-1)$$

может задаваться в диапазоне $0 \div 255$ шагов, где каждый шаг соответствует изменению углового положения дроссельной заслонки на $0,225^\circ$.

Задавшись максимальным приращением задающего воздействия $\Delta\omega_3^{\max}$ которое должно вызывать максимально возможное перемещение дроссельной заслонки за один период дискретизации, учитывая, что $\beta(-1) = 0$, можно определить значение параметра регулятора q_0 :

$$q_0 = \frac{\Delta\beta^{\max}}{\Delta\omega_3^{\max}}.$$

Существуют рекомендации (Зиглера и Никольса), согласно которым для обеспечения удовлетворительного качества регулирования при выборе коэффициентов ПИД-регулятора следует придерживаться следующих соотношений:

$$C_D \approx \frac{T_D^H}{T_D} \approx 1,25; \quad C_1 \approx \frac{T_D}{T_1^H} \approx 0,2.$$

В этом случае можно записать:

$$q_2 = \frac{C_D}{C_D + 1} \cdot q_0;$$

$$q_1 = (C_1 - 1) \cdot q_0 - (C_1 + 1) \cdot q_2.$$

Приведенные соотношения позволяют выбрать начальные значения параметров регулятора q_0, q_1, q_2 , которые в дальнейшем могут быть уточнены экспериментально с учетом рассмотренных выше ограничений.

Представление коэффициентов

При программной реализации регулятора на базе микропроцессоров общего применения его коэффициенты удобно представлять в виде

$$q = \frac{A}{2^n},$$

где $A = m$ – разрядное целое без знаковое число, $A = 0 \dots (2^m - 1)$;

n – разрядное целое без знаковое двоичное число.

Знак каждого коэффициента хранится в отдельном флаге и учитывается при выполнении арифметических операций.

Такое представление коэффициентов при реализации алгоритма управления позволяет ограничиться выполнением только операций сложения, умножения целых чисел и сдвига.

При рассматриваемом способе представления коэффициентов величина шага их квантования зависит не только, от количества двоичных разрядов m , но и от величины соответствующего коэффициента.

В диапазоне $q = 0 \dots 1$ точность задания коэффициентов зависит от величины n и, как правило, избыточна. Шаг квантования при этом

$$\Delta q_0 = \frac{1}{2^n}.$$

При $q > 1$ можно выделить m поддиапазонов величин коэффициентов, имеющих различные значения шага квантования.

$$q_{\min.k} = \frac{2^m}{2^k}.$$

Конец k -го поддиапазона

$$q_{\max.k} = \frac{2^m - 1}{2^{(k-1)}}.$$

Шаг квантования для k -го поддиапазона

$$\Delta q_k = \frac{1}{2^{|k-1|}},$$

где $k = 1 \dots m$.

Рассмотренные соотношения позволяют обеспечить необходимую точность представления коэффициентов.

Период дискретизации

При выборе периода дискретизации T_D системы управления необходимо учитывать следующие факторы:

- требуемое качество управления;
- динамические свойства объекта управления;
- динамические свойства исполнительного устройства и его привода;
- динамические свойства датчиков;
- спектральный состав возмущающих воздействий;

– вычислительные затраты и стоимость контура управления;
– эргономические требования при наличии оператора.

Часть требований, которые необходимо учитывать при выборе периода дискретизации оказываются противоречивыми. В результате, в каждом конкретном случае, приходится принимать компромиссное решение.

Некоторые эмпирические правила для определения периода дискретизации систематизированы в [1].

В общем случае, чем меньше период дискретизации, тем лучшее качество управления можно обеспечить. Однако, при очень малых значениях периода дискретизации, дальнейшее улучшение качества достигается лишь при существенном возрастании затрат на управление.

Часто величина периода дискретизации, обеспечивающая заданное качество управления, оказывается больше той, которая обеспечивает близкую аппроксимацию непрерывного контура управления.

Для обеспечения хорошего качества управления низкочастотными объектами достаточно иметь 6÷15 выборок за период, определяемый временем T_{ω}^{95}

$$T_{\Delta} = (0,067 + 0,167) \cdot T_{\omega}^{95},$$

где T_{ω}^{95} – время достижения регулируемой координатой величины, равной 95% ее установившегося значения при ступенчатом изменении задающего сигнала. Для объектов управления первого порядка $T^{95} = \tau + 3 \cdot T$, где – запаздывание в объекте; T – постоянная времени.

Выводы

Полученные соотношения позволяют осуществить предварительную оценку значений коэффициентов цифрового регулятора, необходимого количества двоичных разрядов для их представления, а также выбрать требуемый период дискретизации сигналов микропроцессорной системы управления газового ДВС. В дальнейшем значения этих параметров могут быть уточнены в процессе экспериментальных исследований с учетом рассмотренных ограничений.

Литература

1. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер.с англ / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с.

2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 616 с.
3. Манойло В.М. Конструктивные особенности дроссельных узлов систем воздухообеспечения автотракторных ДВС /Манойло В.М., Липинский М.С., Дзюбенко А.А.// Электронный журнал «Автомобільна електроніка. Сучасні технології». – Х.: ХНАДУ.– 2017.– Вип. 11. – С. 38 - 45.
4. Пат. на кор. модель 110618 Україна, F01L/00, F02M23/00.00. Дросельний вузол системи повітропостачання ДВЗ /Ф.І. Абрамчук, В.М. Манойло, О.А. Дзюбенко, М.С. Липинський.- заявка № а2013 00833 від 24.01.2013; опубл. 25.10.2016. Бюл. № 20.

References

1. Izerman R. Digital control systems / R. Iserman. – Moscow: Mir, 1984. – 541 p.
2. Methods of classical and modern theory of automatic control: A textbook in 5 volumes; T.3: Synthesis of regulators of automatic control systems / Ed. K.A. Pupkov and N.D. Egupova. - Moscow: Izdatelstvo MGTU im. NE Bauman, 2004. – 616 p.
3. Manoylo V.M. Constructive features of throttle knots of air supply systems of autotractor internal combustion engines / Manoylo V.M, Lipinskii M.S, Dzyubenko A.A // Electronic Journal "Automotive Electronics. Modern technology". - Kh. KhNADU - 2017. – Ed. 11. – P. 38 - 45.
4. Patent for Utility Model 110618 Ukraine, F01L / 00, F02M23 / 00.00. Choke center of air supply system engine / F.I. Abramchuk, V.M. Manoylo, O.A. Dzyubenko, M.S. Lipinsky - application № a2013 00833 dated January 24, 2013; has published 25.10.2016. Bul. No. 20.

Поступила (received) 28.09.2018 р.

Манойло Владимир Максимович¹, доцент, к.т.н., vladimir.m.manoylo@gmail.com, +38 095-710-96-28,

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василе-нко, г. Харьков, Московский проспект, 45.

Throttle control of the system vehicle air supply

Abstract: A simplified structural diagram of the control system (CS) of the crankshaft rotation frequency is developed, which uses the discrete transfer function of the control object and the discrete transfer function of the control object with respect to the driving force. As a parametrically optimized regulator, a second-order linear regulator is used. The projected control system is characterized by a relatively low noise level and the amount of lag in the control object. In such conditions, the use of PID regulators is recommended. To

ensure that the regulator in question had the properties of a continuous PID controller, constraints on its coefficients were imposed. In the system under consideration, it is proposed to use the stepper motor to change the angular position of the throttle valve to control the speed of the crankshaft. The obtained ratios allow preliminary estimation of the values of the coefficients of the digital controller, and also select the required sampling period for the signals of the microprocessor control system of the gas internal combustion engine. In the future, the values of the selected parameters should be refined in the course of experimental studies taking into account the limitations considered.

Key words: throttle, control system, structural diagram, transfer function, difference equations.

Manoylo Vladimir¹, Associate Professor, Ph.D., +38095-710-96-28, vladimir.m.manoylo@gmail.com
¹Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Kharkov, Moskovsky prospect, 45.

Управління дросельною заслінкою системи повітропостачання автотранспортного двигуна

Анотація: Розроблена спрощена структурна схема системи управління (СУ) частотою обертання колінчастого вала, в якій використовується дискретна передавальна функція об'єкта управління і дискретна передавальна функція об'єкта управління відносно, який задає впливу. В яко-

сті параметрично-оптимізуючого регулятора застосовується лінійний регулятор другого порядку. Проектована система управління характеризується відносно малим рівнем шумів і величиною запізнювання в об'єкті управління. В таких умовах рекомендується використання ПІД-регуляторів. Для того, щоб розглянутий регулятор мав властивості безперервного ПІД-регулятора були накладені обмеження на його коефіцієнти. У даній системі для управління частотою обертання колінчастого вала передбачається використовувати зміну кутового положення дросельної заслінки за допомогою крокового двигуна. Отримані співвідношення дозволяють здійснити попередню оцінку значень коефіцієнтів цифрового регулятора, а також вибрати необхідний період дискретизації сигналів мікропроцесорної системи управління газового ДВЗ. Надалі значення обраних параметрів повинні бути уточнені в процесі експериментальних досліджень з урахуванням розглянутих обмежень.

Ключові слова: дросельна заслінка, система управління, структурна схема, передавальна функція, різнищеві рівняння.

Манойло Володимир Максимович¹, доцент, к.т.н., vladimir.m.manoylo @gmail.com, +38 095-710-96-28,

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Московський проспект, 45.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В ТРАНСМИССИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Михалевич Н. Г.¹, Сильченко Н. Н.¹

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрены динамические процессы протекающие в автоматизированном механизме переключения передач автотранспортного средства, исследована математическая модель электродвигателя и определены параметры влияющие на рабочий процесс, описаны используемые в технике типы электродвигателей, описаны уравнения используемые при математическом моделировании, рассмотрены перспективы рационального управления коробкой передач. **Ключевые слова:** переключение передач, системы автоматического управления, математическое моделирование.

Введение

В современном автомобилестроении с целью повышения тягово-скоростных свойств широко используется автоматическое управление агрегатами трансмиссии, в частности - коробками передач. При этом используются различные системы автоматизации процесса переключения передач. Развитие электроники, создание и внедрение высокоскоростных коммуникационных бортовых сетей, предоставили возможности для создания и внедрения на транспортных средствах различных систем управления силовым агрегатом [1,2].

Анализ публикаций

Одним из наиболее перспективных направлений в автомобилестроении является автоматизация механической ступенчатой коробки передач, так называемая роботизация. По сравнению с гидромеханическими аналогами, роботизированные коробки передач обладают лучшими показателями КПД, а также имеют меньшую удельную массу агрегата [3]. Одним из способов автоматизации процесса переключения передач является применение специально спроектированного автоматизированного механизма переключения, монтируемого на штатную коробку передач (КП) автомобиля. По пути разработки таких механизмов идут ведущие производители автомобильных трансмиссий как ZF Friedrichshafen AG (Германия), «Eaton» (США) [4]. Теоретическим вопросом по разработке и внедрению таких систем и механизмов в автомобилестроении занимаются также ряд зарубежных

ученых результаты работы которых приведены в литературе [5].

Цель исследования

Коллекторные двигатели постоянного тока являются наиболее распространенными исполнительными двигателями систем автоматики различного назначения, поэтому они и были выбраны в приводе механизма переключения. В качестве силового исполнительного механизма использовался коллекторный электродвигатель постоянного тока. Целью исследования является математическое описание динамических процессов протекающих в силовом электродвигателе механизма управления КП. На основании проведенного анализа определено, что электродвигатели постоянного тока довольно широко используются в автомобильной технике, но литературное описание методик построения и решения уравнений при математическом описании таких двигателей не позволили получить характеристики определенные заводом изготовителем. Выполненная работа посвящена исследованию этих явлений.

Исследование электродвигателя постоянного тока в приводе механизма переключения передач

Любой электропривод представляет собой электромеханическую систему, состоящую из трех частей (рис. 1). Двигатель ЭД как силовой элемент этой системы представляет собой потребитель энергии. В механическую систему входит ротор электродвигателя, который имеет свой момент инерции,

определенную скорость и частоту вращения, а также развивает крутящий (тормозной) момент [6].



Рис. 1. Элементы электропривода как механической системы

За электродвигателем идет механизм осуществляющий преобразование движения (МПД). Он позволяет увеличивать или уменьшать скорость вращения (редуктор), изменяется вид движения – вращательное в поступательное (винтовые и зубчато-реечные передачи, барабан с тросом, кривошипно-шатунный механизм и т.п.). Редуктор характеризуется коэффициентом передачи, представляющим собой отношение скорости на входе к скорости на выходе, механической инерционностью и упругостью его элементов, зазором и трением. Рабочий орган (РО) реализует подведенную энергию в полезную работу. РО является потребителем энергии, тогда ее поток направлен от двигателя к рабочему органу см. рис. 1. Иногда бывает наоборот: поток энергии направлен от РО к двигателю, и тогда двигатель является ее источником. Рабочий орган характеризуется инерционностью при вращении или усилием при линейном движении. Передача энергии от двигателя к рабочему органу и обратно связана с ее потерями в механических звеньях. Причина – трение в подшипниках, направляющих, зубчатых зацеплениях и т.п. Потери энергии покрываются двигателем при прямом потоке энергии и рабочим органом при обратном потоке.[6]

Двигатели постоянного тока традиционно являлись основой регулируемого электропривода и широко применяются в различных областях техники. Двигатели постоянного тока могут иметь независимое, последовательное или смешанное возбуждение. В зависимости от схемы возбуждения существенно различают и электромеханические характеристики двигателей. Двигатели независимого возбуждения могут иметь электромагнитное возбуждение, (рис.2,а) и возбуждение от постоянных магнитов (рис.2,б). Возбуждение от постоянных магнитов используют для высоко оборотистых двигателей мощностью до 20 кВт.

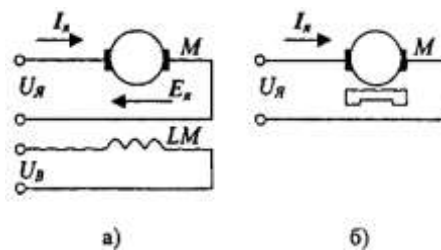


Рис.2. Схема включения двигателей постоянного тока независимого возбуждения: а – с возбуждением от электромагнитов; б – с возбуждением от постоянных магнитов

По конструкции якоря двигатели делятся на три группы: с зубцовым якорем, с гладким якорем, с диэлектрическим якорем (дисковым или полым). Конструкции с зубцовым якорем являются самыми распространёнными в коллекторных двигателях. Достоинством таких конструкций является хорошие удельные энергетические показатели и относительная дешевизна. Двигатели с гладким якорем имеют меньшие пульсации момента и допускают большие перегрузки по сравнению с зубцовыми. Двигатели с диэлектрическим якорем имеют по сравнению с другими конструкциями высокое быстродействие и используются в электроприводах с жесткими требованиями к динамическим свойствам [7]. Изменение направления вращения двигателей с независимым возбуждением производится изменением полярности подводимого к якорю питания. Напряжение, подводимое к якорной цепи двигателя, в установившемся режиме уравновешивается падением напряжения на сопротивлениях цепи якоря и противо ЭДС якоря, которая наводится в обмотке якоря при его вращении в электромагнитном поле, создаваемом обмотками возбуждения.

Двигатель постоянного тока описывают следующей системой дифференциальных и алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} U &= e + R_m \cdot i + L_m \frac{di}{dt} \\ M - M_c &= J_{np} \frac{d\omega}{dt} \\ M &= K_\tau \cdot \Phi \cdot i \\ e &= K_m \cdot \Phi \cdot \omega \end{aligned} \quad (1)$$

где i - сила тока на обмотках двигателя;

R_m - активное сопротивление якорной цепи;

L_m - индуктивность якорной цепи;

K_m - коэффициент пропорциональности между скоростью и ЭДС;

K_τ - коэффициент пропорциональности между электромагнитным моментом и током якоря;

I_{np} - приведенный суммарный момент инерции;

U - напряжение питания электродвигателя.

Для практических расчетов часто приходится определять параметры двигателя по паспортным данным или каталогам, в которых не всегда имеются сведения об индуктивности и сопротивлении якорной обмотки. В этом случае параметры могут быть вычислены по паспортным номинальным данным двигателя: мощности P_N [Вт], напряжению U_N [В], току якоря I_N [А], частота вращения n_N [об/мин], коэффициенту полезного действия η , %.

Если сопротивление обмотки якоря двигателя R_m не задано, его приближенно рассчитывают, принимая, что в номинальном режиме работы на обмотку якоря приходится определенная часть общих потерь мощности в машине:

$$R_m \approx \frac{\alpha(1-\eta)U_N}{I_N} \quad (2)$$

для двигателей параллельного возбуждения $\alpha=0,5$; для двигателей смешанного возбуждения $\alpha=0,6$; для двигателей последовательного возбуждения $\alpha=0,75$.

Индуктивность цепи якоря - L_m рассчитывают по следующей зависимости

$$L_m \approx \frac{30U_N c_v}{\pi p n_N I_N}, \quad (3)$$

где c_v - эмпирический коэффициент, равный 0,4 или 0,1 соответственно для двигателей при отсутствии или при наличии компенсационной обмотки; p - число полюсов у двигателя.

Коэффициенты K_τ и K_m рассчитывают по зависимостям (4) и (5).

$$K_\tau = \frac{U_N - i \cdot R_a}{\omega_N} \quad (4)$$

$$K_m = \frac{M}{i} \quad (5)$$

Преобразовав эти уравнения, получили систему уравнений, имеющую вид

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{-R_m \cdot i - K_m \frac{d\Theta}{dt} + U(t)}{L_m} \\ \frac{d^2\Theta}{dt} = \frac{K_\tau \cdot i - M_c}{I_{np}} \end{cases} \quad (6)$$

где M_c - момент сопротивления.

При исследовании данной модели было определено что подставив в уравнение соответствующие переменные модель не выдавала параметров определенных каталогом завода изготовителя. (табл. 1)

Таблица 1 – Технические характеристики силового электродвигателя.

Тип	Напряжение В	Скорость без нагрузки об/мин	Ток без нагрузки А	Скорость вращения об/мин	Крутящий момент кг·см	Вых мощность Вт	Рабочий ток А	Пусковой ток А
Силовой	24	3000	1,15	2500	3	77	4,6	20

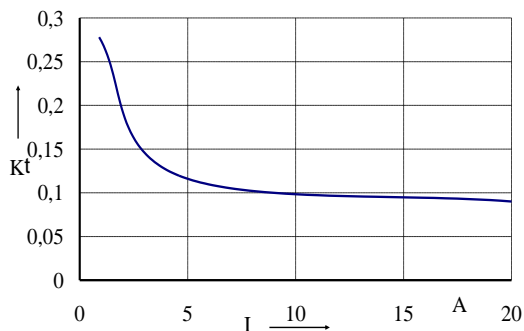
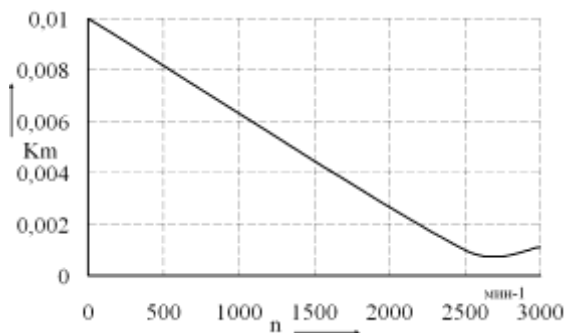
В частности это несоответствие тока при соответствующих оборотах ротора электродвигателя.

Исследовав характер работы модели было выявлено что несоответствие модели заводским параметрам обусловлено коэффициентами K_m и K_τ . А также существенное влияние оказывает реактивное сопротивление якоря R_m которое также зависит от частоты вращения ротора двигателя. Путем экспериментального поиска были определены зависимости этих коэффициентов имеющие следующий вид (рис 3-5). Кривые изменения описываются полиномами 4 степени (7,8,9)

$$R_m = 2E-12n^4 - 1E-08n^3 + 1E-05n^2 - 0.0021n + 1.1834 \quad (7)$$

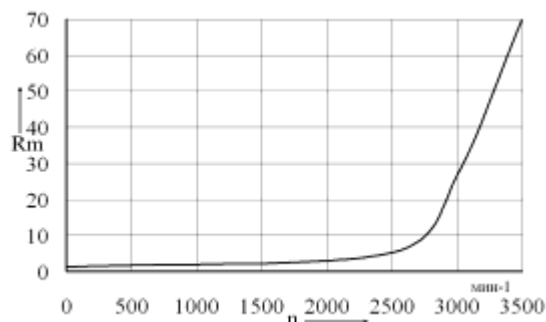
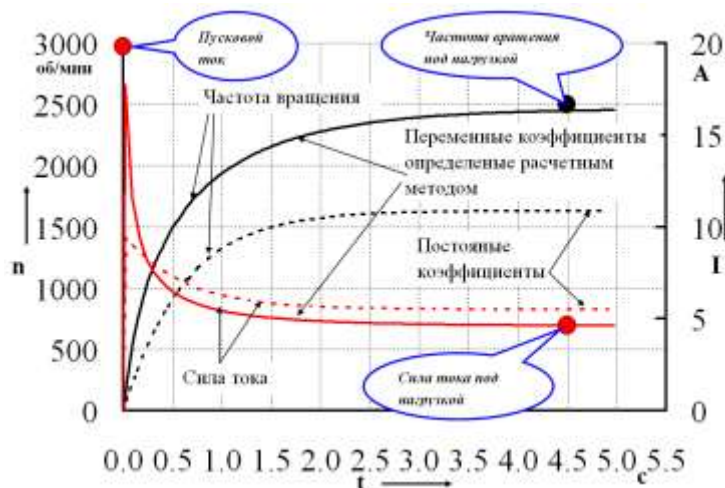
$$K_\tau = 2E-05i^4 - 0.0008i^3 + 0.0145i^2 - 0.1028i + 0.3541 \quad (8)$$

$$K_m = 2E-16n^4 - 8E-13n^3 + 8E-10n^2 - 4E-06n + 0.01 \quad (9)$$

Рис. 3. Зависимость K_t от силы токаРис. 4. Зависимость K_m от частоты вращения вала силового электродвигателя

Подставив полученные зависимости в уравнения модели силового электродвигателя были получены результаты отвечаю-

щие техническим данным двигателя. Переменные коэффициенты, определенные расчетным методом, позволили повысить точность моделирования. Так используя постоянные коэффициенты при моделировании пусковой ток равен 9,4 А, а скорость вращения равна 1630 об/мин, что соответственно составляет 47% и 65,2% от паспортных данных. При моделировании с использованием переменных коэффициентов получен ток 17,7 А, что соответствует 88,5%, и скорость вращения 2452 об/мин., что соответствует 98% от паспортных данных (рис 6). Точками на графике обозначены величины соответствующие паспортным данным.

Рис. 5. Зависимость R_m от частоты вращения вала электродвигателяРис. 6. Зависимость скорости вращения и рабочего тока при различных коэффициентах K_m , K_t , R_m .

Выводы

Полученные зависимости для коэффициентов модели электродвигателя, которые позволяют повысить точность моделирования его работы. Так соответствие пускового тока паспортным данным и результатов моделирования выросло с 47% до 88,5%, а скорости вращения с 65,2% до 98%. Получены полиномы описывающие изменение переменных коэффициентов используемые при

моделировании.

Литература

1. Гируцкий О.И. Электронные системы управления агрегатами автомобиля./ О.И. Гируцкий, Ю.К. Есеновский–Лашков, Д.Г. Поляк. – М.: Транспорт, 2000. – 213 с.
2. Кусяк, В.А. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов: монография / В.А. Кусяк, О.С.

- Руктешель.– Минск: БНТУ, 2015. – 295 с.
3. Богомолов В.А. Анализ существующих конструкций трансмиссий / В.А. Богомолов, В.И. Клименко, Н.Г. Михалевич, Н.Н. Сильченко // Автомобильный транспорт. – 2010. – №27. – С. 17 – 21 Сборник научных трудов
 4. Сосин Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы. / Д.А. Сосин, В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
 5. Недялков, А.П. Применение опережающих технических решений при создании механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением. / А.П. Недялков, А.Н. Блохин // Наука и образование. – 2011. – №2.
 6. Воронин С. Г. Электропривод летательных аппаратов: Учебно-методический комплекс. – Offline версия 1.0. – Челябинск, 1995-2011. – файлов 489
 7. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.:РАСХН. 2003. – 320.

References

1. Girutskiy OI Electronic control systems for car aggregates. / O.I. Girutskiy, Yu.K. Yesenovskiy-Lashkov, D.G. Pole. -M.: Transport, 2000. - 213 with.
2. Kussyak, V.A. Designing of automated mechatronic control systems for the power unit of trucks and road trains: monograph / V.A. Kussyak, O.S. Rukteshel. - Minsk: BNTU, 2015. - 295 p.
3. Bogomolov V.A. Analysis of existing transmission designs / VA Bogomolov, V.I. Klimentko, N.G. Mikhalevich, N.N. Silchenko // Automobile transport. - 2010. - №27. - С. 17 - 21 Collection of scientific works
4. Sosin D.A. The newest automotive electronic systems. / YES. Sosin, V.F. Yakovlev. - Moscow: Solon-Press, 2005. - 240 p.
5. Nedyalkov, A.P. Application of advanced technical solutions for the creation of mechanical stepped gearboxes with automated control. / A.P. Nedyalkov, A.N. Blokhin // Science and Education. - 2011. - №2.
6. Voronin SG The electric drive of flying machines: Educational-methodical complex. - Offline version 1.0. - Chelyabinsk, 1995-2011. - files 489
7. Onishchenko G.B. Electric drive. Textbook for high schools - M.: RAAS. 2003. – 3.

Михалевич Николай Григорьевич¹, к.т.н., доцент кафедры автомобилей им. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com; 050-3431827,

Сильченко Николай Николаевич¹, ассистент кафедры автомобилей им. А.Б. Гредескула, +38 0509755716, mykola.sylchenk@gmail.com,

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

Вдосконалення параметрів моделі електродвигуна механізму перемикання передач в трансмісії автотранспортних засобів

Анотація. Стаття присвячена покращенню експлуатаційних показників електромеханічного автоматизованого приводу перемикання передач великовантажних автомобілів та автобусів, удосконаленню конструкції виконавчого механізму приводу керування коробкою передач, оптимізації роботи алгоритму керування автоматизованим електромеханічним приводом перемикання передач. Шляхом аналізу інформаційних джерел встановлено вимоги, які висувуються до приводів автоматизованого керування коробкою передач. На основі проведеного аналізу існуючих конструкцій приводів перемикання передач в механічних коробках передач зроблено висновок про доцільність подальшого вдосконалення електромеханічного приводу перемикання передач з виконавчими механізмами на базі електродвигунів постійного струму, як найбільш актуального на сьогодні для застосування у трансмісіях великовантажних автомобілів та автобусів. Основним недоліком подібних конструкцій на даний момент вбачається в недостатній універсальності розглянутих аналогів, що до використання на коробках передач різного виробництва. Це, в свою чергу, негативно впливає на вартість та надійність приводу. Розглянуто динамічні процеси що протікають в автоматизованому механізмі перемикання, досліджено математичну модель електродвигуна і визначені параметри впливають на робочий процес, описані використувані в техніці типи електродвигунів, описані рівняння які використовуються при математичному моделюванні, розглянуті перспективи раціонального керування коробкою передач. За підсумками аналізу отриманих результатів для подальшого вдосконалення запропонована конструкція виконавчого механізму перемикання передач з двома електродвигунами постійного струму власної розробки. Визначено, що запропоновані нові взаємозв'язки між конструктивними елементами механізму перемикання передач дозволяють отримати одночасно необхідну швидкодію приводу, високу точність регулювання, та забезпечують необхідне зусилля на синхронізаторі. Виконано математичний опис робочого процесу включення передачі автоматизованим електромеханічним механізмом перемикання передач. Математична модель виконавчого механізму електромеханічного приводу керування коробкою передач включає: диференціальні рівняння які описують роботу електродвигуна постійного струму, а також рівняння зв'язку.

Ключові слова: перемикання передач, системи автоматичного керування, математичне моделювання.

Михалевич Микола Григорович¹, к.т.н., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com; 050-3431827,

Сильченко Микола Миколайович¹, асистент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, +38 0509755716, mykola.sylchenk@gmail.com,

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

Improvement of parameters of the electric motor model of the gearbox mechanism in the transmission of motor vehicles

Abstract. *The article is devoted to improvement of operational parameters of electromechanical automated gear shift gears of heavy trucks and buses, improvement of the design of the actuator of the drive gear control gearbox, optimization of the operation of the algorithm of control of the automated electromechanical gear shift gear. By analyzing information sources, requirements are set for the automated gearbox drive. On the basis of the analysis of existing constructions of the gearshift gears in the mechanical transmission boxes, it was concluded that it is expedient to further improve the electromechanical drive of the gear shift with the actuators on the basis of DC motors, as the most current for use in transmission of heavy trucks and buses. The main disadvantage of such structures at the moment is seen in the lack of universality of the analogues considered, which is to use on gearboxes of different production. This, in turn, negatively affects the cost and reliability of the drive. The dynamical processes taking place in the automated switching mechanism are considered, the mathematical model of the electric motor is investigated and the parameters determined influence the work process, described the types of electric motors used in the technique, the equations*

used in mathematical modeling are described, the prospects of rational gearbox control are considered. According to the results of the analysis of the obtained results for further improvement, the construction of the actuating mechanism of gear shift with two electric motors of direct current of own design is proposed. It is determined that the proposed new interconnections between the structural elements of the gearshift mechanism allow simultaneously obtaining the required speed of the drive, high accuracy of the adjustment, and provide the necessary effort on the synchronizer. A mathematical description of the working process of the inclusion of transmission by automated electromechanical gear shifting gear is executed. The mathematical model of the executive mechanism of the electromechanical drive gearbox transmission includes: differential equations that describe the operation of the electric motor of the direct current, as well as the equation of communication.

Key words: gearshift, automatic controls, mathematical modeling

Mikhalevich Nikolay¹, Ph.D., Associate Professor of the Department of Automobiles named A.B. Gredescula, +38 050-3431827, mkolyag@gmail.com;

Silchenko Nikolay¹, Assistant Department of the Department of Automobiles named A.B. Gredescula, +38 0509755716, mykola.sylchenk@gmail.com,

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

Інтелектуальні системи управління транспортними системами.
Синергетичні системи екомобілів

УДК 629.341

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0.48

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ОБМЕНА
ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

Пронин С. В.¹,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

***Аннотация:** Рассматривается подход к созданию интеллектуальных агентов для решения задач обмена информацией между транспортными средствами. В статье проанализированы различные типы интеллектуальных агентов, определён тип агента для решения поставленной задачи. Сформирована внутренняя структура агента и рассмотрен подход к созданию программной модели.*

***Ключевые слова:** интеллектуальный агент, транспортное средство, обмен информацией, Car2Car, агентно-ориентированное программирование.*

Введение

На сегодняшний момент одним из путей повышения эффективности управления дорожным движением связан с развитием интеллектуальных систем и телекоммуникационных технологий. Данный подход позволяет выстраивать систему, в которой транспортные средства за счет подключения в общую информационную среду имеют возможность обмениваться между собой и другими элементами транспортной инфраструктуры актуальной информацией. Для реализации такого подхода требуется разработка специального программного обеспечения (ПО). Реализовать данный подход возможно с помощью многоагентных систем.

Анализ публикаций

Рассмотрим подход к технологии обмена данными между транспортными средствами на примере технологии Car2Car (Европейский Союз) и Vehicle-to-Vehicle (США) [1-4]. Эти системы предоставляют услуги связи и обмен информацией, связанный с потенциальной опасностью на дороге, позволяет предупредить водителей снизить скорость и избежать несчастных случаев. Также возможен обмен данными о погодных условиях, состоянии дорожного покрытия, дорожной обстановке по пути следования (заторов, дорожных работах и т.д.). В модели системы связи, предложенной консорциумом Car2Car (Car2Car Communication Consortium [1]) выделяются три домена: invehicle domain, adhoc domain

infrastructure domain.

Invehicle domain включает бортовые устройства (onboard units, OBU) и устройстве приложений (application units, AU). На AU выполняется одно или несколько приложений; OBU поддерживает функции, необходимые для организации связи с другим OBU и с устройствами инфраструктурного домена. AU может быть как встроенным в транспортное средство, так и отдельным портативным устройством (например, переносным компьютером, мобильным телефоном и т. д.).

Аппаратное обеспечение Car2Car и Vehicle-to-Vehicle технологий, включает различные электронные системы автомобиля такие как электронные блоки управления автомобилем, GPS приемники, модули беспроводной связи и должны обеспечивать обмен информацией между участниками дорожного движения. Это задача среди прочих требует разработки специального программного обеспечения. Такое ПО должно в автоматическом режиме передавать информацию от автомобиля, получать необходимую информацию от других автомобилей и объектов транспортной инфраструктуры и информировать водителя о дорожной ситуации.

Цель исследования

Для решения задачи в данной статье предложено использовать технологию многоагентных систем. Данный подход основан на использовании специальных автономных ин-

дивидуумов (агентов), объединенных в систему. Агент здесь представляет из себя программу, которая в автономном режиме способна осуществлять самостоятельные действия в соответствии с заданной целью.

Целью исследования является определение архитектуры интеллектуального агента для решения задач информационного взаимодействия между транспортными средствами.

Обзор архитектур интеллектуальных агентов

В работе под интеллектуальным агентом будем понимать самостоятельную интеллектуальную систему, имеющую возможность принимать воздействие от внешнего мира и от себе подобных, формировать свою реакцию на это воздействие и осуществлять эту реакцию, действующую либо от своего лица, либо от лица пользователя, делегировавшей агенту полномочия на выполнение тех или иных действий.

Основным отличием агентов от систем в целом является активность, то есть возможность самостоятельно выполнять какие-либо действия. Кроме того, агент обычно рассматривается не как совокупность частей, а как единая сущность, тогда как, например, при исследовании свойств систем первый подход является основным. Еще одной отличительной характеристикой является то, что агент может быть воплощен не в виде некоторого материального объекта, а существовать как самостоятельная программа. При этом данная программа, не воздействуя на материальный мир (оставаясь в рамках компьютера или компьютерных систем), может осуществлять полезные действия [5].

К агентам предъявляются следующие основные характеристические требования [5]:

- автономность, т.е. способность функционировать без прямого вмешательства человека, самостоятельно отслеживая состояние окружающей среды и собственных параметров;

- реактивность – способность агента воспринимать окружающую среду и адекватно на нее реагировать;

- про активность или способность агента обладать целенаправленным поведением и проявлять инициативу.

Кроме того, для исполнения тех или иных задач агенты должны отвечать дополнительным классифицирующим требованиям [6]:

- способность общения. Агент должен иметь возможность общаться и взаимодействовать с другими агентами или людьми.

- моделирование ситуации. Способность агента промоделировать развитие ситуации, предсказать ход ее развития.

- мобильность. Агент должен иметь возможность менять свое положение в окружающей среде.

- интеллектуальность. Агент должен иметь возможность проводить логический вывод для принятия решения о своих дальнейших действиях.

- привязка к среде. Агент должен существовать в определенной окружающей среде (реальной или виртуальной).

По функциональному назначению можно выделить несколько видов агентов [6]:

- агенты для поиска информации;

- агенты для обмена информацией;

- агенты для поддержки принятия решений;

- гибридные агенты (объединяющие в себе функции других объектов).

Основное отличие приведенных выше типов агентов заключается в их внутренней сложности и возможности реализовывать различные функции.

Для нашего случая подойдут агенты для обмена информацией. Такой агент будет выполнять две задачи: сбор информации о состоянии транспортного средства и передачи её в сеть; получение из сети информации от других транспортных средств и на основе этой информации сформировать решение, например, информировать водителя о дорожной ситуации.

Для такой цели подойдет реактивный тип агента [5]. Хотя считается, что реактивные агенты имеют ограниченное представление внешней среды или не имеющие его вовсе, тем не менее они доказали способность решать ограниченное число простых задач в областях реального мира.

Для более сложных задач поддержки принятия решений целесообразнее использовать когнитивный тип агента обладающий более сложной и развитой внутренней структурой, которая позволяет решать более широкий спектр задач.

В общем виде модель агента будет выглядеть следующим образом:

$$A = \langle I, E, P, M \rangle, \quad (1)$$

где I – множество входных данных;

E – множество внутренних данных;

P – функция восприятия агентом входной информации;

M – функция формирования решения

Основное отличие приведенных выше типов агентов заключается в их внутренней сложности и возможности реализовывать различные функции.

Для нашего случая подойдут агенты для обмена информацией. Такой агент будет выполнять две задачи: сбор информации о состоянии транспортного средства и передачи её в сеть; получение из сети информации от других транспортных средств и на основе этой информации сформировать решение, например, информировать водителя о дорожной ситуации.

Для такой цели подойдет рефлексный тип агента [5]. Хотя считается, что рефлексивные агенты имеют ограниченное представление внешней среды или не имеющие его вовсе, тем не менее они доказали способность решать ограниченное число простых задач в областях реального мира.

Различают несколько разновидностей рефлексных агентов [5]:

- простой рефлексный агент - отвечают непосредственно на акты восприятия;
- рефлексный агент, основанный на модели - поддерживают внутреннее состояние, отслеживая те аспекты среды, которые не наблюдаются в текущем акте восприятия;
- рефлексный агент, основанный на цели организуют свои действия так, чтобы достигнуть своих целей;
- рефлексные агенты, основанные на полезности - пытаются максимизировать заложенную в них функцию полезности;
- обучающиеся рефлексные агенты – реализуют функцию обучения которая позволяет агенту функционировать в первоначально неизвестных ему вариантах среды и становится более компетентным по сравнению с тем, что могли бы позволить только его начальные знания.

Для решения задачи обмена данными и поддержки принятия решения возможно использовать либо простого рефлексного агента, либо агента, основанного на модели.

В обобщенном виде агент, который получает информацию от другого транспортного средства и на её основе должен принять решение будет выглядеть следующим образом [6]:

Агент (воспринимает среду) возвращает действие
Имеет множество правил «условие-действие»
Ввод (внешние данные)
Нахождение нужного правила
Действие в соответствии с правилом
Возврат действия

Т.е. агент имеет в своей внутренней структуре набор правил по типу «if then», которые описывают его поведение при возникновении различных ситуаций. Данные о внешней среде агент получает через датчики или других агентов, после чего подбирается нужное правило в соответствии, с которым формируется сигнал, который передаётся на исполнительный механизм для совершения конкретного действия.

Подход к созданию интеллектуальных агентов

Для программной реализации агентов сегодня в программировании применяется агентно-ориентированный подход [7]. Основной его концепцией является понятие агента, имеющего поведение зависящее от среды где он находится.

Согласно Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), термин агент определяется следующим образом:

Агент — это главный исполнитель в домене. Он обладает одной или несколькими сервисными возможностями, образующими единую и комплексную модель выполнения, которая может включать доступ к внешнему ПО, пользователям (людям) и средствам связи.

Агентно-ориентированный подход тесно связан с объектно-ориентированным являясь его частным случаем. Как и в объектно-ориентированном подходе агентно-ориентированный в качестве агентов также использует объекты с тем различием, что агент имеет механизм целеобразования позволяющий ему достигать определённый уровень автономии. Такая возможность агентов может описываться моделью поведения, включающей в себя намерения, желания, мотивацию, рациональность.

Такая близость объектов и агентов позволяет описывать агенты с помощью различных типов классов.

Из этого можно сделать вывод, что агент как программное обеспечение должен отвечать следующим требованиям:

- представлять из себя специальный тип объекта;
 - иметь возможность реализации с помощью класса;
 - содержать в себе поведенческую модель.
- В общем виде структуру агента можно представить следующим образом:

```

Агент {
    Структура данных
    Объект {
        Метод
    }
}

```

Особенности взаимодействия между агентами

Одно из центральных мест в мульти-агентных системах занимают вопросы взаимодействия или коммуникации агентов [5].

В основном исследование вопросов взаимодействия агентов ограничивается только описанием моделей участников взаимодействия. В работе [8] упор делается на распределении задач между агентами, но не указываются особенности и язык взаимодействия. В отличие от этого в работе [9] модель взаимодействия описывается в виде конечного автомата в котором состояния участников взаимодействия задаются в виде простых протоколов.

Рассмотрим различные типы взаимодействия между агентами. Простое сотрудничество представляет собой объединение опыта нескольких агентов посредством разделения задач и обмена опытом, при этом никаких дополнительных мер по координации их действий не требуется. Координируемое сотрудничество предполагает высокую степень согласованности действий для эффективного распределения знаний и ресурсов, при этом возможно использование дополнительных агентов координаторов. Этот тип сотрудничества весьма сложен, ведь приходится осуществлять как распределение задач между агентами, так согласовывать их действия к тому же не подходит для решения нашей задачи.

Помимо случаев сотрудничества также можно рассматривать различные виды соперничества. Простейшим из таких типов взаимодействия является чистое индивидуальное соперничество. При таком взаимодействии агенты находятся в, примерно, одинаковых условиях и при этом получение доступа к ресурсам не является основанием для конфликта. Помимо этого, возможно коллективным сотрудничеством, которое предполагает объединение агентов и различными индивидуальными целями в группы.

Наиболее результативным является кооперации агентов, так как именно за счёт эффекта кооперативного взаимодействия достигается максимизация результативности мультиагентной системы. Кооперация предполагает

объединение усилий отдельных агентов ради достижения общих целей. Для теории агентов понятие общей цели является весьма значимым, так как предполагает достижения состояния мира, соответствующего целям отдельных агентов и строящегося в согласии с ними.

Формирование совместных целей возможно в двух различных случаях:

- цели отдельных агентов близки или практически совпадают;
- цели, сформированные одним агентом, полностью принимаются другими агентами.

Если попытаться выделить составляющие такого явления как кооперация, то мы получим три основных компонента: сотрудничество агентов, координация их действий и разрешение спорных моментов.

Данный вид организации взаимодействия в подобной системе имеет ряд следующих преимуществ:

- решение задач, с которыми не мог бы справиться один агент, посредством группового взаимодействия.
- возрастание степень производительности и эффективность выполнения своих функций каждым агентом.
- рост качества принимаемых общих решений благодаря разделению общей задачи на подзадачи и высокой степени проработки этих подзадач, а также за счёт активной коммуникации между агентами в ходе выполнения задач.
- шанс найти решение многократно возрастает вследствие объединения различных подходов, алгоритмов решения и т.д.

Обобщенная модель процесса взаимодействия можно описать следующим образом:

$$MI = \langle MA, MD, LA, SR \rangle, \quad (2)$$

где SA - множество агентов участвующих во взаимодействии;

MD - множество сценариев диалога между участниками взаимодействия;

LA - язык взаимодействия;

SR - множество отношений.

Выводы

В статье проанализирован подход к созданию системы обмена информацией между участниками дорожного движения с использованием мультиагентного подхода. Показана возможность создавать интеллектуальные агенты. Рассмотрены вопросы связанные с особенностью организации взаимодействия

між інтелектуальними агентами.

Литература

1. Car 2 Car Communication Consortium Manifesto. Overview of the C2C-CC System /URL: www.car-to-car.org.
2. ETSI TS 102 636-3 V1.1.1 (2010-03): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 1: Requirements/URL:http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263601/01.01.01_60/ts_10263601v010101p.pdf
3. Draft ETSI EN 302 665 V1.0.0 (2010-03): Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. — European Telecommunications Standards Institute, 2010.
4. Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Architecture. — IEEE P1609.0/D0.1. — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010.
5. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика/ В. Б. Тарасов /- М.: УРСС, 2002. -352с.
6. Рассел С.. Искусственный интеллект. Современный подход 2-е изд./ Рассел С., Норвиг П. / Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. — 1408 с.
7. Агентно-ориентированный подход [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Агентно-ориентированный_подход.
8. Wooldridge M., Jennings N. Intelligent Agents: Theory and Practice // The Knowledge Engineering Review 10 (2), 1995, С. 115-152.
9. Muller J.P. A Cooperation Model for Autonomous Agents // Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL96), Budapest, Hungary, 1996, p. 135-147.

References

1. Car 2 Car Communication Consortium Manifesto. Overview of the C2C-CC System Retrieved from: www.car-to-car.org.
2. ETSI TS 102 636-3 V1.1.1 (2010-03): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part Requirements Retrieved from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263601/01.01.01_60/ts_10263601v010101p.pdf
3. Draft ETSI EN 302 665 V1.0.0 (2010-03): Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. European Telecommunications Standards Institute.
4. Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE). Architecture. IEEE P1609.0/D0.1. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

5. Tarasov V. B. Ot mnogoagentnyih sistem k intellektualnyim organizatsiyam: filosofiya, psihologiya, informatika [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, informatics] Moscow: URSS - Pres [in Russia]
6. Rassel S., Norvig P.. Iskusstvennyiy intellekt. Sovremennyiy podhod [Artificial Intelligence. Modern approach 2 ed.]. Moscow: Izdatelskiy dom "Vilyame" – Pres [in Russia]
7. Agentno-orientirovannyiy podhod [Agent-oriented approach]. Retrived from: https://ru.wikipedia.org/wiki/Agentno-orientirovannyiy_podhod.
8. Wooldridge M., Jennings N. Intelligent Agents: Theory and Practice. The Knowledge Engineering Review.
9. Muller J.P. A Cooperation Model for Autonomous Agents/ Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL96), Budapest, Hungary.

Поступила (received) 29.06.2018 р.

Пронин Сергей Викторович¹, к.т.н., доц., тел: (057) 707-37-43, email: sergiy9977@ukr.net,
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

The use of intellectual agents in the tasks of information exchange between vehicles

Abstract: *To date, one of the ways to improve the efficiency of traffic management is the development of intelligent systems and telecommunications technologies. This approach allows us to create a system in which vehicles, when connected to a common information environment, have the opportunity to exchange current information with each other and other elements of the transport infrastructure. Implement this approach with the help of multi-agent systems. Modern technologies such as Car2Car and Vehicle-to-Vehicle include various electronic vehicle systems, such as electronic vehicle control units, GPS receivers, wireless communication modules and must provide information exchange between road users. **Problem:** This task, among other things, requires the development of special software (software). Such software should automatically transmit information from the car, receive the necessary information from other vehicles and objects of transport infrastructure and inform the driver about the traffic situation. To solve this problem, you can use the technology of multi-agent systems. This approach is based on the use of special autonomous individuals - agents (agents) integrated into the system. The agent here is a program that is autonomous, ca-*

pable of performing independent actions in accordance with a given goal. **Goal:** Determination of the intelligent agent architecture for solving problems of information interaction between vehicles. **Methodology:** The article considers the question of constructing an intelligent agent that has the ability to take influence from the outside world and from their own kind, to form their reaction to this influence and to carry out this reaction, acting either on its own behalf or on behalf of the user delegating the agent the authority to perform those or other actions. **Result:** The ability to create intelligent is shown. The questions connected with the peculiarity of the organization of interaction between intellectual agents are considered. **Originality:** Use of an agent-based approach to solve the problem of information interaction between vehicles. **Practical value:** The possibility of implementing this technology to address the issues of traffic management.

Keywords: intelligent agent, vehicle, information exchange, Car2Car, agent-oriented programming.

Pronin S.¹, Ph.D., Assoc. Prof.

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

Використання інтелектуальних агентів в задачах обміну інформацією між транспортними засобами

Анотація: На сьогоднішній день одним із способів підвищення ефективності управління трафіком є розвиток інтелектуальних систем і технологій телекомунікацій. Такий підхід дозволяє нам створити систему, в якій транспортні засоби, підключаючись до загальної інформаційної середовищі, мають можливість обмінюватися поточною інформацією один з одним і іншими елементами транспортної інфраструктури. Впровадити цей підхід можна за допомогою многоагентних систем. Сучасні технології такі як Car2Car і Vehicle-to-Vehicle включають в себе різні електронні системи транспортних засобів, такі як електронні блоки керування транспортними засобами, приймачі GPS, модулі бездротового зв'язку і повинні забезпечувати обмін УДК 629.36:004.8

інформацією між учасниками дорожнього руху. Це завдання, серед іншого, вимагає розробки спеціального програмного забезпечення (програмного забезпечення). Таке програмне забезпечення має автоматично передавати інформацію з автомобіля, отримувати необхідну інформацію від інших транспортних засобів і об'єктів транспортної інфраструктури і інформувати водія про ситуацію з дорожнім рухом. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати технологію багатоагентних систем. Цей підхід заснований на використанні спеціальних автономних індивідумів - агентів (агентів), об'єднаних в систему. Агент тут - це програма, яка автономна, здатна виконувати незалежні дії відповідно до заданої метою. Метою даного дослідження буде визначення архітектури інтелектуального агента для вирішення проблем інформаційної взаємодії між транспортними засобами. В статті розглянуто питання побудови інтелектуального агента який, має можливість приймати вплив від зовнішнього світу і від собі подібних, формувати свою реакцію на цей вплив і здійснювати цю реакцію, діючи або від свого імені, або від імені користувача, яка делегувала агенту повноваження на виконання тих чи інших дій. Серед результатів можна виділити: - розглянуті питання створення інтелектуальних агентів для використання у транспортній сфері; - проаналізовані особливості організації взаємодії між інтелектуальними агентами; розглянуто використання агентно-орієнтованого підходу для вирішення завдання інформаційної взаємодії між транспортними засобами. Практичне значення даної роботи полягає в можливості впровадження даної технології для вирішення питань організації дорожнього руху.

Ключові слова: інтелектуальний агент, транспортний засіб, обмін інформацією, Car2Car, агентно-орієнтоване програмування.

Пронин Сергій Вікторович¹, к.т.н., доц.,

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

КОНЦЕПЦІЯ РОЗРОБЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ КОНВЕРГЕНЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КРИТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ніконов О. Я.¹, Аврамов К. В.², Успенський Б. В.²,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

***Анотація.** Розглянуто концепцію розроблення транспортних засобів на основі конвергенції інтелектуальних критичних технологій з використанням технології віртуальної реальності, синергетичного підходу, еволюційних методів моделювання, методів глибокого навчання штучних багатошарових нейронних мереж.*

***Ключові слова:** транспортні засоби, інформаційні технології, критичні технології, штучний інтелект, синергетичний підхід, еволюційні методи.*

Вступ

Сьогодні науково-технологічна сфера стала головною ареною конкуренції держав у світі, а володіння так званими «критичними технологіями» (КТ) використовується як один з вагомих важелів геополітики. Такі технології мають ключове значення для розширення можливостей обороноздатності держави й досягнення цілей національної безпеки, насамперед воєнної, воєнно-економічної та науково-технологічної безпеки. Виокремлення КТ використовується для визначення пріоритетів науково-технологічного розвитку держав та військово-технічної політики і є визначальними для процесу створення перспективних зразків озброєння й військової техніки.

В Україні ще у травні 1994 р. було прийнято Постанову Кабінету Міністрів № 310 «Про розвиток і захист критичних технологій». Однак сучасний перелік критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки з'явився у 2017 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.08.2017 р. №600 «Деякі питання розвитку критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки»). Він включає перелік критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки, а саме: технології створення засобів ураження та захисту від них, інформаційні технології, оптичні технології, хімічні технології, технології матеріалознавства, технології елементної бази радіоелектроніки, технології позиціонування і навігації, технології тактичної медицини [1-5].

Аналіз досліджень та публікацій

Саме тому підтримка національних КТ здійснюється багатьма промислово розвину-

тими країнами світу, на державному рівні затверджуються й підтримуються переліки таких технологій. Найпоширеніша й найретельніше відпрацьована практика такої діяльності у США, Росії, країнах ЄС та Японії. Зокрема, у країнах ЄС реалізується програма «Евклід», Німеччина та Японія беруть участь у програмі Delphi за участю урядів, промисловості та наукових кіл для оцінювання важливості й статусу широкого набору технологій. У зв'язку з цим сьогоднішні дослідні проекти в області штучного інтелекту та очікувані результати прийнятих довгострокових наукових стратегій в силу своєї культурної і соціальної значущості заслуговують і вимагають уважного аналізу [6-12].

Мета та постановка задачі

Метою статті є аналіз основних тенденцій та підходів до концепції розроблення транспортних засобів на основі конвергенції інтелектуальних критичних технологій. Для ефективного розроблення транспортних засобів необхідно використання технології віртуальної реальності, синергетичного підходу, еволюційних методів моделювання, методів глибокого навчання штучних багатошарових нейронних мереж.

Дослідження основних тенденцій та підходів до концепції розроблення транспортних засобів

Вивчення процесів різної природи, що самоорганізуються призвело до появи і розвитку синергетичного підходу, що ввібрав в себе ідеї і підходи різних наук. Ідеї самоорганізації мають надзвичайно широке поле застосування і в біології, і в астрономії, і в фізиці, і в фізичній хімії, і в суспільних науках. Синергетичний підхід розглядається як подальший

розвиток системного підходу, який дає фахівцеві нові можливості для дослідження і здійснення управлінської діяльності. Синергетика являє собою системний підхід до складних відкритим нелінійних систем з її властивостями нестійкості, нерівноваги, біфуркації, катастрофи, самоорганізації та ін.

Синергетичні дослідження виділяють три типи самоорганізуючих процесів: самозародження; підтримання оптимального рівня; вдосконалення і відтворення.

У 2016 році компанія Grand View Research (GVR) оцінила глобальний ринок глибокого навчання в 272 мільйони доларів США. Його значна частина (20%) належала авіаційно-космічній та оборонній промисловості. З 2014 року ринок глибокого навчання демонструє безперервне зростання. В останньому звіті GVR йдеться, що до кінця 2025 року цей ринок досягне 10,2 млрд доларів.

Оскільки глибоке навчання нейронних мереж може створювати функції без втручання людини, фахівці в цій галузі зможуть заощадити багато часу при роботі з великими даними, спираючись на цю технологію. Це дозволяє їм використовувати більш складні набори функцій в порівнянні з традиційним програмним забезпеченням для машинного навчання.

Глибоке навчання – це підхід, який моделює абстрактне мислення людини (або, принаймні, є спробою наблизитися до нього), а не використовує його. Однак ця технологія має деякі труднощі з її використанням [6].

Процес глибокого навчання заснований на аналізі великих обсягів даних. Але потокові вхідні дані надають мало часу для забезпечення ефективного процесу навчання. Ось чому фахівцям доводиться адаптувати свої алгоритми глибокого навчання, щоб нейронні мережі могли обробляти великі обсяги безперервних вхідних даних.

Ще одна складність технології глибокого навчання полягає в тому, що вона не може надати причини і аргументи своїх висновків. На відміну від традиційного машинного навчання, ви не зможете перевірити алгоритм і дізнатися, чому ваша система вирішила, що, наприклад, на картинці зображено кішка, а не собака. Щоб виправити помилки в алгоритмах глибокого навчання, потрібно переглянути весь алгоритм.

Глибоке навчання – досить ресурсомістка технологія. Вона вимагає більш потужних графічних процесорів, високопродуктивних

відеокарт, великого обсягу пам'яті для навчання моделей і т. Д. Крім того, цією технологією потрібно більше часу для навчання в порівнянні з традиційним машинним навчанням.

Незважаючи на всі недоліки, поліпшені методи глибокого навчання відкривають нові можливості для ефективного аналізу великих обсягів неструктурованих даних (рис. 1). Компанії, які використовують глибоке навчання в своїх завданнях, зможуть отримати більш точні результати аналітики без необхідності витратити багато часу на навчання системи.

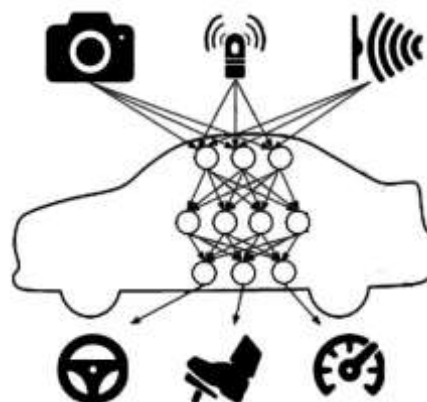


Рис. 1. Пример функціональної схеми управління автомобілем на основі методів глибокого навчання штучних багатшарових нейронних мереж

Один з головних прогнозів розвитку віртуальної реальності (VR) – технологія стане більш масовою [7]. Якщо в 2014 році кількість користувачів VR становило близько 200 тисяч, то в 2017-му ця цифра досягла 90 млн. За прогнозами ресурсу Statista, в нинішньому році вона майже подвоїться до 171 млн осіб. Обсяг ринку програмного забезпечення для віртуальної реальності становив лише \$129 млн у 2015 році, і згідно з прогнозами, досягне \$2,57 млрд в 2018 році. Аналітики Statista прокують, що в цьому році загальна вартість ринку VR складе \$5,2 млрд і \$45 млрд - в 2025-м в порівнянні з \$90 млн в 2014 році.

ІТ-лабораторія віртуального проектування Volkswagen використовує цифрові технології майбутнього для створення автомобілів нового покоління. Мова йде про формування віртуальних моделей майбутніх транспортних засобів з метою спрощення процесу розробки. За допомогою графічного чіпа за аналогією з відеоіграми спеціалізована програма візуалізує всі елементи дизайну і моделювання прототипу автомобіля. Віртуальний концепт-кар,

по суті, дає можливість вийти за рамки звичайного 3D-моделювання. Платформа Volkswagen дозволяє об'єднати повноцінне відчуття простору з функціональністю. Водій може не тільки бачити свій автомобіль, але і керувати ним. У віртуальному концепт-каре використовуються прості жести без фізичного впливу. При цьому з машиною можна виконувати всі ті ж маніпуляції, що і з реальним автомобілем (рис. 2).



Рис. 2. Віртуальний концепт-кар від Volkswagen

Передові технології VR дозволяють скоротити витрати на розробку нових моделей за рахунок зменшення кількості реальних прототипів, кожен з яких створюється індивідуально і вимагає істотних витрат. Крім того, віртуальний концепт-кар допомагає економити час. Оскільки всі компоненти автомобіля проєктуються в цифровому просторі, їх параметри легко можна перенести в програму віртуальної реальності і отримати VR-модель, з якої можуть одночасно працювати всі члени команди.

Volkswagen вже використовує віртуальні концепт-кари для розробки серійних моделей – зокрема, для Golf нового покоління. Наступним кроком стане створення повністю функціонального віртуального автомобіля, що дозволяє задіяти всі органи чуття. Для цього розробляється система, що складається з чутливих до натиснення штифтів, що імітують всі форми і контури салону. Вона дозволить відчувати поверхні і органи управління, яких не існує в реальності (рис. 3).



Рис. 3. Рукавички віртуальної реальності з VR-шоломом

Висновки

Проаналізовано основні тенденції та підходи до концепції розроблення транспортних засобів на основі конвергенції інтелектуальних критичних технологій. Для ефективного розроблення транспортних засобів необхідно використання технології віртуальної реальності, синергетичного підходу, еволюційних методів моделювання, методів глибокого навчання штучних багатошарових нейронних мереж.

Отже, національні КТ мають ключове значення для розширення можливостей обороноздатності України та досягнення цілей національної безпеки, зокрема науково-технологічної безпеки. Тому організація діяльності в цій сфері, державна підтримка і стимулювання КТ мають бути віднесені до пріоритетів державної політики.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проєктом Ф76/18-2018.

Література

1. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Дваденко. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
2. Алексієв В.О. Мехатроніка, телематика, синергетика у транспортних додатках / В.О. Алексієв, О.П. Алексієв, О.Я. Ніконов. – Харків: ХНАДУ, 2012. – 212 с.
3. Александров Є.Є. Основи автоматичні і танкові автоматичні системи / Є.Є. Александров, М.О. Кечев, О.Я. Ніконов. – Харків: НТУ «ХП», 2002. – 163 с.
4. Ніконов О.Я. Роботизированные автомобили: современные технологии и перспективы развития / О.Я. Ніконов, Т.О. Полосухина // Автомобиль и Электроника. Современные технологии. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – №5. – С. 38-42.
5. Jackson K.L. Architecting Cloud Computing Solutions: Build cloud strategies that align technology and economics while effectively managing risk / K.L. Jackson, S. Goessling. – Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2018. – 378 p.
6. Hinton G. A practical guide to training restricted Boltzmann machines / G. Hinton // Toronto: Machine Learning Group, University of Toronto. – 2010. – Tech. Rep. 2010-000.
7. Thakral S. Virtual Reality and M-Learning /S. Thakral, P. Manhas, C. Kumar // International Journal of Electronic Engineering Research. – 2010. – Vol. 2. – №5. – P. 659-661.
8. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to

- biology, control, and artificial intelligence / Holland J.H. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
9. Spooner J.T. Stable adaptive control and estimation for nonlinear systems: neural and fuzzy approximator techniques / J.T. Spooner. – New York: Wiley-Interscience, 2002. – 545 p.
 10. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search Optimizations and Machine Learning / Goldberg D.E. – Addison-Wesley, 1989. – 412 p.
 11. Shuliakov V. Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Regulators in the Controlled System by the Vehicle Suspension / V. Shuliakov, O. Nikonov, V. Fastovec // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems. – Vol.1, №3, 2015. – P. 66-72.
 12. Методи робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 744 с.

References

1. Synerhetychnyi avtomobil. Teoriia i praktyka / O.V. Bazhynov, O.P. Smurnov, S.A. Sierikov, V.Ya. Dvadenko. – Kharkiv: KhNADU, 2011. – 236 s. [in Ukrainian].
2. Aleksiiiev V.O. Mekhatronika, telematyka, synerhetyka u transportnykh dodatkakh / V.O. Aleksiiiev, O.P. Aleksiiiev, O.Ya. Nikonov. – Kharkiv: KhNADU, 2012. – 212 s. [in Ukrainian].
3. Aleksandrov Ye.Ye. Osnovy avtomatyky i tankovi avtomatychni systemy / Ye.Ye. Aleksandrov, M.O. Kechev, O.Ya. Nikonov. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2002. – 163 s. [in Ukrainian].
4. Nikonov O.Ya. Robotyzirovannyye avtomobyly: sovremennyye tekhnolohyy u perspektivy razvytyia / O.Ya. Nikonov, T.O. Polosukhyna // Avtomobil y Elektronika. Sovremennyye tekhnolohyy. – Kharkov: KhNADU, 2013. – №5. – S. 38-42. [in Russian].
5. Jackson K.L. Architecting Cloud Computing Solutions: Build cloud strategies that align technology and economics while effectively managing risk / K.L. Jackson, S. Goessling. – Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2018. – 378 p.
6. Hinton G. A practical guide to training restricted Boltzmann machines / G. Hinton // Toronto: Machine Learning Group, University of Toronto. – 2010. – Tech. Rep. 2010-000.
7. Thakral S. Virtual Reality and M-Learning /S. Thakral, P. Manhas, C. Kumar // International Journal of Electronic Engineering Research. – 2010. – Vol. 2. – №5. – P. 659-661.
8. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence / Holland J.H. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
9. Spooner J.T. Stable adaptive control and estimation for nonlinear systems: neural and fuzzy approximator techniques / J.T. Spooner. – New York: Wiley-Interscience, 2002. – 545 p.
10. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search

- Optimizations and Machine Learning / Goldberg D.E. – Addison-Wesley, 1989. – 412 p.
11. Shuliakov V. Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Regulators in the Controlled System by the Vehicle Suspension / V. Shuliakov, O. Nikonov, V. Fastovec // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems. – Vol.1, №3, 2015. – P. 66-72.
 12. Metodyi robastnoho, neuro-nchetkoho i adaptivnoho upravleniya / Pod red. N.D. Ehupova. – M.: Yzd-vo MHTU ym. Baumana, 2002. – 744 s. [in Russian].

Поступила (received) 29.06.2018 р.

Ніконов Олег Якович¹, професор, д.т.н., (057) 707-37-43, nikonov.oj@gmail.com
Аврамов Костянтин Віталійович², професор, д.т.н., (057) 349-47-83, kvavramov@gmail.com
Успенський Борис Валерійович², к.т.н., (057) 349-47-46, uspensky.kubes@gmail.com

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

²Інститут проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного НАН України (ІПМаш), м. Харків, вул. Дмитра Пожарського, 2/10,

Concept of vehicles development based on convergence of intellectual critical technologies

Abstract. Today, the scientific and technological sphere has become the main arena of competition of states in the world, and the possession of so-called «critical technologies» (CT) is used as one of the important instruments of geopolitics. Such technologies are crucial for expanding the capabilities of the state's defense capabilities and achieving the goals of national security, primarily military, military-economic and scientific and technological security. Selection of CT is used to determine the priorities of scientific and technological development of states and military-technical policy and are crucial for the process of creating promising weapons and military equipment. The purpose of the article is to analyze the main trends and approaches to the concept of vehicle development based on the convergence of intellectual critical technologies. For the effective development of vehicles it is necessary to use the technology of virtual reality, synergistic approach, evolutionary methods of modeling, methods of deep learning of artificial multilayer neural networks. Advanced technology allows you to reduce the cost of developing new models by reducing the number of real prototypes, each of which is created individually and requires significant costs. Despite all the disadvantages, improved methods of deep learning open up new opportunities for an effective analysis of large volumes of unstructured data. Companies that use deep training in their tasks will be able to get more accurate analytics results without having to spend a lot of time learning the system. The main tendencies and approaches to the concept of the development of vehicles on the basis of convergence of

intellectual critical technologies are analyzed. National CTs are of key importance for expanding capabilities of Ukraine and achieving the goals of national security, in particular, scientific and technological security.

Key words: *vehicles, information technologies, critical technologies, artificial intelligence, synergetic approach, evolutionary methods.*

Nikonov O. Ya.¹, professor, dr. eng. sc., nikonov.oj@gmail.com

Avramov K. V.², professor, dr. eng. sc., (057) 349-47-83, kvavramov@gmail.com,

Uspensky B. V.², cand. eng. sc., (057) 349-47-46, uspensky.kubes@gmail.com

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

²IPMach, Kharkiv, Dmitry Pozharsky str., 2/10.

Концепция разработки транспортных средств на основе конвергенции интеллектуальных критических технологий

Аннотация. Рассмотрена концепция разработки

транспортных средств на основе конвергенции интеллектуальных карточных технологий с использованием технологии виртуальной реальности, синергетического подхода, эволюционных методов моделирования, методов глубокого обучения искусственных многослойных нейронных сетей.

Ключевые слова: транспортные средства, информационные технологии, критические технологий, искусственный интеллект, синергетический подход, эволюционные методы.

Никонов Олег Яковлевич¹, профессор, д.т.н., (057) 707-37-43, nikonov.oj@gmail.com,

Аврамов Константин Витальевич², профессор, д.т.н., (057) 349-47-83, kvavramov@gmail.com,

Успенский Борис Валерьевич², к.т.н., (057) 349-47-46, uspensky.kubes@gmail.com,

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

²Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины (ИПМаш), г. Харьков, ул. Дмитрия Пожарского, 2/10.

СИСТЕМА ДОПОМОГИ ПРИ ОБГОНІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Сушков І. М.¹, Дзюбенко О. А.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Представлена система, що допомагає водію виконати безпечний маневр обгону великогабаритного транспортного засобу на двосмугових дорогах. Проведено аналіз ситуацій на дорогах України з огляду на великогабаритні транспортні засоби та аналітичний огляд існуючих систем допомоги при обгоні великогабаритних транспортних засобів, визначення їх переваг та недоліків. Розроблена структурна схема системи допомоги при обгоні вантажних автомобілів та алгоритм її роботи.

Ключові слова: радар, вантажний автомобіль, мікроконтролер, «прозорий» автомобіль, система допомоги, транспортний засіб, обгін, великогабаритні транспортні засоби.

Вступ

Вантажні автомобілі є одним з провідних транспортів за обсягом вантажоперевезень в Україні. Велика частина їх маршруту пролягає на двосмугових дорогах, де вони створюють труднощі для руху інших транспортних засобів.

По-перше, їх габарити обмежують видимість дороги, через що водієві важко вибрати безпечний момент для початку обгону. Перед початком обгону, водіям потрібно переконатися в можливості виконання безпечного маневру. Внаслідок чого, вони частково виїжджають на зустрічну смугу, для отримання інформації про дорожню обстановку. Такий маневр може стати причиною зіткнення із зустрічним автомобілем.

По-друге, довжина вантажного транспортного засобу може варіюватися від 12 м до 22 м, що вимагає більшого часу для здійснення обгону даного транспортного засобу. Водій може помилково припустити, що зможе обігнати транспортний засіб, або, під час здійснення обгону може з'явитися зустрічний автомобіль. Обидва варіанти можуть привести до аварійної ситуації на дорозі.

Ряд досліджень, в тому числі прогноз, представлений інститутом Prograns, свідчить, що через десять років загальний обсяг вантажоперевезень зросте як мінімум на 20 %. І розподіл за видами транспорту не зміниться: у 2025 р., як і сьогодні, 75 % вантажів продовжать перевозити по автомобільним дорогам. Відповідно кількість вантажних транспортних засобів на дорозі буде зростати [1].

Система допомоги обгону вантажного автомобіля допоможе знизити ризик зіткнення

із зустрічним автомобілем, при виконанні обгону вантажного транспортного засобу.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є розробка системи що підвищить безпеку дорожнього руху на двосмугових дорогах, за рахунок допомоги водіям виконати безпечний маневр обгону вантажного автомобіля.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: аналітичний огляд існуючих систем допомоги при обгоні великогабаритних транспортних засобів, визначення їх переваг та недоліків; аналіз датчиків, що використовуються для визначення швидкості рухомих об'єктів та відстані між ними; розробка структурної схеми системи допомоги при обгоні вантажних автомобілів та алгоритму її роботи.

Аналіз публікацій

На даний момент часу існує всього дві системи, які можуть допомогти водіям виконати безпечний обгін вантажного автомобіля (ВА), це розроблена португальськими вченими система «наскрізного бачення», та технологія «Safety track» (Безпечний вантажний транспорт) від компанії Samsung [2].

Робота системи наскрізного бачення побудована на безпроводному зв'язку ближнього радіусу дії (DSRC), за допомогою якої інформація в режимі реального часу передається на транспортний засіб, що рухається позаду, (рис 1).

На вантажному автомобілі, а саме на лобовому склі встановлена відеокамера, яка підк-

лючена до блоку управління. Процесор стискає зображення та формує сигнал для передачі по безпроводній мережі. Транспортні засоби, що рухаються позаду, приймають сигнал, обробляють його та проєктують на дисплей мультимедійної системи, або на прозорий рідкокристалічний дисплей, розташований на лобовому склі автомобіля. Водій бачить, що відбувається за транспортним засобом, що рухається попереду та може вибрати найбільш вдалий момент для обгону[3].



Рис. 1. Ефект «прозорості» транспортного засобу

Недоліками системи наскрізного бачення являються:

- помилки в роботі системи. Проблема полягає в можливій помилці комп'ютера, при обробці прийнятого та надісланого сигналу, яка тягне за собою надання невірної або викривленої інформації;

- затримка в передачі даних. Незважаючи на незначний інтервал затримки у 200 мс, переміщення автомобіля за цей час, при швидкості у 90 км/год, складе близько 10 м. Таким чином, водій транспортного засобу, що рухається позаду буде бачити не реальний зустрічний автомобіль, а його зображення на 10 м далі від дійсного [4].

Принцип роботи технології «Safety Truck», полягає в наступному. На передній бампер вантажного транспорту кріпляться дві безпроводні відеокамери, які проводять зйомку дорожньої ситуації попереду вантажного автомобіля. Та транслюють цей запис у режимі реального часу на відеостіну, яка розташована на задній частині вантажного автомобіля. Відеостіна дозволяє водіям, які рухаються за вантажним автомобілем, бачити дорожню обстановку попереду нього, тим самим створюється ефект «прозорості» вантажного автомобіля (рис. 2.).

Відеостіна складається з 4-х рідкокристалічних дисплеїв Samsung OH46D з діагоналлю у 46 дюймів. Дисплеї з'єднані між со-

бою, що дозволяє відображати отримане зображення з відеокамери у вигляді єдиної картини. Дисплеї серії OHD розраховані на експлуатацію в температурному діапазоні від -30 °C до 50 °C. Що дозволяє використовувати їх у будь яку пору року, без зниження ефективності їх роботи. Герметичність корпусу дисплеїв сертифіковано за стандартом IP56 міжнародної комісії з електротехніки (IEC). Даний сертифікат означає, що усі сигнальні та мережеві роз'єми захищені від впливу вологи та мають частковий захист від пилу. Загартоване скло та зміцнений корпус захищають дисплей від ударів, подряпин та інших механічних впливів.



Рис. 2. Вантажний автомобіль з впровадженою технологією «Safety Truck»

Технологія «Safety Truck» має наступні недоліки:

- велике енергоспоживання. Залежно від яскравості дисплеїв, вони здатні споживати від 193 Вт/год до 600 Вт/год, так як використовується 4 дисплея, то загальне енергоспоживання технології буде складати від 772 Вт/год до 2400 Вт/год;

- висока вартість. Вартість одного дисплея складає 23 тис. грн. З урахуванням того, що в технології використовується 4 дисплея, загальна вартість системи становитиме від 92 тис. грн, без урахування вартості відеокамери. Така сума обмежує технологію в її масовому застосуванні, а також вимагає істотних витрат на заміну дисплея, у разі виходу його з ладу [5].

З огляду цих двох систем, робимо висновок. Що для підвищення безпеки при виконанні маневру обгону ВА система, що розроблюється, повинна мати наступні параметри:

- низький рівень енергоспоживання. Живлення системи повинно здійснюватися від бортової мережі ВА, без зміни конструктивних

елементів системи електропостачання та використання додаткових акумуляторних батарей. Також, система не повинна надавати істотне навантаження на систему електропостачання транспортного засобу;

- великий радіус виявлення. Для зменшення ймовірності зіткнення із зустрічним транспортним засобом під час маневру обгону та надання більшого часу для виконання маневру обгону ВА водіям, що рухаються позаду, система повинна виявляти зустрічні транспортні засоби з мінімальним радіусом виявлення в 200 м;

- висока ступінь швидкодії. Затримка в передачі або відображенні інформації, про дорожню ситуацію попереду ВА, призведе в наданні помилкової інформації водіям, що рухаються позаду. Це пов'язано з тим, що транспортний засіб, що рухається по зустрічній смузі, може перебувати набагато ближче, ніж повідомляє про це система. Внаслідок некоректної роботи системи, ця затримка може призвести до аварійної ситуації

Структурна схема системи

Система допомоги водію при обгоні ВА складається з пристрою вимірювання відстані, елемента обробки сигналу та системного контролю (мікроконтролер), датчика швидкості ВА, пристрою виведення даних. Запропонована структурна схема представлена на рисунку 3.

Пристрій вимірювання відстані призначений для виявлення об'єктів що знаходяться попереду ВА та визначення відстані до них.

Відповідно до цього він повинен мати велику дальність виявлення, високу ступінь швидкодії та стійкість до зміни погодних умов.

Мікроконтролер по закладеному алгоритму визначає момент часу, коли транспортний засіб, що рухається позаду, може виконати безпечний обгінний маневр даного ВА та передає його на пристрій виведення даних. Цей момент часу визначається за рахунок інформації отриманої від датчика вимірювання відстані та датчика швидкості ВА.

Датчик швидкості ВА забезпечує мікроконтролер інформацією про поточну швидкість ВА, яка необхідна в розрахунках для визначення часу початку безпечного обгону.

Пристрій виведення даних відображає інформацію про дозвіл/заборону обгону даного ВА, отриману від мікроконтролера. Інформація, яка передається від мікроконтролера, повинна відображатися, так, щоб вона була помітна у будь-який час доби та за будь-яких погодних умов. Також, спосіб виведення інформації повинен бути зрозумілим та інформативним, для всіх учасників дорожнього руху.

Опис обраних компонентів системи

В якості вимірювального пристрою використовується радар, а саме радар Delphi ESR 2.5. Тому що, радари мають високу ступінь швидкодії та точність вимірювання, володіють стійкістю до зміни погодних умов, мають великий діапазон виявлення (від 20 м до 300 м). Радар Delphi ESR 2.5 являє собою мультимодальний скануючий пристрій, який

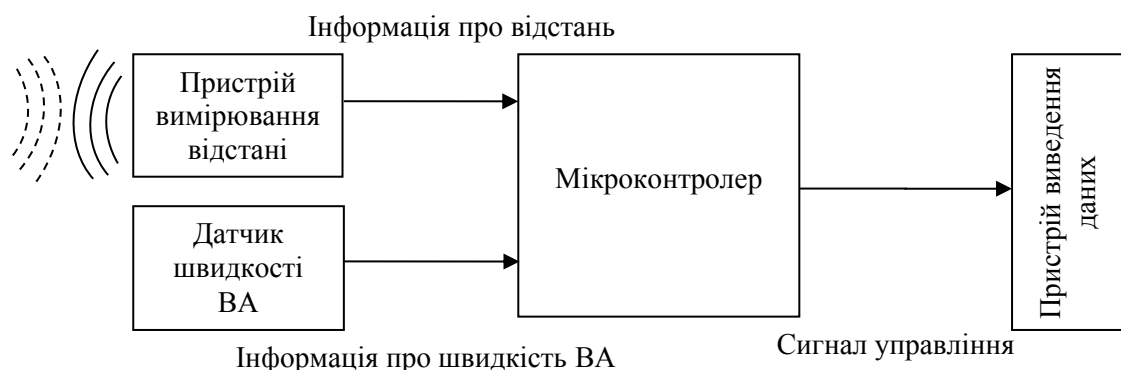


Рис. 3. Схема структурна, системи допомоги при обгоні вантажного автомобіля

включає в себе властивості радара середньої та дальньої дії (рис. 4). У своїй основі він має два діапазони виявлення, дальньої та середньої дії. З діапазоном дальньої дії, радар здатен виявляти об'єкти на відстані у 200 м, з ку-

том огляду 20°. У той час як діапазон середньої дії дозволяє виявляти об'єкти на відстані в 60 м, з кутом огляду 90°. Використання таких діапазонів дозволяє отримати інформацію про дорожню обстановку як, по зустрічній смузі, так і по путній [6].

Для обчислення безпечного моменту обгону вантажного автомобіля та керуванням системою в цілому, був обраний мікроконтролер STM32L476JG від STMicroelectronics. Тому що, він має високу ступінь швидкодії (за

рахунок тактової частоти у 80 МГц), великі об'єми пам'яті (оперативна пам'ять у 128 Кбайт та флеш пам'ять 512 Кбайт), наявність мережевого протоколу CAN та низьку ціну (вартість становить 5\$) [7].

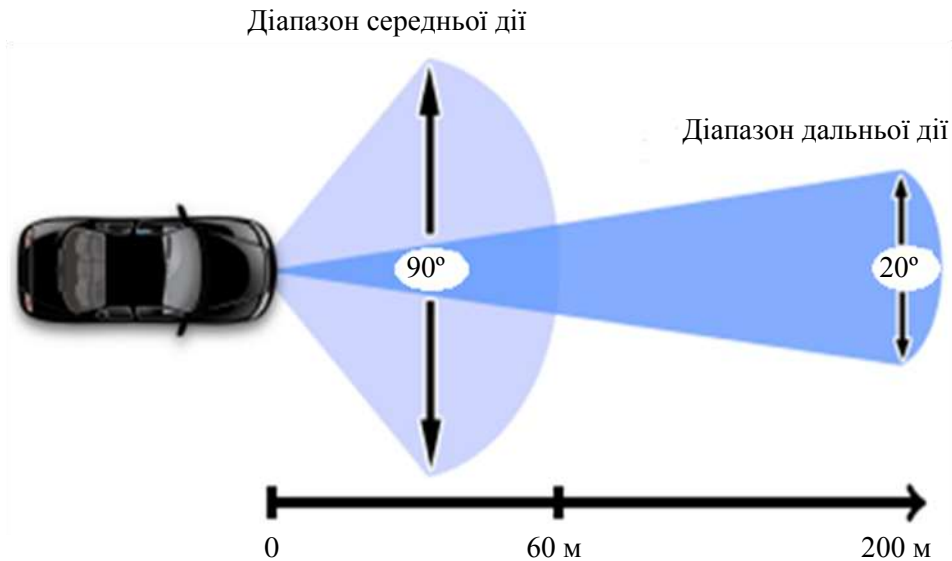


Рис. 4. Діапазони виявлення радара ESR 2.5

Для відображення інформації про дозвіл/заборону на виконання маневру обгону ВА був обраний світлодіодний знак. Світлодіодні знаки – знаки дорожнього руху зі світловою індикацією, (рис.5). Мають міцну конструкцію, тому що виготовляються з оцинкованої сталі в цілісному корпусі. Дозволяють змінювати інформацію на щиті в залежності від часу доби та погодних умов. Мають відмінну видимість в нічний час доби, туманну погоду, та їх легко виявити на відстані максимальної видимості для даної ділянки дороги – за рахунок застосування світлодіодів. Електроживлення підводиться від автомобільного акумулятора напругою 12 В [8].

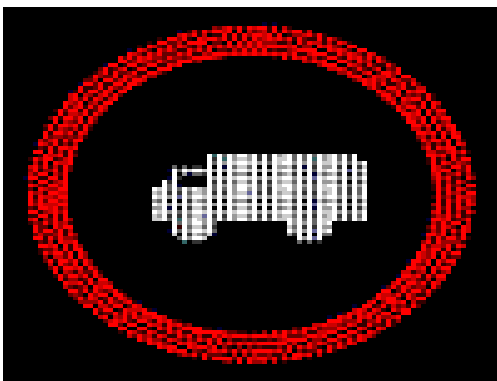


Рис. 5. Світлодіодний знак який забороняє рух вантажного транспорту

Алгоритм роботи системи

Система допомоги при обгоні ВА працює за наступним алгоритмом:

- перевірка зв'язку та справності компонентів системи;
- запит інформації про швидкість ВА від датчика швидкості;
- визначення положення ВА (рухається чи стоїть на місці);
- якщо стоїть, повторний запит інформації від датчика швидкості;
- якщо рухається, подача команди до радара на початок вимірювання;
- запит інформації про відстань та швидкість від радара;
- визначення часу зближення;
- ідентифікація виявлених об'єктів;
- визначення часу, необхідного для обгону даного ВА;
- визначення можливості безпечного обгону, на основі проведених обчислень;
- передача інформації від мікроконтролера до світлодіодного знака про дозвіл/заборону виконання обгону ВА;
- відображення отриманої інформації світлодіодним знаком.

Так як, у своєму пристрої радар має власний мікроконтролер, то саме він обчислює швидкість зближення з виявленим об'єктом. Це відбувається шляхом порівняння та знаходження різниці, між значеннями про відстані, з часовим інтервалом порівняння $t_{zm} = 50$ мс (швидкість оновлення вимірів радаром)

$$\Delta S = S_1 - S_2, \quad (1)$$

де S_1 – відстань до об'єкта, м;

S_2 – відстань до об'єкта, через 50 мс, м.

Знаючи відстань, яку пройшли виявлений об'єкт та ВА, та час, протягом якого ця відстань була пройдена, згідно із законом руху, визначається швидкість зближення з виявленим об'єктом

$$V_{зб} = \Delta S / t_{зм}. \quad (2)$$

Отримане значення швидкості передається до мікроконтролеру STM.

Згідно із законом руху мікроконтролер визначає час зближення, час через який відстань між ВА та виявленим об'єктом буде дорівнювати нулю

$$t_{зб} = S / V_{зб}, \quad (3)$$

де S – відстань до виявленого об'єкту, м.

Так як радар не здатен ідентифікувати виявлені об'єкти, а лише передає інформацію про відстань до них та їх швидкість, то в його робочий діапазон потраплятимуть такі об'єкти як: попутні та зустрічні транспортні засоби, дорожні знаки, дерева, куші та ін.

Щоб вилучити різноманітні нерухомі об'єкти, та визначити який з транспортних засобів рухається назустріч, а який попутно, ідентифікація ґрунтується на інформації про швидкість зближення з об'єктом.

Якщо швидкість зближення з об'єктом дорівнює швидкості ВА, яку система отримує від датчика швидкості, то об'єкт ідентифікується системою як «нерухомий». Якщо швидкість зближення з об'єктом становить, або ж перевищує більше ніж на 100 км/год, то об'єкт ідентифікується системою як «зустрічний транспортний засіб». Якщо швидкість зближення з об'єктом перебуває в межах від 0 до 20 км/год, або в іншому випадку, швидкість віддалення об'єкта знаходиться в межах від 0 до 20 км/год, то об'єкт ідентифікується системою як «попутний транспортний засіб».

Час, необхідний для обгону ВА, визначається наступним чином

$$t_{обг} = S_{обг} / 0,28 \times V_p, \quad (4)$$

де $S_{обг}$ – відстань, яку треба подолати, щоб обігнати ВА, м;

V_p – різниця в швидкості, між рухомими транспортними засобами, м/с.

Момент для початку виконання безпечного обгону великогабаритного транспортного засобу мікроконтролер визначає на основі двох критеріїв:

- безпечний виїзд на зустрічну смугу. Цей критерій заснований на різниці між часом до зближення із зустрічним транспортним засобом та часом необхідним для обгону ВА. Якщо воно перевищує 5 с, тоді система визначає критерій як «задовільний». В іншому випадку, система визначає його як «незадовільний». Оскільки час, необхідний для виконання безпечного обгону, є недостатнім, що загрожує зіткненням із зустрічним транспортним засобом;

- можливість повернення на свою смугу. Цей критерій заснований на відстані між ВА та попутним транспортним засобом. Якщо воно складає, або перевищує 25 м, тоді система визначає критерій як «задовільний». В іншому випадку, система визначає його як «незадовільний». Оскільки місце, яке необхідне для повернення на свою смугу з дотриманням безпечного інтервалу між транспортними засобами, є недостатнім, що загрожує зіткненням з попутним транспортним засобом.

За умови, що два критерії є «задовільними», система розцінює це як можливість виконання безпечного маневру обгону та на світлодіодному знаку відображається сигнал про можливість початку обгону. Якщо ж один з критеріїв є «незадовільним», то система оцінює дану ситуацію як можливість зіткнення двох транспортних засобів і на світлодіодному знаку відображається сигнал попередження про небезпеку виконання маневру обгону.

Висновки

Проведено аналіз існуючих систем, що допомагають водію виконати безпечний обгін великогабаритного транспортного засобу.

Приведена схема та опис компонентів системи допомоги водію при обгоні великогабаритного транспортного засобу.

Вперше описано алгоритм роботи системи допомоги водію при обгоні великогабаритного транспортного засобу. До цього часу в існуючих системах допомоги при обгоні вантажних автомобілів алгоритм не був прописаний.

Література

1. Международные перевозки «Автономная езда: на календаре – 2025 год» / Матеріали сайту – 2014. – Режим доступу: http://transler.ru/content/arxiv_perevozhic/perevo

- zhik_14/perevozhik_147/Mezhdunarodnye_perevozki_Avtonomnaya_ezda-na_kalendare_%E2%80%93_2025_god
2. Система сквозного видения. / Материалы сайта – 2015. – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/another/see-through-system.html>.
 3. Car to Car Communication System. / Материалы сайта – 2014. – Режим доступа: <https://www.engineersgarage.com/contribution/car-to-car-communication-system>
 4. Samsung представила первый грузовик с технологией безопасного обгона. / Материалы сайта – 2016. – Режим доступа: <https://news.samsung.com/ru/samsung-%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0>.
 5. Presentación “SAFETY TRUCK”. / Материалы сайта – 2015. – Режим доступа: <http://www.helvetica.com.ar/novedades/item/19-safety-truck>.
 6. Delphi Automotive Systems. Delphi ESR Datasheet, 2011. Available at <http://delphi.com>.
 7. Крылов Е. Н. STM32—32-разрядные микроконтроллеры. / Материалы сайта – 2008. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/stm32-32-razryadnye-mikrokontrollery-na-osnove-yadra-arm-cortex-m3>.
 8. Н. И. Вуколов, А. Н. Михайлов. Знакосинтезирующие индикаторы / под ред. В. П. Балашова. - М.: Радио и связь, 1987. – 592 с.

References

1. Mezhdunarodnye perezovki «Avtonomnaya yezda: na kalendare – 2025 god» [International transportation Autonomous riding: on the calendar – 2025.] Available at: http://transler.ru/content/arxiv_perevozhic/perevozhik_14/perevozhik_147/Mezhdunarodnye_perevozki_Avtonomnaya_ezda-na_kalendare_%E2%80%93_2025_god (accessed 1 March 2014).
2. Sistema skvoznogo videniya [See through system.] Available at: <http://systemsauto.ru/another/see-through-system.html> (accessed 4 February 2017).
3. Car to Car Communication System. Available at: <https://www.engineersgarage.com/contribution/car-to-car-communication-system> (accessed 15 May 2014).
4. Samsung predstavila pervyyu gruzovik s tekhnologiyey bezopasnogo obgona. [Samsung introduced the first truck with safe overtaking technology.] Available at: <https://news.samsung.com/ru/samsung-%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0> (accessed 8 February 2016).
5. Presentación “SAFETY TRUCK” [Presentation "SAFETY TRUCK".] <http://www.helvetica.com.ar/novedades/item/19-safety-truck> (accessed 2 February 2016).

6. Delphi Automotive Systems. Delphi ESR Datasheet, 2011. Available at <http://delphi.com> (accessed 1 March 2011).
7. Krylov Ye. N. STM32—32-razryadnyye mikrokontrollery. [Krylov E.N. STM32-32-bit microcontrollers.] Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/stm32-32-razryadnye-mikrokontrollery-na-osnove-yadra-arm-cortex-m3> (accessed 23 August 2008).
8. N. I. Vukolov, A. N. Mikhaylov. Znakosinteziruyushchiye indicatory [Sign synthesizing indicators] // pod red. V. P. Balashova. M.: Radio i svyaz', 1987. – 592 s.

Сушков Игорь Николаевич¹, студент, +380950694553, z207syhoi@gmail.com,
Дзюбенко Олександр Андрійович¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Система помощи при обгоне грузовых автомобилей

Аннотация. Представлена система, которая помогает водителю выполнить безопасный маневр обгона крупногабаритного транспортного средства на двухполосных дорогах. Проведен анализ ситуаций на дорогах Украины, учитывая крупногабаритные транспортные средства и аналитический обзор существующих систем помощи при обгоне крупногабаритных транспортных средств, определения их преимуществ и недостатков. Разработана структурная схема системы помощи при обгоне грузовых автомобилей и алгоритм её работы.

Ключевые слова: радар, грузовой автомобиль, микроконтроллер, «прозрачный» автомобиль, система помощи, транспортное средство, обгон, крупногабаритные транспортные средства.

Сушков Игорь Николаевич¹, студент, +380950694553, z207syhoi@gmail.com,
Дзюбенко Александр Андреевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Help system in the overtaking of trucks

Abstract. Problem. Trucks occupy a leading position in terms of the volume of transported cargo among other types of transport, they account for about 75% of freight traffic. When trucks are driving on two-lane roads, they create difficulties for the movement of other vehicles which are moving behind. This is due to the fact that with its large dimensions trucks obstruct the view of the road to drivers who are moving behind. Also, due to their length, the driver needs more time to perform the overtaking maneuver, so they move for a long time in the oncoming lane. As a result, drivers

may encounter an oncoming car during the overtaking of the truck. **Goal.** Creating a system that will help drivers to perform a safe maneuver overtaking a truck on two-lane roads and prevent a collision of oncoming cars during this maneuver. **Methodology.** The analytical method is research of existing systems that can help the driver to perform a safe overtaking maneuver. The method of synthesis is creation the structural scheme of a new system, based on the advantages and disadvantages of analyzed systems. **Result.** The analysis of the work and the principle of the existing systems can help the driver to perform a safe maneuver overtaking a truck. A system which is based on the use of a radar of medium and long range detection is presented, described a block diagram of the system and its components is presented. The system operation algorithm, according to which the system can determine the safest moment for executing a truck overtaking, is described. **Original.** The developed system is able to work in any weather conditions, time of day and in any

temperature ranges. It has the ability to be applied in mass use, it has a higher degree of reliability due to the use of radar. **Practical value.** The developed system can be installed on any large vehicle and thereby improve traffic safety on two lanes, by reducing the chance of colliding oncoming cars at the time of overtaking a large vehicle.

Key words: radar, truck, microcontroller, "transparent" car, assistance system, vehicle, overtaking, large vehicles.

Sushkov Igor¹, student, +380950694553, z207syhoi@gmail.com

Dziubenko Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

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

ПОХИБКИ ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Гнатів А. В.¹, Аргун Ш. В.¹, Дзюбенко О. А.¹,
Тарасова В. В.², Новіченок С. М.² Войт О. В.²,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба

***Анотація.** Основними показниками, що характеризують ефективність інформаційно-виміральної техніки в системі обліку, є точність подання вимірювальної інформації та її достовірність. Проведено оцінку похибки вимірювальних трансформаторів різних класів точності. Сформульовано рекомендації по вибору вимірювальних трансформаторів, а також зазначені основні шляхи зменшення похибок.*

***Ключові слова:** трансформатори струму, трансформатори напруги, лічильники, облік електричної енергії, похибки, вимірювальні трансформатори.*

Вступ

Потреби людства в електроенергії збільшуються з кожним роком. Це потребує не тільки збільшення генерації електроенергії, зменшення її втрат на всьому шляху до споживача, що само по собі є важливою задачею [1-3]. Необхідно також постійно проводити облік спожитої енергії. Основними показниками, що характеризують ефективність інформаційно-виміральної техніки в системі обліку, є точність подання вимірювальної інформації та її достовірність. На додаток до класичного підходу і, відповідно до об'єкта, що розглядається, процес отримання достовірної інформації повинен бути автоматизований, щоб забезпечити одночасність надання вимірювальної інформації, яка суттєво впливає на результат вимірювання. Зазначені показники визначаються в системі обліку електроенергії принципами організації вимірювань, якістю системи обліку (тобто похибками вимірювальних приладів) [4-7].

Аналіз публікацій

У більшості споживачів, особливо побутових облік енергії ведеться з використанням лічильників, в більшості випадків - індукційних. Вони мають достатню кількість недоліків, але дуже дешеві та прості в експлуатації [6-11]. Але в колах змінного струму при високих напругах або значних струмах, коли вимірювальні прилади чи пристрої релейного захисту та автоматики нераціонально або небезпечно під-

ключати в первинні кола, використовують вимірювальні трансформатори. До вимірювальних трансформаторів відносяться трансформатори струму та напруги [12-15].

Вимірювальні трансформатори складаються з магнітопроводу, зібраного з листової або полосової сталі, та двох обмоток: первинної та вторинної. Трансформатори напруги підключаються в електричні кола паралельно. До вторинної обмотки підключають вольтметри та обмотки напруги інших приладів, також паралельно (рис.1). Ізоляція первинної обмотки виконана на напругу мережі. Номінальна напруга вторинної обмотки 100 В. (Іноді – 100/ $\sqrt{3}$ В). Первинна та вторинна обмотки виконані проводом невеликого перерізу, оскільки струми в них незначні. Діаметр проводу вибирають, як правило, за механічною міцністю. Режим роботи трансформатора близький до режиму роботи холостого ходу.

Трансформатори струму підключають в електричну мережу послідовно. До вторинної обмотки трансформаторів, послідовно з нею, підключають амперметри, струмові обмотки вимірювальних приладів та реле [13, 16].

Провід первинної обмотки вибирається за струмами первинних кіл, а ізоляція – за їхньою напругою. Номінальний струм вторинної обмотки 5 А, інколи 1 А. Оскільки опір обмоток приладів, підключених до трансформатора струму, незначний, трансформатор працює в режимі, близькому до короткого замикання. Напруга на затискачах вторинної обмотки

складає одиниці вольтів. При розмиканні вторинної обмотки напруга на ній зростає до ти-

сячі вольтів. Тому забороняється, навіть короткочасно, розмикати кола вторинної обмотки [16, 17].

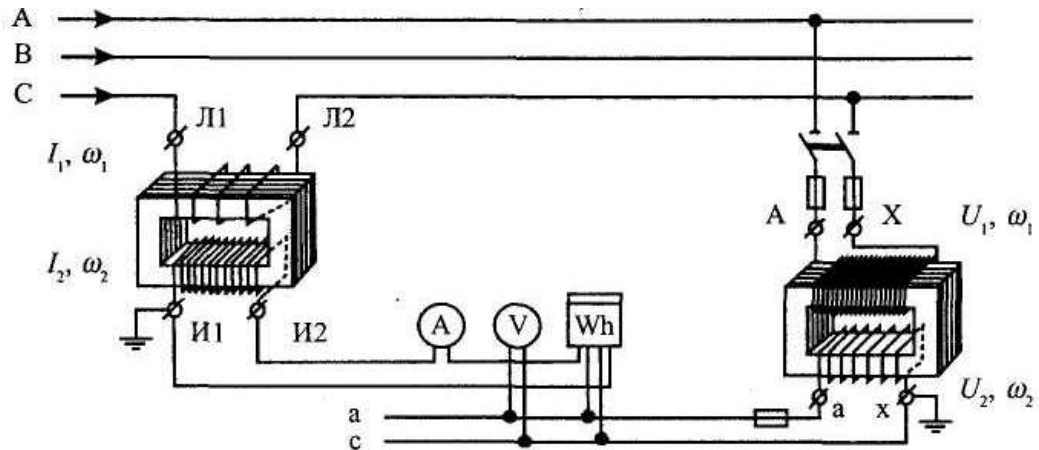


Рис. 1. Схема підключення трансформаторів струму та напруги в електричну мережу

Схема підключення лічильника електроенергії через вимірювальні трансформатори приведена на рис. 2.

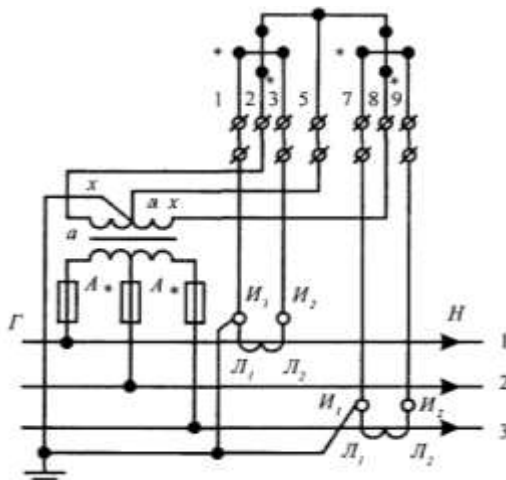


Рис. 2. Схема підключення лічильника електроенергії через вимірювальні трансформатори

Мета роботи

Мета даної роботи – оцінити похибки вимірювальних трансформаторів різних класів точності, сформулювати рекомендації по вибору вимірювальних трансформаторів різних класів точності, а також намітити шляхи зменшення похибок.

Похибки

Похибки лічильника залежать від ряду причин: сухого тертя, нелінійності магнітних потоків від струму навантаження і напруги, температурного впливу, впливу компенсуючого моменту, $\cos \varphi$, втрат на гістерезис і вихрові

струми, частоти і т.п. Основні причини, що викликають похибки лічильника, є систематичними, тому криві похибок усіх лічильників мають визначену закономірність.

Розрізняють дійсну K_d і номінальну K_n постійні лічильника. Дійсна постійна дорівнює:

$$K_d = \frac{Pt}{N}. \quad (1)$$

Номінальна постійна лічильника визначається за паспортними даними лічильника, зазначеними на його щитку. Наприклад, якщо на щитку зазначено: «1 кВт·год = 2500 обертів». Тоді номінальна постійна K_n лічильника дорівнює:

$$K_n = \frac{1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}}{2500 \text{ об}} = 1440 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}}.$$

Лічильник електричної енергії, як і всякий вимірювальний прилад, має похибку. Похибка виміру лічильника β визначається відношенням:

$$\beta = \frac{W_x - W}{W} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де W_x – значення енергії, відлічене по даних лічильника;

W – дійсно витрачена енергія за той же час (енергія, дійсно витрачена в колі, визначається при перевірці лічильника за допомогою зразкового ватметра і секундоміра: $W = Pt$).

Величина, яка чисельно дорівнює енергії,

дійсно витраченій за один оберт диска лічильника, є дійсною постійною K_d лічильника.

Знаючи номінальну K_n і дійсну K_d , постійні лічильника, його відносну похибку можна визначити інакше:

$$\beta = \frac{W_x - W}{W} \cdot 100\% = \frac{K_n N - K_d N}{K_d N} 100\% = \frac{K_n - K_d}{K_d} 100\% \quad (3)$$

Для визначення величини похибок трансформатора напруги проаналізуємо векторну діаграму трансформатора (рис.3). Умовний напрям електричних величин в трансформаторі напруги вказаний на рис. 4.

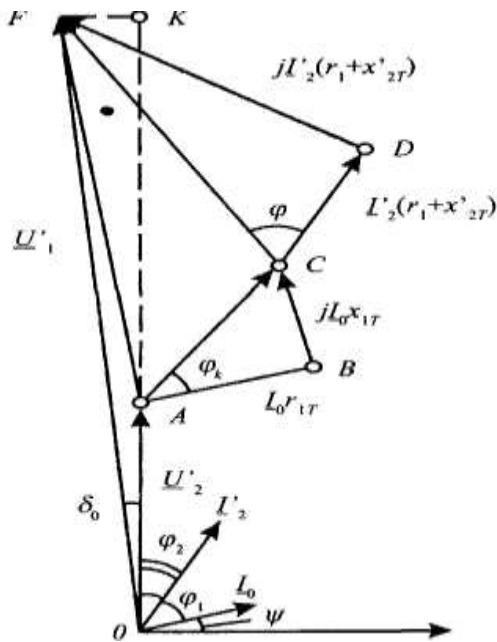


Рис. 3. Векторна діаграма трансформатора напруги

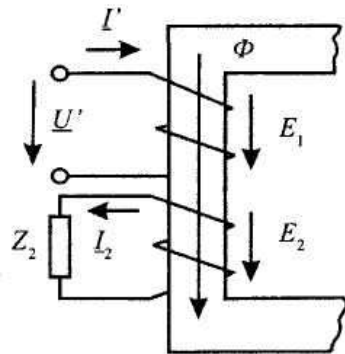


Рис.4. Умовний напрям електричних величин в трансформаторі напруги

На рисунках введені такі позначення: $U_{1ном}$,

$U_{2ном}$ - номінальні первинна та вторинна напруги; U_1 - первинна напруга мережі; δ_0 - кут похибка; I_0 - струм намагнічування; I_1 - первинний струм; I_2 - вторинний струм (струм навантаження); r_{1T} , r_{2T} - активні опори первинної та вторинної обмоток; x_{1T} , x_{2T} - реактивні опори обмоток трансформатора; U_2 - вторинна напруга; φ_2 - кут зсуву фаз між U_2 та I_2 ; φ_k - кут зсуву фаз внаслідок активних та реактивних опорів обмоток; ψ - кут втрат.

Тоді згідно [13-16] можна записати похибку по напрузі у виді:

$$\Delta U\% = \frac{AF}{OF} 100\% = - \left[\frac{I_0(r_{1T} \sin \psi + x_{1T} \cos \psi)}{U_1} + \frac{I_2[(r_{1T} + r_{2T}) \cos \varphi_2 + (x_{1T} + x_{2T}) \sin \varphi_2]}{U_1} \right] \times 100\% \quad (4)$$

або у виді

$$\Delta U\% = \Delta U_X 100\% + \Delta U_H 100\% \quad (5)$$

де ΔU_X - похибка по напрузі, зумовлена струмом холостого ходу;

ΔU_H - похибка по напрузі, зумовлена струмом навантаження.

Похибка по напрузі, зумовлена струмом холостого ходу, визначається як

$$\Delta U_X\% = -(U_{a1}\% \cdot i_A + U_{p1}\% \cdot i_P) \quad (6)$$

де $i_A = \frac{I_0}{I_1} \cos \psi$ - активна складова струму намагнічування;

$i_P = \frac{I_0}{I_1} \sin \psi$ - реактивна складова струму намагнічування.

Активна складова падіння напруги на первинній обмотці дорівнює:

$$U_{a1}\% = \frac{I_1 r_{1T}}{U_{1ном}} 100\% \quad (7)$$

Реактивна складова падіння напруги на первинній обмотці дорівнює:

$$U_{p1}\% = \frac{I_1 x_{1T}}{U_{\text{НОМ}}} 100\% \quad (8)$$

Похибка по напрузі, зумовлена струмом навантаження, визначається як:

$$\Delta U_H\% = -(U_a\% \cos \varphi_2 + U_p\% \sin \varphi_2), \quad (9)$$

де позначено:

$$U_a\% = U_{a1}\% + U_{a2}\% = \frac{I_1 r_{1T} + I_2 r_{2T}}{U_{\text{НОМ}}} 100\%; \quad (10)$$

$$U_p\% = U_{p1}\% + U_{p2}\% = \frac{I_1 x_{1T} + I_2 x_{2T}}{U_{\text{НОМ}}} 100\%. \quad (11)$$

Кутова похибка, згідно [13-16], визначається у виді:

$$\delta = \frac{3440}{U_1} \times \left(I_0 (r_{1T} \cos \psi - x_{1T} \sin \psi) + I_2 [(r_{1T} + r_{2T}) \sin \varphi_2 - (x_{1T} + x_{2T}) \cos \varphi_2] \right) = \delta_X + \delta_H \quad (12)$$

де $\delta_X = \frac{3440}{100} (U_{a1}\% \cdot i_p + U_{p1}\% \cdot i_a)$ – кутова похибка, зумовлена струмом холостого ходу;

$\delta_H = \frac{3440}{100} (U_a\% \sin \varphi_2 - U_p\% \cos \varphi_2)$ – кутова похибка, зумовлена струмом навантаження.

Паспортні значення похибки трансформатора напруги гарантуються при змінах первинної напруги в межах $(0,8 \dots 1,2) U_{\text{НОМ}}$, значенні $\cos \varphi_H = 0,8$ та змінах потужності навантаження в межах $(0,25 \dots 1,0) S_{\text{НОМ}}$.

Похибка по напрузі чисельно відповідає класу точності трансформатора, тобто:

– при класі точності 0,5 – похибка по напрузі $\Delta U = 0,5\%$;

– при класі точності 1,0 – похибка $\Delta U = 1,0\%$;

– при класі точності 3,0 – похибка $\Delta U = 3,0\%$.

Кутова похибка для класу трансформаторів 0,5 – дорівнює 20 кутових хвилин; для класу 1,0 – 40 кутових хвилин. У трансформаторах класу 3,0 кутова похибка не нормується [13-18].

Трансформатори напруги вибирають таким

чином, щоб похибки вимірювання звести до мінімуму. Підбирають їх за номінальними параметрами первинного кола, класом точності та схемою з'єднання обмоток. Фактичне навантаження приладів має відповідати номінальному навантаженню вторинного кола при вибраному класі точності.

Втрати напруги в з'єднувальних проводах не повинні перевищувати $0,5\% U_{\text{НОМ}}$.

Для визначення похибки трансформаторів струму розглянемо їх векторну діаграму (рис. 5).

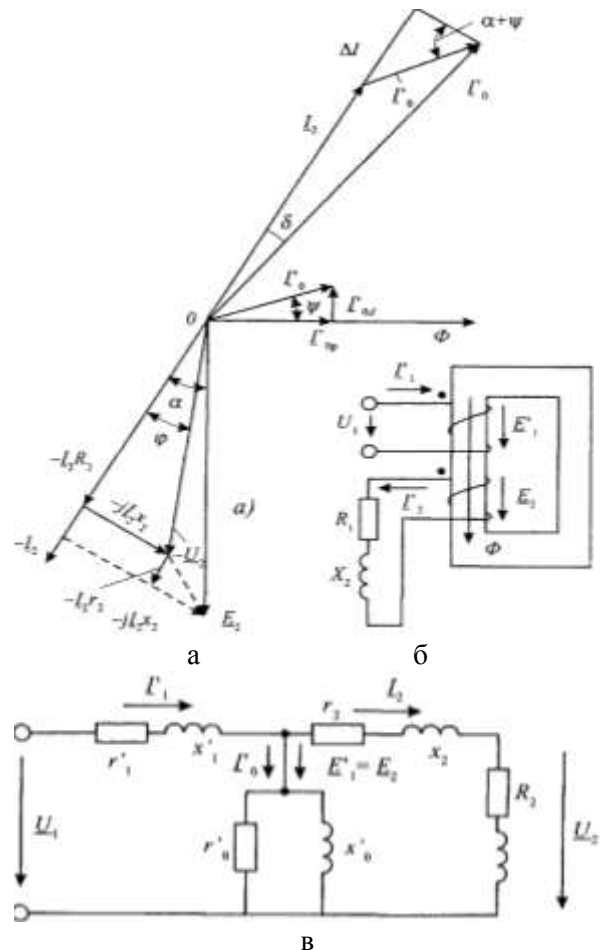


Рис. 5 – Трансформатор струму:
а – векторна діаграма трансформатора струму;
б – умовний напрям електричних величин;
в – схема заміщення трансформатора

Позначення електричних величин на діаграмі: I_1 – первинний струм; I_2 – вторинний струм; E_2 – ЕРС вторинної обмотки; r_{2T} – активний опір вторинної обмотки; x_{2T} – реактивний опір вторинної обмотки; R_2 – активний опір навантаження; X_2 – реактивний опір навантаження; Z_2 – повний опір навантаження; $Z_{вт}$ – повний опір вторинної обмотки; α – кут між ЕРС вторинної обмотки та вторинним струмом; ψ – кут втрат магнітопроводу; δ – кутова

похибка; φ – кут зсуву фаз між струмом I_2 та напругою U_2 ; ΔI – струмова похибка.

Струмова похибка визначається у виді:

$$\Delta I\% = \frac{K_{\text{НОМ}} I_2 - I_1}{I_1} 100. \quad (13)$$

При найбільшій похибці ($\Delta I\% < 10\%$):

$$\Delta I\% = \frac{I_0}{I_1} \sin(\alpha + \psi) 100. \quad (14)$$

Кутова похибка трансформатора струму – кут між векторами первинного та вторинного струмів. Кутова похибка вимірюється в кутових хвилинах або сантирадianaх і вважається позитивною, якщо вектор вторинного струму випереджає вектор первинного струму. Величина кутової похибки визначається у виді:

$$\Delta I\% = 3440 \frac{I_0}{I_1} \sin(\alpha + \psi) 100. \quad (15)$$

Повна похибка $\varepsilon\%$ трансформатора струму в нормальному режимі

$$\varepsilon\% = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_{\text{НОМ}} i_2 - i_1)^2 dt}. \quad (16)$$

де i_1, i_2 – значення первинного та вторинного струмів.

Струмовою та кутовою похибками користуються в номінальному режимі роботи трансформатора. При КЗ мережі застосовується повна похибка $\varepsilon\%$, що дорівнює відношенню струму намагнічування I_0 до первинного струму I_1 :

$$\varepsilon\% = \frac{I_0}{I_1} 100\%. \quad (17)$$

Струмова похибка менша за повну: $\Delta I\% < \varepsilon\%$.

Вторинним навантаженням трансформаторів струму є повний опір (в Омaх) зовнішніх кіл, або повна потужність (у Вольт-Амперах). Номінальне вторинне навантаження – це значення вторинного навантаження з $\cos \varphi = 0,8$, при якому трансформатору гарантується клас точності.

Гранична кратність K_5 або K_{10} – найбільше відношення первинного струму до його номінального значення, при якому повна похибка не перевищує відповідно 5% або 10% при заданому значенні вторинного навантаження.

Номінальна гранична кратність $K_{5 \text{ ном}}$ або $K_{10 \text{ ном}}$ – це гарантована гранична кратність при номінальному вторинному навантаженні.

Гранично допустимі похибки для релейного захисту:

1) При класі 5P: $\Delta I = +1\%$; $\delta = +60$ мін; $\varepsilon = 5\%$;

2) При класі 10P: $\Delta I = +3\%$; $\varepsilon = 10\%$.

Трансформатори струму не розраховані на роботу зі значним перевантаженням. Найбільші допустимі первинні струми трансформаторів струму приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Найбільші допустимі первинні струми трансформаторів струму

$I_{\text{НОМ}}, \text{A}$	1	5	10	15	20	30	40	50	75	80	100	150	200	300
$I_{\text{МАКС}}, \text{A}$	1	5	10	16	20	32	40	50	80	80	100	160	200	250

$I_{\text{НОМ}}, \text{A}$	300	400	500	600	750	800	1000	1200	1500	2000	3000
$I_{\text{МАКС}}, \text{A}$	320	400	500	630	800	800	1000	1250	1600	2000	3200

Промисловість випускає трансформатори струму на первинний струм до 40 кА. Для трансформаторів напругою до 0,66 кВ випробувальна одно-хвилинна напруга становить для первинної обмотки 3 кВ, для вторинної – 2 кВ.

Похибка трансформатора струму залежить від його завантаження.

Зменшити похибку можна такими методами [13-19]:

– збільшенням первинної магніторушійної сили;

– збільшенням площі поперечного перерізу магнітопроводу, що призводить до зменшення

індукції і магніторушійної сили $I_0 W_1$;

– зменшенням середньої довжини шляху потоку по магнітопроводу;

– застосуванням матеріалів для магнітопроводу з високим значенням магнітної проникності та малим кутом втрат ψ ;

– шляхом зміщення положення робочої точки на кривій намагнічування;

– застосуванням короткозамкненого витка, що зменшує кутову похибку.

В табл. 2 приведені граничні значення похибки трансформаторів струму [13-19].

Таблиця 2 – Граничні значення похибки трансформаторів струму

Клас точності	Первинний струм, % від номінального	Граничне значення похибки			Вторинне навантаження, % від номінального
		Струмова, %	Кутова		
			Хв	10 ⁻² , рад	
0,2	5	+0,75	+30	+0,9	25 – 100
	10	+0,50	+20	+0,6	
	20	+0,25	+15	+0,45	
	100-120	+0,20	+10	+0,3	
0,5	5	+1,5	+90	+2,7	25 – 100
	10	+1,0	+60	+1,8	
	20	+0,75	+45	+1,336	
	100-120	+0,5	+30	+0,9	
1	5	+3,0	+180	+5,4	25 – 100
	10	+2,0	+120	+3,6	
	20	+1,5	+90	+2,7	
	100-120	+1,0	+60	+1,8	
3	50 - 120	+3,0			50 – 100
5	50 - 120	+5,0			50 – 100
10	50 - 120	+10			50 - 100

Методика вибору трансформаторів струму направлена на зменшення похибки. При цьому необхідно звернути увагу на наступні факти.

1. Номінальна напруга трансформатора:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НМЕР}},$$

де $U_{\text{НМЕР}}$ – номінальна напруга мережі.

2. Частота струму має відповідати частоті мережі. Для трансформаторів з $U_{\text{НОМ}} < 20$ кВ та $I_{\text{НОМ}}$ до 3000 А допускається робота на частотах, що не перевищують 500 Гц.

3. Номінальний первинний струм $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{РОБ}}$, де $I_{\text{РОБ}}$ – робочий струм мережі.

Значне відхилення номінального струму трансформатора від струму мережі призводить до збільшення похибки.

4. Клас точності трансформатора струму вибирається в залежності від його призначення. Для живлення лічильників енергії клас точності має бути не менше 0,5. Допускається клас 1,0, але при цьому необхідно знизити навантаження на трансформатор.

5. У вимірювальних колах трансформатори струму не перевіряються на граничну кратність. (відношення струму КЗ, при якому спрацьовує захист, до $I_{\text{НОМ}}$ трансформатора). Крім того, насичення магнітопроводу трансформатора зменшує негативний вплив струмів КЗ на вимірювальні прилади.

Трансформатори струму, призначені для систем релейного захисту, мають забезпечити стабільну роботу захисту при КЗ. Для перевірки таких трансформаторів використовують

характеристики граничної кратності.

При заданому вторинному навантаженні z_2 гранична кратність трансформатора має бути вища за розрахункову кратність

6. При використанні трансформаторів струму, вбудованих в інші апарати, інколи виникає потреба з'єднувати їх послідовно або паралельно. Якщо два трансформатори з'єднують послідовно, вторинна ЕРС збільшується удвічі. Це надає можливість збільшити вдвічі навантаження. У випадку паралельного з'єднання струм у навантаженні дорівнює сумі струмів вторинних обмоток. Внутрішні та зовнішні параметри таких трансформаторів мають бути однаковими.

Висновки

Проведено оцінку похибки вимірювальних трансформаторів різних класів точності. Сформульовано рекомендації по вибору вимірювальних трансформаторів різних класів точності, а також зазначені основні шляхи зменшення похибок.

Вимірювальні трансформатори використовуються для проведення вимірювань в колах змінного струму, коли вимірювальні прилади чи пристрої релейного захисту та автоматики нерационально (або небезпечно) підключати в первинні кола. Вимірювальні трансформатори, як напруги так і струму, повинні вибиратися таким чином, щоб похибка вимірювань була мінімальною. При використанні методики вибору вимірювального трансформатора, потрібно звертати увагу до основних факторів, які сприяють зменшенню похибок вимірювань. Це дозволяють звести величину похибки до мінімального значення.

Література

1. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. / С. О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Энергетика: історія, сучасність і майбутнє. Электроэнергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / [Бурячок Т. О. та ін. ; наук. ред.: Клименко В. Н., Ландау Ю. О., Сігал І. Я.]. – Київ : [б. в.], 2013. – 391 с.
3. Gnatov A. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» / A. Gnatov, Shch. Argun, O. Ulyanets // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – P. 1203–1207, IEEE Catalog Number: CFP17K03-USB. – ISBN: 978-1-5090-3005-7.
4. Гнатів А. В. Особливості вимірювання параметрів імпульсних сигналів різної форми / А. В. Гнатів, О. А. Дзюбенко, В. Я. Фролов, О. С. Василевич // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2014. – № 6. – С. 56–64. Доступно: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/index.html.
5. Jiang Chun XuHai Dong XiYu Hui Li. Error Analysis of Harmonic Measurement Device and Solution. February 2014. DOI10.4028/www.scientific.net/AMM.530-531.199.
6. Морозова М. М. Оцінювання впливу інструментальних похибок засобів вимірювальної техніки на точність вимірювання інформативних параметрів // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2016. – №. 15. – С. 11-18. 10.20535/2219-380415201685142
7. Тихонов І. В. Основи теорії похибок вимірювань. 1-ше вид. / Тихонов І. В., Давидов В. С., Кучерук С. М., Богом'я В. І. // Методичний посібник Київської державної академії водного транспорту. – Київ, 2013. – 66 с.
8. Земельман М. А. Метрологические основы технических измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1991.– 228 с.
9. Кузнецов В. А., Ялунина Г. В. Метрология (теоретические, прикладные и законодательные основы): Учеб. пособие. – М: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 336 с.
10. Ефимов А. В. Новости на рынке счетчиков. / Газета «Електротема» №18, сент. – окт., 2014.
11. Енотов Е. А. Особенности современных автоматизированных систем коммерческого учета. / Деньги и технологии, № 1 – 2, 2005. С. 38 – 40.
12. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с. – Бібліогр.; С. 92-102.
13. Юдиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.
14. Чернобровое Н.В. Релейная защита энергетических систем / Чернобровое Н.В., Семенов В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
15. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Шнеерсон Э.М. - М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549.
16. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. для вузов / В. А. Андреев. – 4-е изд, перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2006. – 639 с.
17. Басс Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие / Басс Э. И., Дорогунцев В. Г.; под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 296 с.
18. Черемісін М. М., Зубко В. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням. – Харків: Фактор, 2005. – 192 с.
19. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. – Вінниця, 2004. – 655 с.

References

1. Kudrya S. O. Netradytstyni ta vidnovlyu-val'ni dzherela enerhiyi : pidruch [Unconventional and renewable sources of energy.] / K. : NTUU «KPI», 2012. – 492 p.
2. Buryachok T. O. Enerhetyka: istoriya, suchasnist' i maybutnye. Elektroenerhetyka ta okhorona navko-lyshn'oho seredovysycha. Funktsionuvannya enerhetyky v suchasnomu sviti [Power engineering: history, present and future. Electricity and environmental protection. Operation of energy in the modern world.] / Kyiv, 2013. – 391 p.
3. Gnatov A., Argun Shch., Ulyanets O. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – pp. 1203–1207, IEEE Catalog Number: CFP17K03-USB. – ISBN: 978-1-5090-3005-7.
4. Hnatov A. V., Dzyubenko O. A., Frolov V. Ya., Vasylevych O. S. Osoblyvosti vymiryuvannya parametriv impul'snykh syhnaliv riznoyi formy [Features of measurement of parameters of pulsed signals of various forms.] // Avtomobyl' y elektronika. Sovremennye tekhnolohyy: elektronnoe nauchnoe spetsyalizirovannoe yzdanye. – Kh.: KhNADU, 2014. – no. 6. – pp. 56–64. http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/index.html.
5. Jiang Chun XuHai Dong XiYu Hui Li. Error Analysis of Harmonic Measurement Device and

- Solution. February 2014. 10.4028/www.scientific.net/AMM.530-531.199.
6. Morozova M. M. Otsinyuvannya vplyvu instrumental'nykh pokhybok zasobiv vymiryuval'noyi tekhniky na tochnist' vymiryu-vannya informatyvnykh parametriv [Estimation of influence of instrumental errors of measuring equipment on accuracy of measurement of informative parameters.] // Informatsiyni systemy, mekhanika ta keruvannya. – 2016. – no. 15. – pp. 11-18. 10.20535/2219-380415201685142
 7. Tykhonov I. V. Davydov V. S., Kucheruk S. M., Bohom"ya V. I. Osnovy teorii pokhybok vymiryuvan'. 1-she vyd [Fundamentals of Measurement Error Theory] // Metodichnyy posibnyk Kyivskoyi derzhavnoyi akademiyi vodnoho transportu. – Kyiv, 2013. – 66 p.
 8. Zemelman M. A. Metrologicheskie osnovy tehnicheskikh izmereniy [Metrological bases of technical measurements.] / M.: Izd-vo standartov, 1991. – 228 p.
 9. Kuznetsov V. A., Yalunina G. V. Metrologiya (teoreticheskie, prikladnyie i zakonodatelnyie osnovy): Ucheb. posobie. [Metrology (theoretical, applied and legislative bases): Study. allowance.] / M.: IPK Izdatelstvo standartov, 1998. – 336 p.
 10. Efimov A. V. Novosti na rynke schetchikov [News on the counters market.] / Gazeta «Elektrotema», no. 18, 2014.
 11. notov E. A. Osobennosti sovremennyih avtomatizirovannyih sistem kommercheskogo ucheta [Features of modern automated systems of commercial accounting.] / Dengi i tehnologii, no. 1(2), 2005. – pp. 38 – 40.
 12. Yandul'skyu O. S., Dmytrenko O. O. Releynyy zakhyst. Tsyfrovi prystroyi releynoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnya elektroenerhetychnykh system [Relay protection. Digital devices for relay protection, automation and control of power systems.] / K.: NTUU «KPI», 2016. – 102 p. – pp. 92-102.
 13. Yudyba V. P. Releynyy zakhyst elektroenerhetychnykh system: Pidruchnyk [Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник.] / L'viv: Vyd-vo NU «L'vivs'ka politekhnika, 2013. – 533 p.
 14. Chernobrovoe N. V., Semenov V. A. Releynaya zaschita energeticheskikh sistem [Relay protection of power systems.] / M.: Energoatomizdat, 1998. – 800 p.
 15. Shneerson E. M. Tsifrovaya releynaya zaschita [Digital relay protection.] / M.: Energoatomizdat, 2007. – 549 p.
 16. Andreev V. A. Releynaya zaschita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya: ucheb, dlya vuzov [Relay protection and automatics of power supply systems: study, for high schools.] / M.: Vyssh. shk., 2006. – 639 p.
 17. Bass E. I., Doroguntsev V. G. Releynaya zaschita elektroenergeticheskikh sistem: ucheb, posobie [Relay protection of electric power systems: study, manual.] / M.: Izd-vo MEI, 2002. – 296 p.
 18. Cheremisin M. M., Zubko V. M. Avtomatyzatsiya obliku ta upravlinnya elektrospozhyvanniam [Automation of accounting and management of power consumption..] / Kharkiv: Faktor, 2005. – 192 p.
 19. Shesterenko V. Ye. Systemy elektrospozhyvannya ta elektropostachannya promyslovykh pidpryyemstv [Systems of power consumption and power supply of industrial enterprises..] / Vinnytsya, 2004. – 655 p.
20. *Поступила (received)* 20.02.2018 р.
- Гнатів Андрій Вікторович**¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, kalifus76@gmail.com, тел. +38 066-7438-08-87,
- Аргун Щасяна Валіковна**¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,
- Дзюбенко Олександр Андрійович**¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,
- Тарасова Валентина Всеволодівна**², к.т.н., доц., тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,
- Новіченок Сергій Михайлович**², к.т.н., доц., тел. +38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,
- Войт Олена Василівна**², студент, тел. +38 0997074169, kalifus@yandex.ru,
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
- ²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.
- Ошибки приборов учета электрической энергии**
- Аннотация. Основными показателями, характеризующими эффективность информационно-измерительной техники в системе учета, является точность представления измеренной информации и ее достоверность. Проведена оценка погрешности измерительных трансформаторов различных классов точности. Сформулированы рекомендации по выбору измерительных трансформаторов, а также указаны основные пути уменьшения погрешностей.*
- Ключевые слова:** трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, счетчики, учет электрической энергии, погрешности, измерительные трансформаторы.
- Гнатів Андрій Вікторович**¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,
- Аргун Щасяна Валіковна**¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,
- Дзюбенко Олександр Андреевич**¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-

748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,
Тарасова Валентина Всеволодовна², к.т.н., доц.,
 тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,
Новичонок Сергей Михайлович², к.т.н., доц.,
 тел. +38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,
Войт Елена Васильевна², студент, тел. +38
 0997074169, kalifus@yandex.ru,

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

²Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

Errors of electronic meters of electric energy

Abstract. Problem. *The people's demand for electricity has been growing year after year. This requires increasing the generation of electricity and reducing its losses on the way to a consumer. There is also a necessity to keep records of energy consumption. The main indicators characterizing the effectiveness of information and measuring technologies in the metering system are the accuracy of given measuring information and its reliability. The process of obtaining the information should be automated in order to provide the measuring information on time. In the electricity metering system, this is determined by the measuring principles and the quality of the metering system.*
Goal. *Estimation of the errors of measuring transformers of different accuracy types, making recommendations on the choice of measuring transformers of different accuracy types and determining the ways to reduce any errors.*
Methodology. *The methods of the theory of electromagnetic field and theoretical basis of electrical engineering have been used in the analysis and study of measuring transformer errors. The symbolic method of complex amplitudes and the methods of vector algebra have been applied to determine voltage errors and current errors.*
Results. *The estimation of an error of measuring transformers of different accuracy types has been carried out. The recommendations on the choice of measuring transformers of different accuracy types have been made, and*

the main ways of reducing errors have been defined. Originality. *The methods for estimating errors by current transformers and voltage transformers have been further developed. The methods of estimating errors in electric energy meters have been developed. The method of choosing current transformers has been improved taking into account various operational factors. Practical value.* *Any error of a current transformer depends on its loading capacity. The methods for reducing such errors have been defined. The factors that must be taken into account when applying the method of selecting current transformers aimed at reducing an error have been presented. The application of the given method of choosing current transformers will result in improvement of the measuring equipment value. This will increase the accuracy of the information being measured and allow reducing an error margin to a minimum value.*

Key words: *current transformers, voltage transformers, electronic meters, meters of electrical energy, errors, measuring transformers.*

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Arhun Shchasiana¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Dziubenko Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Tarasova Valentina², Ph.D., Ass., 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Novichonok Sergey², Ph.D., Assoc., 38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,

Voit Elena², student, tel. +38 0997074169, kalifus@yandex.ru,

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

²Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОЗНАКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Шелудченко Л. С.¹

¹Подільський державний аграрно-технічний університет

Анотація. На підставі критерію неперервності кусочно-лінійної функції режимів руху автотранспортних засобів встановлено мінімальні значення щільності, інтенсивності та швидкості, за яких колективний рух фізичних одиниць автотранспорту набуває характерних ознак синхронізованого автотранспортного потоку.

Ключові слова: автотранспортний потік, синхронізація, функціональні ознаки, кусочно-лінійна функція.

Вступ

Загалом, категорія “автотранспортний потік” визначається як множина (C) автотранспортних засобів, які беруть участь у спільному русі вздовж деякої ділянки автомобільної дороги і характеризуються такими фізичними ознаками як габарит (L) автотранспортного засобу, його динамічний габарит (LD), інтервал руху (I) та напрямок руху, протилежно напрямлені підмножини (C_1 і C_2) транспортних засобів тощо [2, 3, 6].

Рух автотранспортного засобу в складі автотранспортних потоків значно відрізняється від руху відокремленого (одиночного) транспортного засобу, що зумовлює зміну навантажувально-швидкісних режимів роботи двигунів, а отже і показників витрат палива та, як наслідок, обсягів викидів шкідливих речовин [5, 6], які продукуються потоками цих автотранспортних засобів.

Аналіз публікацій

Основними чинниками, які спричиняють вплив автотранспортних потоків на навколишнє середовище є: склад і структура автотранспортних засобів у потоці, швидкість, навантажувальний режим, інтенсивність і щільність руху, технічний стан і експлуатаційні властивості окремих фізичних одиниць потоку, хімічний склад використовуваних палив, експлуатаційний стан автомобільної дороги, обсяги і номенклатура транспортованих вантажів тощо [2, 6].

Окрім суто технічних чинників автотранспортного потоку, визначальним чинником міграційних процесів забруднювачів в межах природно-техногенної геоекосистеми (смуги впливу автомобільної дороги) є експлуатаційні характеристики як окремих резервно-технологічних смуг автомобільних доріг, так і

всієї інфраструктури автотранспортної мережі в цілому [1]. До цих характеристик необхідно віднести: показник автотранспортної ємності території природно-техногенної геоекосистеми, ландшафтні особливості трасування та конструкційні параметри автомобільної дороги, її технічний стан (в тому числі за показником пошкодження дорожнього покриття) та її експлуатаційні показники, відповідність щодо рівня інтенсивності автотранспортного потоку і питомого навантаження на дорожнє покриття, наявність газо-пилозахисної інфраструктури в межах резервно-технологічної смуги, локальну варіативність (деформацію) усталеного функціонального стану автотранспортного потоку на ділянках автомобільної дороги з особливими умовами руху (перехрестя та вузли автотранспортної мережі, спуски-підйоми, серпантини, тунелі, мостові переходи, екодуки тощо) [1, 5, 6].

Таким чином розроблення заходів, які передбачали б зниження впливів сукупності автотранспортних засобів та автодорожньої мережі на природно-техногенні геоекосистеми неможливе без формалізації основних фізичних характеристик когерентного руху автотранспортних засобів у складі потоків, а отже і без встановлення функціональних ознак категорії “автотранспортний потік”.

Формулювання мети статті

Метою даної статті є визначення основних функціональних ознак потоків автотранспортних засобів на підставі їх фізико-динамічних та транспортно-експлуатаційних характеристик.

Функціональний аналіз колективного руху автотранспортних засобів

Розглянемо фрагмент потоку автотранспор-

ртних засобів, як спрямовану сукупність (деяку динамічну множину (C) автотранспортних засобів) на певній ділянці автомобільної дороги (вздовж осі x - x). Підмножини (C_1 і C_2) множини (C) рухаються в протилежних напрямках (рис.1). При цьому вважаємо, що внесок підмножин C_1 і C_2 однаковий і дорівнює кількості частки їх по довжині, які припадають на ділянку A_x - B_x автомобільної дороги. Позначимо цю кількість автотранспортних засобів через $R(t, x_{A-B})$.

Оскільки кожний транспортний засіб з множини $R(t, x_{A-B})$ визначений певним дійсним числом на заданому інтервалі, то функція $R(t, x_{A-B})$ неперервна за t , є гладкою, а отже має кусочно-неперервні похідні першого і другого порядків. Таким чином $R(t, x_{A-B})$ є кусочно-лінійною по t (за умови усталеної швидкості потоку автотранспортних засобів) [4, 7].

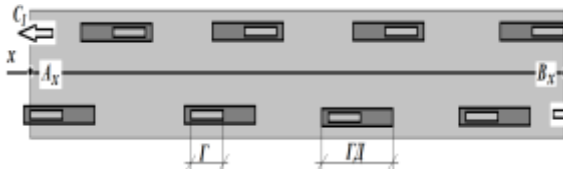


Рис.1. Фрагмент автотранспортного потоку, підмножини (C_1 і C_2) якого рухаються вздовж x - x

В цьому випадку основні транспортно-експлуатаційні характеристики потоку можуть бути визначені як:

- інтенсивність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial t} = q(t, x) \quad (1)$$

- щільність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \rho(t, x) \quad (2)$$

Звідси швидкістю автотранспортного потоку є функція:

$$V(t, x) = \frac{q(t, x)}{\rho(t, x)} \quad (3)$$

Якщо швидкість V автотранспортного потоку є відомою функцією його щільності ρ , отримуємо:

$$V = f(\rho) \quad (4)$$

Будемо вважати вираз (4) функцією стану потоку автотранспортних засобів. Тому:

$$q(t, x) = \rho(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (5)$$

а також:

$$\frac{\partial R}{\partial t}(t, x) = \frac{\partial R}{\partial x}(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (6)$$

Відповідно (6) необхідно розрізняти три основних режими руху автотранспортних засобів:

- вільний рух – характеризується малими інтенсивностями, відсутністю взаємних перешкод поміж окремими автотранспортними засобами і відповідною швидкістю V_c . Незначна щільність автотранспортних засобів зумовлює нещільну кореляцію поміж V_c та ρ ;

- колективний рух (колективний потік) – визначається зростанням щільності ρ потоку автотранспортних засобів. В цьому випадку колективна швидкість V_k автотранспортних засобів визначається проектною пропускну здатністю автодороги. Кореляційний зв'язок поміж V_c та ρ є достатньо щільним;

- насичений (синхронізований або певною мірою “когерентний”) потік – характеризується суттєвим взаємовпливом окремих автотранспортних засобів, швидкість автотранспортного потоку V_n тісно корелює з інтенсивністю q та щільністю ρ . Характерною рисою синхронізованого, “когерентного” автотранспортного потоку є несуттєве варіювання значення середньої швидкості потоку. Визначального значення, в цьому випадку, набуває технічний та транспортно-експлуатаційний стани автомобільної дороги.

Термін “когерентність” застосовано в даному випадку, як певну модельну ознаку потоку автотранспортних засобів, яка має визначати корельований в часі і у просторі ймовірнісний, усталений (на певній ділянці автомобільної дороги) процес синхронного руху автотранспортних засобів з постійними характеристиками інтенсивності q , щільності ρ та швидкості V_n автотранспортного потоку. При цьому, обов'язково має бути визначена відстань ділянки автомобільної дороги, на якій і зберігається когерентність, тобто “довжина когерентності” автотранспортного потоку.

Результати функціонального аналізу когерентності колективного руху автотранспортних засобів

Для подальшого аналізу режимів колективного руху автотранспортних засобів у складі автотранспортних потоків узгоджуємо відповідність розрахункової інтенсивності q потоку з технічною класифікацією автомобільних доріг за ДБН В.2.3-4:2007 С.77.

Представивши значення щільності ρ , інтенсивності q та характерної (“когерентної”) швидкості V сукупності автотранспортних засобів на фрагменті A_x-B_x автомобільної дороги (рис.1), відповідно ДБН В.2.3-4:2007 С.77, в основних одиницях SI (метр, секунда), функція стану автотранспортного потоку (4) може бути представленою у матричній формі у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Функціональні ознаки стану автотранспортних потоків

Категорія автомобільної дороги	Швидкість автотранспортного потоку, м/с	Інтенсивність потоку, 1/с	Щільність потоку, 1/м
1-а	41	> 0,17	> 0,005
1-б	38	> 0,17	> 0,004
2	33	0,17	0,005
3	27	0,07	0,003
4	25	0,03	0,001
5	25	0,003	0,0001

Якщо визначити категорію автомобільної дороги деяким бальним показником K , який набуває значень $K = 1a; 1б; 2; 3; 4; 5$ (категорійність автомобільних доріг за ДБН В.2.3-4:2007 С.77) і враховуючи кусочно-лінійний характер функцій (3) і (4) відповідно до числових значень матриці, які наведено в таблиці 1, може бути побудована поверхня відгуку для основних характеристик автотранспортних потоків в координатах $K-\rho-q$ (рис.2).

Графічний аналіз висхідного лівостороннього тренду значень q та ρ поверхні відгуку (рис. 2) в напрямку зворотному зростанню координати K чітко визначає характерні координати деякої площини Φ , яка відокремлює режим вільного руху автотранспортних засобів від колективного та синхронізованого “когерентного” руху автотранспортних потоків [4, 7].

Координати цієї площини за значеннями q та ρ становлять:

$$\begin{cases} q = 0,035 [1/с] \\ \rho = 0,0021 [1/м] \end{cases} \quad (7)$$

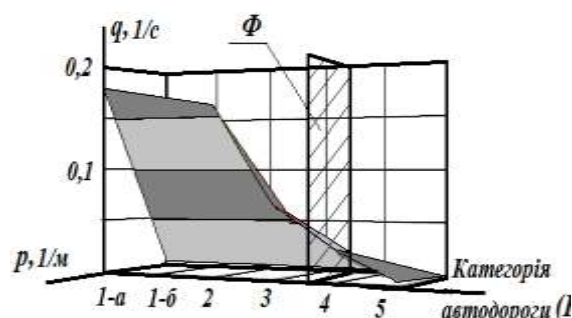


Рис. 2. Поверхня відгуку функціональних ознак стану автотранспортних потоків в координатах: категорія автодороги (K) ~ щільність автотранспортного потоку (ρ) ~ інтенсивність автотранспортного потоку (q)

Наведені в (7) значення інтенсивності q та щільності ρ автотранспортного потоку визначають мінімальну швидкість V автотранспортних засобів, за якої відбувається перехід від вільного руху до колективного та синхронізованого “когерентного” потоків, яка відповідно до (3) становитиме:

$$V = \frac{q}{\rho} = \frac{0,035}{0,002} = 17,5 [м/с] \quad (8)$$

Мінімальні значення швидкості V , інтенсивності q та щільності ρ , за яких характер руху автотранспортних засобів набуває ознак колективного руху з подальшою синхронізацією автотранспортного потоку, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Мінімальні значення щільності ρ , інтенсивності q та швидкості V , за яких автотранспортний потік набуває характерних ознак

Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Щільність автотранспортного потоку, авт./км	Швидкість автотранспортного потоку, км/год.
3024	2,1	63,0

Аналіз даних за показниками інтенсивності q , щільності ρ та швидкості V автотранспортних потоків, які наведено в таблиці 2, свідчить про те, що лише автомобільні дороги категорій 1-а, 1-б, 2 і 3 можуть бути віднесені, в строгому розумінні, до автодоріг на яких відбувається колективний синхронізований “когерентний” рух автотранспортних засобів у складі автотранспортних потоків (відповідно до ДБН В.2.3-4:2007 С.77 “Споруди транспорту. Автомобільні дороги”).

Отримані результати щодо мінімальної межі характерних ознак автотранспортного

поток (за ознаками щільності ρ , інтенсивності q та характерної “когерентної” швидкості V сукупності автотранспортних засобів) достатньою мірою корелюють з результатами розрахунків категорії небезпечності автомобільних доріг, як об’єктів господарської діяльності у відповідності до вимог галузевих будівельних норм України ГБН В.2.3-218-007:2012 “Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування”.

Висновки

Мінімальне значення інтенсивності руху автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності фізичних автотранспортних одиниць набуває ознак колективного синхронізованого (“когерентного”) руху в складі автотранспортного потоку становить 3×10^3 авт./добу, що відповідає нормованим значенням інтенсивності руху для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3.

Встановлені за результатами функціонального аналізу основні фізико-динамічні та транспортно-експлуатаційні ознаки колективного руху автотранспортних засобів в складі автотранспортних потоків дозволяють суттєво уточнити показники екологічної безпеки автотранспортних мереж, які визначені проектом ОВД та розробити заходи, які передбачають зниження рівнів впливів сукупності автотранспортних засобів та автодорожньої мережі на природно-техногенні геоекосистеми.

Література

1. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.
2. Внукова Н.В. Аналіз та прогнозування європейських екологічних норм для автомобільного транспорту та аналогічні нормативи в Україні / Н.В. Внукова, М.А. Подригало, А.В. Калініченко, А.І. Коробко // *Екологія и промышленность*. – 2010. – № 1(22). – С. 4-9.
3. Внукова Н.В. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу “автомобіль – дорога – середовище” / Н.В. Внукова // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2011. – №5/3(53). – С. 43-46.
4. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике / В.Н. Глазунов. – М.: Речной транспорт, 1999. – 150 с.
5. Дзенис П.Я. Пространственное проектирование автомобильных дорог / П.Я. Дзенис, В.Р. Рейнфельд. – М.: Транспорт, 1968. – 112 с.
6. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко;

[Под ред. В.Н. Луканина]. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.

7. Завало С.Т. Элементы анализа. Алгебра многочленов / С.Т. Завало. – К.: Радянська школа, 1972. – 462 с.

References

1. Babkov V.F. Landshaftnoye proyektirovaniye avtomobil'nykh dorog / V.F. Babkov. – M.: Transport, 1980. – 189 s.
2. Vnukova N.V. Analiz ta prohozuvannya yevropeys'kykh ekolohichnykh norm dlya avtomobil'noho transportu ta analohichni normatyvy v Ukraini / N.V. Vnukova, M.A. Podryhalo, A.V. Kalinichenko, A.I. Korobko // *Ékolyhyya y promyshlennost'*. – 2010. – № 1(22). – S. 4-9.
3. Vnukova N.V. Vplyv avtomobil'nykh dorih na ekobezpeku kompleksu “avtomobil' – doroha – seredovyshche” / N.V. Vnukova // *Skhidno-Yevropeys'ky zhurnal peredovykh tekhnolohiy*. – 2011. – №5/3(53). – S. 43-46.
4. Glazunov V.N. Parametricheskiy metod razresheniya protivorechiy v tekhnike / V.N. Glazunov. – M.: Rechnoy transport, 1999. – 150 s.
5. Dzenis P.YA. Prostranstvennoye proyektirovaniye avtomobil'nykh dorog / P.YA. Dzenis, V.R. Reynfel'd. – M.: Transport, 1968. – 112 s.
6. Lukanin V.N. Promyshlenno-transportnaya ekologiya / V.N. Lukanin, YU.V. Trofimenko; [Pod red. V.N. Lukanina]. – M.: Vyssh. shk., 2001. – 273 s.
7. Zavalo S.T. Elementy analizu. Alhebra mnohochleniv / S.T. Zavalo. – K.: Radyans'ka shkola, 1972. – 462 s.

Шелудченко Леся Сергіївна¹, к. т. н., доц., +380982337273, e-mail: seludcencoleca@gmail.com, ¹Подільський державний аграрно-технічний університет, вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна, 32300

Functional characters of the motor vehicle flow

Abstract. The development of measures to reduce the impact of road traffic and road network on natural-technogenic geo-ecosystems is impossible without formalizing their main transport-operational characteristics. **The purpose** of the article is to determine the main functional features of motor transport flows. **Methodology.** Functional analysis of sets as a piecewise-linear function of a dynamical flow. **Results.** It is established that the minimum value of traffic intensity of vehicles, in which their free movement mode acquires the signs of collective synchronous (“coherent”) traffic in the composition of the autotransport flow is 3×10^3 aut./day, which corresponds to the normalized values for highways categories 1-a, 1-b, 2, 3. **Practical significance.** The main physico-dynamic and transport-operational characteristics of the collective movement of vehicles in the structure of motor transport flows, established

on the basis of the results of the functional analysis, make it possible to significantly improve the indicators of the ecological safety of motor transport networks and develop measures to reduce the levels of influence of the motor transport complex on the near-technogenic geoecosystems.

Key words: motor flow, synchronization, functional properties, piecewise linear function.

Sheludchenko Lesya S.¹, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., +380982337273, seludcencoleca@gmail.com

¹State Agrarian and Engineering University in Podilya

Функциональные признаки автотранспортного потока

Аннотация. Разработка мероприятий, предусматривающих снижение влияния автотранспортных потоков и автотранспортной сети на природно-техногенные геосистемы невозможно без формализации основных их транспортно-эксплуатационных характеристик. **Целью** статьи является определение основных функциональных признаков автотранспортных потоков. **Методология.** Функциональный анализ множеств, как кусочно-линейной функции динамического потока. **Результаты.** Установлено, что минимальное значение интенсивности движения

автотранспортных средств, при котором режим их свободного движения приобретает признаки коллективного синхронного (“когерентного”) движения в составе автотранспортного потока составляет 3×10^3 авт./сутки, что соответствует нормированным значениям для автомобильных дорог категорий 1-а, 1-б, 2, 3. **Практическое значение.** Установленные по результатам функционального анализа основные физико-динамические и транспортно-эксплуатационные признаки коллективного движения автотранспортных средств в составе автотранспортных потоков позволяют существенно уточнить показатели экологической безопасности автотранспортных сетей и разработать мероприятия по снижению уровней влияния автотранспортного комплекса на природно-техногенные геосистемы.

Ключевые слова: автотранспортный поток, синхронизация, функциональные свойства, кусочно-линейная функция.

Шелудченко Леся Сергеевна¹, к.т.н., доц., +380982337273, seludcencole-ca@gmail.com,

¹Подольский государственный аграрно-технический университет, ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., Украина, 32300

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Гнатів А. В.¹, Аргун Щ. В.¹, Дзюбенко О. А.¹,
Тарасова В. В.², Левенець А. О.², Пілявець О. О.²,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба

Анотація. Проведено аналіз технічних шляхів раціонального використання електроенергії та методів і засобів енергозбереження і економії енергоресурсів. Проаналізовано технічні шляхи раціонального використання електроенергії та основні резерви (заходи) щодо її збереження. Розглянуто застосування об'єктно-діяльничної моделі для управління енергозбереженням. Оцінені можливі шляхи зменшення втрат в системах електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, втрати енергії, шляхи енергозбереження, електрична енергія, електричні мережі, економія електроенергії.

Вступ

Історія довела, що в теперішній час необхідно розглядати збереження енергії як єдиний шлях до виживання у ХХІ сторіччі. Вірно обраний шлях для енергоефективної модернізації промисловості, енергетики та житлово-комунального господарства (ЖКГ) визначає майбутнє України [1-7].

В Україні є величезні запаси вугілля та шахтного метану. Але поки ще не тільки не розвинені, але й не запозичені загальновідомі технології заміщення природного газу місцевим паливом та енергією. Кожен рік гниє та спалюється на ланах мільйони тон біомаси, а в суспільних будинках, які опалюються імпортованим газом – холодно. На цей час, Європа, з точки зору джерел вуглеводного палива, розглядає Україну як свого біопаливного донора. А наша задача полягає у тому, щоб досягти такого рівня, коли Україна буде виступати як повноцінний партнер, притому на паритетних умовах та

з дотриманням всіх наших національних інтересів.

Майже 15 років українське енергозбереження постійно гониться за цінами на енергоносії. Гарно чи погано, але за 20 останніх років потенціал маловитратного та швидкоокупного енергозбереження в Україні відпрацьовано практично повністю. Тому необхідно використовувати нові шляхи та методи збереження усіх видів енергії.

Аналіз публікацій

Для того щоб споживачі могли використовувати електричну енергію, її необхідно не тільки отримати на електростанціях, але і передати до конкретного споживача. Електричні мережі України мають велику протяжність і, на жаль, не завжди відповідають сучасним технічним вимогам. Це веде до значних втрат енергії при її передаванні від виробника до споживача.

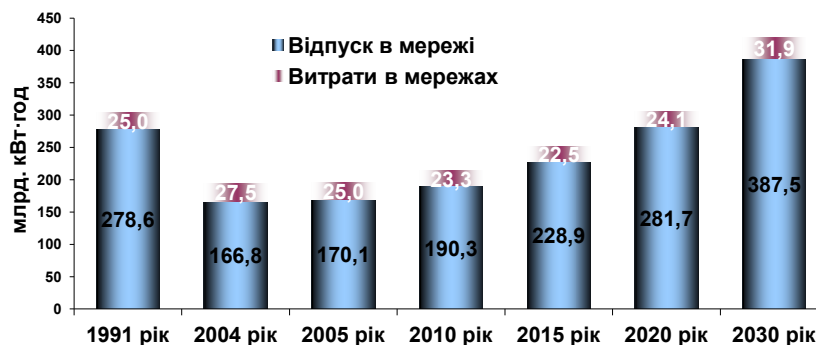


Рис. 1. Динаміка відпуску електроенергії та її втрат на транспортування електричними мережами України, млрд. кВт·год

Динаміка відпуску електроенергії та її втрат на транспортування електричними мережами України приведена на рис. 1 [5].

Оцінку потенціалу енергозбереження України проводилась великою кількістю авторів [2, 4, 5, 7-12]. Проведена оцінка потенціалу енергозбереження на прикладі 2000 р. показала,

що його розміри становлять 145-170 млн. тон умовного палива або 42-48 % від обсягу споживання первинних енергоресурсів. Структура технологічно доступного потенціалу енергозбереження в Україні на рівні базового 2000 р. наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка технологічно допустимого потенціалу енергозбереження на рівні базового 2000 р.

Споживачі палива та енергії	Паливо, млн. т.у.п.	Електрична енергія, млрд. кВт·год	Теплова енергія, млн. Гкал	Всього, млн. т.у.п
ПЕК- всього	13,7-20	17-22	48-64	27,5-38,2
У тому числі:				
-паливні галузі	3-4	2-3	3-4	4,2-5,7
-електроенергетика	7,7-11	11-14	-	11,3-15,6
-транспорт енергоресурсів	3,5	4-5	45-60	12,0-16,9
Промисловість: -всього	39,3-43,3	87,9-96,4	99,4-113,5	84,8-94,1
У тому числі:				
-межгалузеві заходи	12-13	68-70	47-50	42,1-44,4
-металургійний комплекс	9,5-10	6-7	5-6	12,3-13,3
-машинобудування	6,5-7	4-5	4-4,5	8,5-9,4
-хімія та нафтохімія	2,5-3	2,5-3,5	8-9	4,7-5,6
-промисловість буд. матеріалів	3,9-4	1,6-2	5-6	5,2-5,7
-харчова	3,5-4	1,9-2,0	17-18,5	7-7,8
-інші галузі промисловості	1,4-2,3	3,9-6,9	13,4-19,5	5-7,5
Комунально-побутове господарство	6,5-7	12-13	40-45	17,3-19
Сільське господарство	4-5	2-3	-	4,7-6
Транспорт	9,3-9,8	1,8-5	0,5-0,9	10-11,6
Будівництво	0,5-0,8	0,2-0,4	0,7-1,0	0,7-1,1
Разом	73,3-85,9	120,9-139,8	188,6-224,4	145-170

Постановка задачі

Мета роботи: аналіз технічних шляхів раціонального використання електроенергії та методів і засобів енергозбереження і економії енергоресурсів.

Оскільки будь-яка система електропостачання (СЕП) складається з трьох основних частин, а саме: з тієї, що генерує, що передає та що споживає, і кожна з них має свої особливості, то і питання енергозбереження необхідно розглядати в кожній частині СЕП окремо.

Найбільші втрати приходяться на лінії електропередач та споживачів. Незадовільний стан електричних мереж, їх невідповідність діючим нормам і режимам електроспоживання, а також низький рівень приладів обліку призводить до значного зростання технологічних втрат під час транспортування електроенергії.

В результаті використання енергії споживачем відбувається певний технологічний процес, завдяки якому отримується соціально значимий продукт, тобто товари або послуги. Врахувати продукт можна по різному. Це

може бути кількість одиниць (маса, об'єм) продукції, перелік послуг, які виконуються. Ясно, що і вироблення продукції, і надання послуг – це процеси, які різко відмінюються один від одного, але важливо те, що ці процеси енергоємні. Тобто треба оцінити ефективність енерговикористання. Якщо позначити всю енергію, яка була витрачена на отримання продукту як $W_{от}$ (отримана), а наприклад кількість одиниць продукції позначити N , то питома витрата енергії складатиме:

$$W_{пит} = \frac{W_{от}}{N} \quad (1)$$

Метою енергозбереження є зменшення цього параметру. Актуальною задачею є також і управління енергозбереженням.

Об'єктово-діяльнісна модель електроспоживання

На рис. 2 показана структурна схема енергопостачання споживача. Ця схема є відображенням енергетичного циклу за допомогою об'єктово-діяльнісного підходу.

Структурна схема енергопостачання споживача енергії

Енергетика

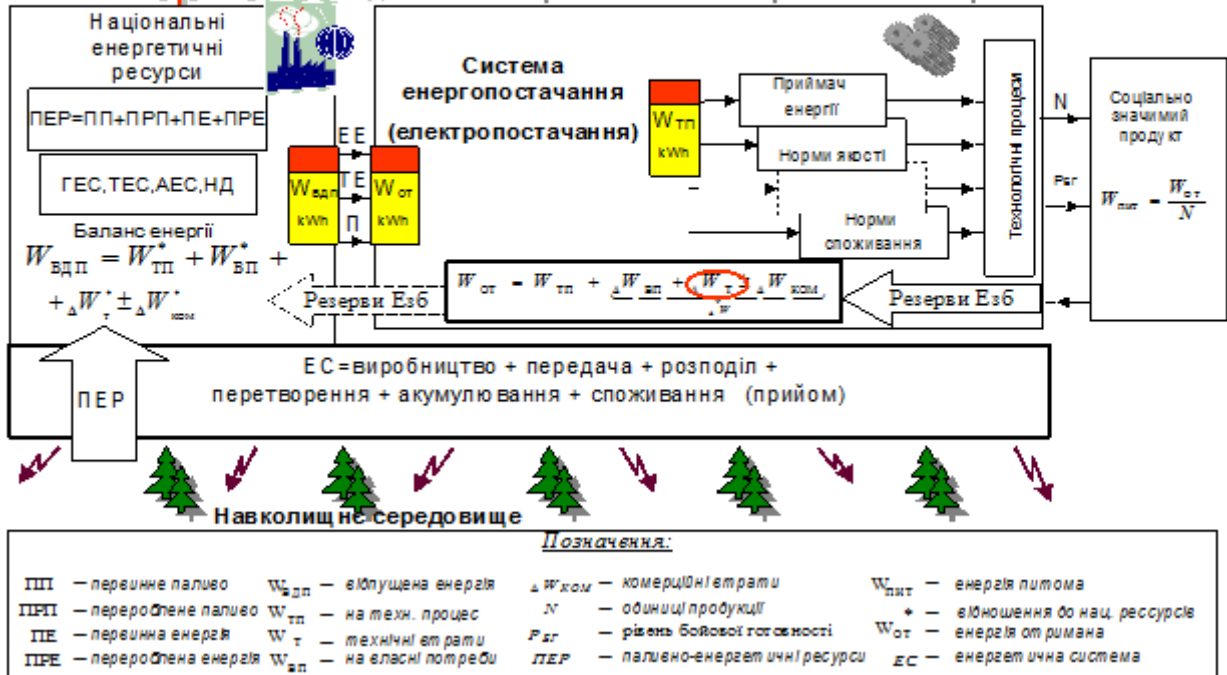


Рис. 2. Структурна схема енергопостачання споживача

Для всіх випадків споживання електроенергії можна записати одну єдину формулу:

$$W_{\text{от}} = W_{\text{тп}} + \Delta W_{\text{вп}} + \Delta W_{\text{т}} + \Delta W_{\text{ком}} \quad (2)$$

де $W_{\text{от}}$ — загальна отримана енергія;

$W_{\text{тп}}$ — енергія що безпосередньо використана на технологічний процес;

$\Delta W_{\text{вп}}$ — енергія що використана на особисті потреби;

$\Delta W_{\text{т}}$ — енергія на технічні втрати;

$\Delta W_{\text{ком}}$ — комерційні втрати.

Таким чином, рівняння (2) є універсальним. Воно відображує електробаланс.

З цієї формули можна зробити такі якісні висновки щодо шляхів енергозбереження: зменшення технічних втрат; зменшення власних потреб; зменшення комерційних потреб.

Упорядкування й удосконалення технологічних процесів — це скорочення технологічних втрат. Як вже вказувалося вище, межі не дуже великі.

Зменшення власних потреб — це дуже обмежений резерв, через наявність законів соціального захисту з одного боку, та потреб процесу діяльності з іншого (персонал потрібно берегти).

Комерційні втрати, частіше за все, носять не технічний характер, тому в цієї роботі буде розглянуто тільки як явище невірного обліку.

Враховуючі вище зазначене можна вважати, що основну увагу слід приділити технічним втратам. Вони обумовлені, насамперед, недосконалою побудовою системи, використанням застарілого обладнання, а також можуть бути викликані використанням енергії неналежної якості.

На рис. 3 зображена структура електроенергетичної системи. З наведеної схеми можна побачити, що по-перше, енергія, що була видобута енергосистемою і енергія, яку отримує споживач, відрізняються на певну кількість втрат. По-друге, що існують межі балансової належності, тобто зони відповідальності у яких ведеться облік використання енергії.

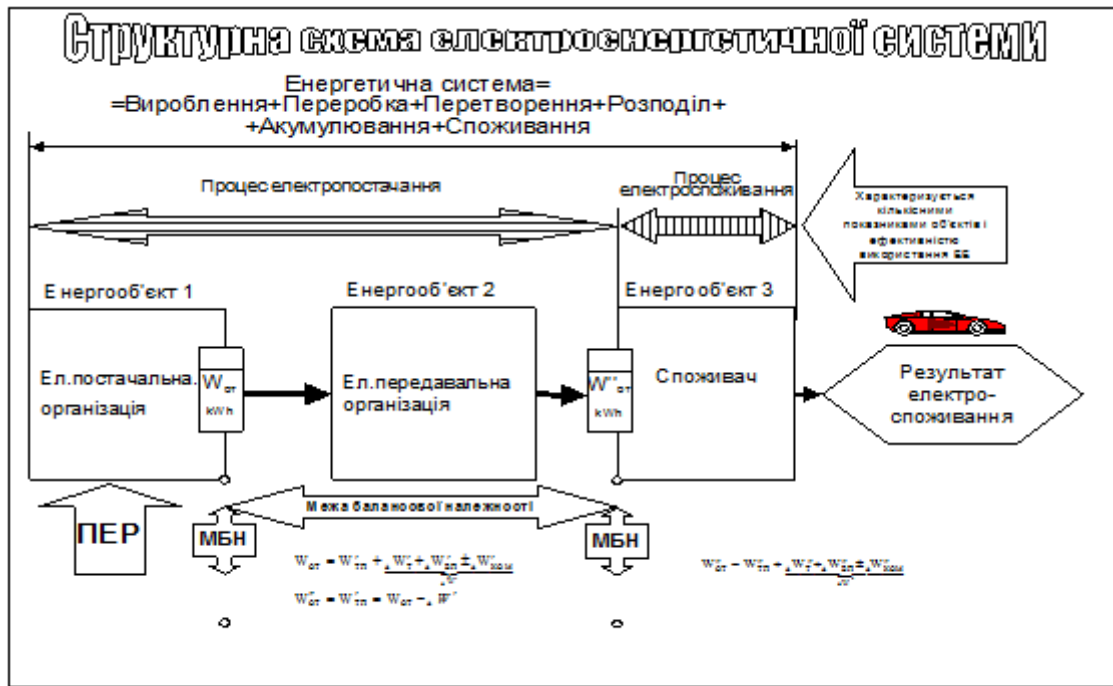


Рис. 3. Структурна схема електроенергетичної системи

На рис. 4. представлена об'єктово-діяльнісна модель електроспоживання. Вона нагадує по своїй структурі замкнену систему автоматизованого регулювання, головною частиною якої є суб'єкт діяльності.

Об'єктово-діяльнісна модель електроспоживання є моделлю діяльності людини, тобто суб'єкту діяльності, з метою досягнення найбільш якісного енергоспоживання, що направ-

лена на елементи електроенергетичного господарства, які в цьому випадку є об'єктами діяльності.

Суб'єкт діяльності має за мету – з найбільшою вигодою отримати та витратити енергію. Усі події можна поділити на дві категорії: на ті, що безпосередньо залежать від діяльності суб'єкта і ті, що залежать опосередковано, або не залежать взагалі.



Рис. 4. Об'єктово-діяльнісна модель електроспоживання

Безпосередньо від суб'єкту діяльності не залежить кількість енергоресурсів держави, діяльність енергогенеруючих та енергопостачальних організацій, діяльність законодавчих та нормуючих органів.

Від роботи суб'єкту діяльності залежить правильний вибір тарифного плану, правильність обліку, вірність постановки та планування виконання завдань на електроспоживання, своєчасна оплата за спожиту енергію, своєчасне і вірне складання договорів з енергопостачальною організацією.

Практично діяльність суб'єкту складається таким чином. Діючи з метою виконання задач споживання електроенергії, суб'єкт користується тарифами (тарифними планами) на постачання електроенергії, складає договір з електропостачальною організацією на постачання електроенергії. Наступним кроком є отримання електроенергії від електропостачальної організації, тобто сприйняття її (енергії) об'єктом електроспоживання, в результаті чого суб'єкт отримує якісь матеріальні блага, тобто результат споживання електроенергії. В процесі отримання електроенергії електропостачальна організація та суб'єкт діяльності здійснюють облік електроенергії. Згідно обліку, суб'єкт діяльності сплачує за отриману електроенергію. Треба звернути увагу на те, що суб'єкт діяльності та об'єкт в сукупності є споживачем електроенергії.

Основна мета об'єкту діяльності – це найвигідніше електроспоживання, тобто таке споживання, яке при найменших вкладених грошах дасть найбільший прибуток. Окрім цього, суб'єкт повинен пам'ятати, що більшість енергоресурсів планети не є відновлюваними. Через це його повинно турбувати і те, як довго енергопостачальна організація зможе отримувати енергію від енергогенеруючої організації. Окрім того, суб'єкт діяльності повинен пам'ятати, що робота енергогенеруючих організацій не є екологічно небезпечною, через це при підвищенні енергоспоживання зростає і забруднення навколишнього середовища.

Все сказане вище суб'єкт діяльності повинен враховувати при здійсненні своєї діяльності. При тому, що через розвиток суспільства потреба в споживанні енергії зростає, є два шляхи для досягнення поставленої мети. Це винахід нових технологій отримання енергії (на даний час нема революційних проривів у науці, таких щоб мали промисловий масштаб) та підвищення ефективності експлуатації існуючого обладнання, тобто енергозбереження.

Таким чином об'єкт діяльності повинен здійснювати енергозберігаючу діяльність для досягнення особистих (або корисних суспільству) інтересів. Ясна річ, що для найбільшої ефективності цієї діяльності, у масштабах країни повинно діяти відповідне законодавство, тобто нормативна база, згідно якої суб'єкт, а з точки зору законодавства це споживач, буде здійснювати свою діяльність.

Об'єктами енергозбереження у першу чергу є СЕП, а також приймачі та споживачі в цілому. Таким чином для вірного здійснення енергозберігаючої діяльності треба знати властивості об'єкту та нормативну базу енергозбереження.

Успішне розв'язання проблеми зниження втрат енергії неможливо без удосконалення методів розрахунку та аналізу втрат.

Відомі такі основні методи розрахунку втрат енергії:

– за максимальним струмом навантаження I_{\max} і повним часом максимальних втрат τ :

$$\Delta W = 3I_{\max}^2 R \tau ; \quad (3)$$

– за максимальними значеннями активного та реактивного навантажень P_{\max} та Q_{\max} і відповідним їм часом максимальних втрат τ_a і τ_p :

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} (P_{\max}^2 \tau_a + Q_{\max}^2 \tau_p) ; \quad (4)$$

– за середньоквадратичним струмом навантаження та повним часом роботи елемента мережі T , в якому визначаються втрати:

$$\Delta W = 3I_{\text{ср.кв}}^2 R T , \quad (5)$$

– за реальним ступінчастим графіком навантаження:

$$\Delta W = 3R \sum_{i=1}^n (I_i^2 T_i) , \quad (6)$$

де I_i – струм ступеня графіка навантаження, А;

T_i – тривалість ступеня, год.

Витрати електроенергії при трансформації, передачі та розподіленні її є неминучими. Вони визначаються фізичними властивостями матеріалів, які використовуються при конструюванні електроустановок. Економічне обґрунтування зниження втрат енергії у мережах – це знаходження відповіді на запитання:

якою ціною й до якої границі вигідно знижувати рівень втрат електроенергії?

У наш час широко використовують спосіб визначення втрат енергії на основі порівняння показів лічильників електроенергії, що встановлені в різних точках мережі. Але цей спосіб має неприпустимі недоліки: він виключає із порівняння такі важливі характеристики, як склад трансформаторної потужності, протяжність ліній передачі, структуру споживання та інші. Крім того, за винятком невеликої кількості лічильників похибка вказаного способу не задовольняє потреби підприємств. Найбільш перспективною в даному плані є дворівнева автоматизована система контролю та управління електроспоживанням (АСКУЕ) [12].

Технічні шляхи раціонального використання електроенергії вельми різноманітні і залежать головним чином від особливостей приймачів електроенергії і конкретних умов електроспоживання. Вони достатньо широко розглянуті в літературі [2, 4, 6, 8, 11]. Перелічимо деякі з можливих резервів енергозбереження.

1. Впорядкування і вдосконалення технологічних процесів. Енергетичні і технологічні режими, як правило, взаємопов'язані. Впровадження нової техніки і технології, модернізація устаткування, автоматизація виробництва, підвищення завантаження і продуктивності технологічного устаткування до паспортного значення, дотримання технологічної дисципліни на всіх стадіях виробничого процесу дають не тільки великий виробничий ефект, але, як правило, і найбільшу економію електроенергії.

2. Поліпшення експлуатації електротехнічного устаткування і зниження втрат електроенергії в електромережах. До таких заходів можна віднести:

- забезпечення економічних режимів роботи силових трансформаторів, особливо тих, що працюють паралельно;
- відключення трансформаторів на неробочі добу і зміни;
- заміну машинних перетворювачів на півпровідниковими;
- заміну незавантажених асинхронних електродвигунів на електродвигуни меншої потужності (завжди доцільно при завантаженні двигуна менш ніж на 45%; при завантаженні до 70% потрібен розрахунок);
- реконструкцію внутрізаводських і зовнішніх електромереж на підвищену напругу: з 0,22 на 0,4 кВ, з 6 або 10 на 35 кВ і з 35 на

110 кВ (втрати електроенергії скорочуються пропорційно квадрату відношення напруги мережі до реконструкції і після неї).

3. Застосування найбільш економічних термічних установок і поліпшення експлуатації електропечей. Значний ефект одержують за рахунок заміни електричних печей опору електроіндукційним нагрівом (питома витрата електроенергії скорочується в 2 рази), продування рідкого металу киснем при виплавці сталі (питоме електроспоживання знижується на 6-7%), здійснення швидкісних плавок сталі із попереднім сортуванням шихти по марках сталі і забезпечення її однорідності (витрата електроенергії знижується на 6-10%), застосування електромагнітного перемішування рідкого металу в дугових електропечах, впровадження автоматичних регуляторів температури печей замість ручного управління (витрата електроенергії знижується на 15-20%), впровадження сучасних способів лиття тощо.

4. Вдосконалення режиму вироблення стислого повітря і впорядкування його витрат. Економія електроенергії при виробленні стислого повітря і його використанні досягається за рахунок:

- зниження температури повітря, що всмоктується компресорами, шляхом розміщення повітропроводу, що всмоктує на північній стороні будівлі, у віддаленості від цехів і стін з великими тепловиділеннями (витрата електроенергії на вироблення стислого повітря знижується на 1% на кожні 2,5°C пониження температури всмоктуваного повітря);
- зниження опору повітропроводу, що всмоктує, шляхом зменшення його довжини, раціонального трасування, збільшення перетину, впровадження фільтрів, що самоочищаються тощо;
- використання ефекту резонансного надуву циліндрів поршневих компресорів (скорочується питома витрата електроенергії на 3-5%);
- зниження номінального робочого тиску компресора і в мережі стислого повітря, якщо це допустимо за технологією;
- впровадження автоматичних регуляторів компресорів для забезпечення постійного тиску стислого повітря пневмоприймачів;
- усунення вібрації повітропроводів і пульсації в них;
- підігріву стислого повітря перед пневмоприймачами шляхом використання для цих цілей вторинних енергоресурсів (тепло газів,

що відходять, зворотної води в системі теплопостачання і т. п.);

- повсякденної боротьби з витоками стислого повітря шляхом систематичного контролю за станом мереж і устаткування, з усуненням дефектів тощо;

5. Застосування економічних способів електрозварювання і забезпечення належного стану зварювального кола і зварювального устаткування. Зниження витрати електроенергії при зварювальних роботах досягається за рахунок:

- реконструкції дугового електрозварювання з постійного струму на змінний (витрата знижується в 2 рази);

- вживання багатоточкових зварювальних машин;

- впровадження швидкісної автоматичної зварки під шаром флюсу замість ручної;

- впровадження схем паралельної роботи зварювальних трансформаторів з автоматичним регулюванням потужності;

- вживання електрозварювання на нижчому рівні напруги;

- впровадження різних схем обмежувачів холостого ходу зварювальних трансформаторів і машин;

- правильного підбору перетинів живлячих і зварювальних проводів;

- постійного контролю за станом контактів зварювального кола і зварювального устаткування тощо;

6. Вдосконалення механічної обробки виробів і поліпшення стану верстатів, механізмів і машин. Економія електроенергії в цьому випадку досягається за рахунок:

- зменшення припусків на заготівках металовиробів при використанні точного лиття;

- заміни стругання фрезеруванням;

- впровадження швидкісного фрезерування, свердлення і шліфування;

- зниження механічних втрат енергії в машинах шляхом підвищення якості збірки і обробки деталей, що труться;

- своєчасного і якісного ремонту і налашки устаткування;

- поліпшення завантаження виробничих машин і механізмів тощо;

7. Застосування своєчасних економічних джерел світла і дотримання раціональних режимів роботи освітлювальних установок. У виді таких джерел світла найбільшого поширення набувають (замість ламп розжарювання) люмінесцентні і ртутні лампи, а для

освітлення великих виробничих цехів, територій кар'єрів, виставок, міських майданів і магістралей – могутні ксенонові і натрієві лампи. Суттєву економію електроенергії дають реконструкція вуличного освітлення на подвійний (вечірній і нічний) режим роботи, автоматизація вмикання і відключення вуличного освітлення по заданому графіку, застосування раціональних світильників, дотримання графіків включення і відключення вітринного і рекламного освітлення, своєчасне відключення електроосвітлення в громадських будівлях, торговельних залах, в під'їздах і дворах житлових будинків тощо;

8. Застосування економічних вентиляторів і раціональна експлуатація вентиляційних установок. Економія електроенергії досягається за рахунок:

- заміни вентиляторів старих типів з ККД 50-63 % сучасними вентиляторами з ККД 80-86 %;

- впровадження економічних способів регулювання вентиляторів;

- використання природної витяжної вентиляції від термічних і ковальських печей;

- впровадження автоматичного управління вентиляційними установками;

- відключення вентиляційних установок в обідні перерви тощо;

9. Поліпшення експлуатації насосних установок і впорядкування витрачання води. Підвищення ККД насосних установок і зниження питомої витрати електроенергії досягаються за рахунок:

- підтримки мінімальних зазорів в ущільненнях насосів;

- забезпечення відповідності між напірною характеристикою насосів і опором тракту;

- дотримання встановленої оптимальної температури води, що охолоджує різні технологічні агрегати;

- впровадження оборотного водопостачання;

- ліквідації витоків і безцільного витрачання води в промислових, комунальних і інших водопровідних мережах шляхом систематичного ремонту пристроїв водоспоживання, несправної арматури тощо.

Разом з перерахованими загальними технічними заходами щодо економії електроенергії є заходи, властиві конкретним галузям промисловості або транспорту [13]. Тобто для кожного конкретного виробництва, крім перерахованих загальних шляхів економії електроенергії, можна намітити заходи, властиві саме

цьому виробництву.

Стан проблеми енергозбереження, а головне – її наповнення, просто підштовхує до створення спеціальної освітньої програми для вищих навчальних закладів України, де буде представлено сутність цієї проблематики, її наповнення та шляхи її вирішення. Це може бути спеціальність або спеціалізація для спеціальності 141 – Електроенергетика електротехніка та електромеханіка п назвою: «Енергозберігаючі технології» [14, 15].

Висновки

Порівняльний аналіз даних, які наведені в літературі [1- 4, 7, 10], дозволяє зробити такі висновки.

Енергозбереження – один з перспективних напрямів підвищення ефективності промислового виробництва і зниження основних показників енергоспоживання.

До суттєвої економії енергоносіїв і коштів, які стягуються за їх використання, повинні привести:

- державне управління енергозбереженням;
- створення законодавчої бази енергозбереження, яка забезпечує пріоритетність політики енергозбереження;
- приведення нормативної бази енергозбереження до середнього світового рівня;
- створення і широке впровадження високоефективних технологій для виробництва, транспортування, розподілу та використання енергоносіїв;
- впровадження енергозберігаючих технологій, тобто використання сучасних уявлень про ефективність організаційно-технічних систем енерговикористання;
- періодичне проведення енергетичного і матеріального аудиту, щоб розуміти, куди саме витрачаються енергоресурси;
- підвищення відповідальності (насамперед економічної) за зверхнормативні витрати палива та енергії;
- розробка прозорої системи розрахунків і заходів по зменшенню не платежів;
- стимулювання енергозбереження шляхом пільгового оподаткування витрат, що спрямовуються на реалізацію енергозберігаючих заходів;
- впровадження сучасних автоматизованих приладів і систем розподілу і обліку енергоресурсів;

– впровадження в навчальний процес вищих навчальних закладів України спеціальності (спеціалізації) «Енергозберігаючі технології».

Література

1. Черемісін М. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням / М. М. Черемісін, В. М. Зубко. – Харків : Фактор, 2005. – 192 с.
2. Мозирський В. І. Аналіз технологічних витрат електроенергії в ОЕС України // В. І. Мозирський, С. С. Вакуленко. – Енергетика и электрификация. – 2000. – № 4. – С. 21-24.
3. Argun Shch. Types of alternative energy and prospects for their use in Ukraine / Shch. Argun // Автомобильный транспорт. – Х. : ХНАДУ. – 2014. – Вып. 35. – С. 29-33.
4. Криволапов А. Н. Эффективное использование и альтернативная энергетика / [А. Н. Криволапов и др.] ; под. ред. А. К. Шидловского. – К. : Українські енциклопедичні знання, 2000. – 302 с.
5. Основні положення енергетичної стратегії України на період до 2030 р. Міністерство палива та енергетики України, Київ, 2007. – 21 с.
6. Малахов Ю. В. О стратегии и основных направлениях развития электроэнергетики Украины в первой половине XXI века / Н. Е. Шестеренко, И. Е. Ворбьев // Энергетика и электрификация. – 2001. – №7. – С. 8-14.
7. Аргун Ш. В. Ретроспектива развития объединенной энергетической системы Украины / Ш. В. Аргун // Вісник ХНАДУ. – 2014. – № 67. – С. 134-137.
8. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. // Шестеренко В. Є. – Вінниця, 2004. – 655 с.
9. Комплексна Державна Програма енергозбереження України. – К., 1996. 76с.
10. Правила користування електричною енергією. – К., 2002. 186 с.
11. Ефимов А. В. Новости на рынке счетчиков. / Ефимов А. В. – Газета «Электротема». – №18, сент. – окт., 2014.
12. Праховник А. В. Сучасні принципи побудови АСКОВЕ суб'єктів ОРЕ України та АСКОВЕ споживачів. / Праховник А. В. та інші. – Електропанорама, №10, 2016. С. 74–77.
13. Hnatov A. Energy saving technologies for urban bus transport / A. Hnatov, Shch. Arhun, S. Ponikarovska // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. – №14(4). – С. 4649-4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
14. Gnatov A. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» / Andrey Gnatov, Shchasyana Argun, Olga Ulyanets // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer

Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – P. 1203–1207, IEEE Catalog Number: CFP17K03-USB. – ISBN: 978-1-5090-3005-7.

15. Енергозберігаючі технології на транспорті – новітня спеціальність для освітньо-кваліфікаційного рівня магістр. [Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці. Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції] (16 березня 2017 р., м. Харків). / А.В. Гнатів, Ш.В. Аргун, О.А. Ульянець. – Харків : ХНАДУ, 2017. – 209 с. – С. 23 – 28.

References

- Cheremisin M. M., Zubko V. M. Avtomatyzatsiya obliku ta upravlinnya elektrospozhyvanniam [Automation of accounting and management of power consumption]. – Kharkiv : Faktor , 2005. – 192 p.
- Mozyrs'kyu V. I. Mozyrs'kyu V. I., Vakulenko S. Ye. Analiz tekhnolohichnykh vytrat elektroenerhiyi v OES Ukrainy [Analysis of technological electricity consumption in the UES of Ukraine.] –Energetika i elektrifikatsiya. – 2000. – no. 4. – pp. 21-24.
- Argun Shch. Types of alternative energy and prospects for their use in Ukraine // Avtomobilniy transport. – H. : HNADU. – 2014. – no. 35. – pp. 29-33.
- Krivolapov A. N. Effektivnoe ispolzovanie i alternativnaya energetika [Effective use and alternative energy.] – K. : Ukrayins'ki entsiklopedychni znannya, 2000. – 302 p.
- Osnovni polozhennya enerhetychnoyi stratehiyi Ukrainy na period do 2030 r. Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy [The main thrust of the energetic strategy of Ukraine for the period up to 2030.] – Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy, Kyiv, 2007. – 21 p.
- Malahov Yu. V., Shesterenko N. E., Vorbev I. E. O strategii i osnovnih napravleniyah rozvitiya elektroenergetiki Ukrainyi v pervoy polovine XXI veka [O strategii i osnovnih napravleniyah rozvitiya elektroenergetiki Ukrainyi v pervoy polovine XXI veka.] // Energetika i elektrifikatsiya. – 2001. – no. 7. – pp. 8-14.
- Argun Sch. V. Retrospektiva rozvitiya ob'edinennoy energeticheskoy sistemy Ukrainyi [Retrospective of the unified energy system of Ukraine.] // Visnyk KhNADU. – 2014. – no. 67. – pp. 134-137.
- Shesterenko V. Ye. Systemy elektrospozhyvannya ta elektropostachannya promyslovykh pidpryyemstv [Systems of electric power consumption and electric supply of industrial enterprises.] // Vinnytsya, 2004. – 655 p.
- Kompleksna Derzhavna Prohrama enerhoberezhennya Ukrainy [Integrated State Energy Conservation Program of Ukraine.] – K., 1996. 76 p.
- Pravyla korystuvannya elektrychnoyu enerhiyeyu [Rules of using electric energy.] – K., 2002. 186 p.
- Efimov A. V. Novosti na rynke schetchikov [News on the counters market.] // Gazeta «Elektrotema». – no. 18, 2014.
- Prakhovnyk A. V. Suchasni pryntsyipy pobudovy ASKOE sub"yektiv ORE Ukrainy ta ASKOE spozhyvachiv [Modern principles of construction of ASECA subjects of ORE of Ukraine and ASKOE users.] // Elektropanorama, no. 10, 2016. – pp. 74-77.
- Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. – no. 14(4). – pp. 4649-4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
- Gnatov A., Argun Shch., Ulyanets O. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – P. 1203–1207, IEEE Catalog Number: CFP17K03-USB. – ISBN: 978-1-5090-3005-7.
- Hnatov A.V., Arhun Shch.V., Ulyanets' O.A. Enerhoberezhayuchi tekhnolohiyi na transporti – novitnya spetsial'nist' dlya osvithno-kvalifikatsiynoho rivnya mahistr [Energy-saving technologies in transport - the newest specialty for the educational-qualification level of the master.] // Synerhetyka, mekhatronika, telematyka dorozhnikh mashyn i system u navchal'nomu protsesi ta nauksi. Zbirnyk naukovykh prats' za materialamy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi], 16 March 2017 p., Kharkiv : KhNADU, 2017. – 209 p. – pp. 23 – 28.

Поступила (received) 15.03.2018 р.

Гнатів Андрій Вікторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, kalifus76@gmail.com, тел. +38 066-7438-08-87,

Аргун Щасяна Валіковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,

Дзюбенко Олександр Андрійович¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодівна², к.т.н., доц., тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Левенець Аліна Олександрівна², студент, тел. +38 0663323017, kalifus@yandex.ua

Пілявець Ольга Олегівна², студент, тел. +38 0990802377, ae.hnadu@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків,

вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

Energy saving in power supply systems

Abstract. Problem. *Over the past 20 years, the potential of cost-effective and highly cost-recovery energy saving in Ukraine has been practically consumed. Therefore, putting into practice some new ways and methods of saving all kinds of energy is necessary. The right choice for energy-efficient reorganization of industry, energy, housing and communal services determines the future of Ukraine. In order to use electric energy by consumers, it is necessary not only to generate it by power plants, but also to transfer to a particular consumer. The total length of electric networks in Ukraine is extensive but, unfortunately, they don't always meet modern technical requirements. This leads to significant energy losses while transferring from manufacturer to consumer. Goal.* *To analyze technical ways of using electric energy, methods and means of saving energy and resources efficiently. Methodology.* *The analytical research methods on the development and application of systems and ways of energy saving and efficient use of energy resources have been applied. Results.* *The analysis of technical ways to use efficiently electric energy, methods and means of saving energy and resources has been carried out. The technical ways to use efficiently electric energy and the main measures (activities) for its saving have been analyzed. It is noted that in order to save energy resources and the funds for their use significantly, the following steps are required: state energy saving management; creation of an energy saving legislative framework, implementation of energy saving technologies. The specialty (specialization) "Energy saving technologies" has been offered to introduce into the educational process of higher engineering educational establishments of Ukraine. Originality.* *The research methods for developing and applying the methods of systems and ways of energy saving and efficient use of energy resources have been further developed. The application of object and activity-oriented-model for energy saving management has been considered. Practical value.* *The most forward-looking system has been proved to be a two-level automated system for controlling and managing the required power consumption. The possible ways of reducing losses in power supply systems have been estimated.*

Key words: *power supply system, energy losses, ways of energy saving, electric power, electric networks, electricity saving.*

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Arhun Shchasiana¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Dziubenko Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Tarasova Valentina², Ph.D., Ass., 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Levenets Alina², student, tel. +38 0663323017, kalifus@yandex.ua,

Pilyavets Olga², student, tel. +38 0990802377, ae.hnadu@gmail.com,

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

²Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

Энергозбереження в системах електропостачання

Аннотація. *Проведен аналіз технічних путей раціонального використання електроенергії, а також методів і засобів енергозбереження і економії енергоресурсів. Проаналізовані технічні пути раціонального використання електроенергії і основні резерви (мероприяття) по його збереженню. Рассмотрено применение объектно-деятельной модели для управления энерго-сбережением. Оценены возможные пути уменьшения потерь в системах электроснабжения.*

Ключевые слова: *система електропостачання, втрати енергії, пути енергозбереження, електрична енергія, електричні мережі, економія електроенергії.*

Гнатів Андрій Вікторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валіковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,

Дзюбенко Олександр Андреевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодовна², к.т.н., доц., тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Левенєц Аліна Олександрівна², студент, тел. +38 0663323017, kalifus@yandex.ua

Пілявець Ольга Олеговна², студент, тел. +38 0990802377, ae.hnadu@gmail.com

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

²Харківський національний університет Воздушних сил імені Івана Кожедуба, Інститут гражданської авіації, 61023, г. Харків, вул. Сумська 77/79.

ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Черновол О.В.¹,

¹Харківський державний автотранспортний коледж

Анотація. На основі системного аналізу приведено розгляд сучасного рівня впровадження автомобілів з електричними силовими установками, їх місце в різних сферах функціонування суспільства. Стаття розрахована на фахівців в галузі виробництва, експлуатації транспортних засобів, транспортної економіки, енергетики та екології, а також може бути корисною особам, які цікавляться перспективними і екологічними видами транспорту.

Ключові слова: електромобіль, гібрид, плагін-гібрид, автомобіль з нульовим рівнем шкідливих викидів (ZEV), паливні елементи (fuelcell), тягова акумуляторна батарея (ТАБ), електростанція (ЕЗС).

Вступ

Зміна клімату, погіршення екології і забруднення навколишнього середовища - це неминучі проблеми, які вимагають активного і оперативного рішення. Економісти, соціологи і кліматологи шукають шляхи зменшення глобального потеплення, оптимізації викидів шкідливих речовин в повітря і очищення вод. Всі вони згодні з тим, що електромобіль пропонує стійке рішення в боротьбі із зміною клімату, а також сприяє поліпшенню якості повітря, особливо в умовах великих міст. Враховуючи переваги електромобіля для суспільства і екології, кількість учасників на ринку електромобілів в світі стрімкого росте. Але при цьому виникають певні обмеження, бо впровадження транспортних засобів з електричним приводом охоплює суміжні галузі, які здійснюють вплив на поширення електромобілізації.

Аналіз інформації щодо впровадження електромобілів на сучасному етапі в Україні носить однобічний характер. Він викликаний, переважно, поглядом з боку електромобілізації як ринку збуту, хоча публікації щодо необхідності впровадження автомобілів з електричними силовими установками вітчизняними вченими ведуться досить давно. Так авторами [1] досить повно розглянуто теоретичні та практичні основи створення екологічно чистих автотранспортних засобів. Сучасні розробки цих авторів продовжують актуалізацію тематики, але вони спрямовані, переважно, на конструкторсько-теоретичну розробку і не повністю враховують особливості функціонування ринку електромобілів в цілому.

В публікаціях [2], [3] розглядається проблема і перспективи розвитку електромобі-

лів, але в них навпаки приведено лише актуалізацію теми, описання ринку, і не вистачає комплексності в підході.

Іноземні видання приділяють серйозну увагу інформаційному забезпеченню впровадження автомобілів з електричними приводами, при цьому в них широко розглядаються питання обґрунтування переваг транспорту з електричними силовими установками, особливості їх енергозабезпечення [5], [6]; викладаються принципи функціонування електромобілів і гібридів, основи обслуговування і безпеки [7]; розробці математичних моделей [8]. Впровадження електромобілів та перспективи розвитку їх конструкцій і складових частин присвячено спеціальні звітні і прогнозні дослідження спеціалізованих міжнародних видань. Так Bloomberg new energy finans (BNEF) – галузева дослідницька фірма, яка спеціалізується на матеріалах для професіоналів в галузі енергетики; International energy agensy (IEA) – Міжнародне енергетичне агентство, яке надає дані, проводить аналіз і пропонує рішення по всім видам палива і технологіям. Ці організації регулярно публікують аналіз ринків, статистичні дані та прогнозні матеріали, одним з напрямків яких є транспортні технології з електричним приводом [9, 10].

На території України зараз існує недостатня кількість професійних видань і аналітичних досліджень в галузі впровадження електромобілів, що здійснює вплив на популяризацію даного напрямку. Фірми-учасники ринку електромобілів не розповсюджують інформацію про технології виробництва та обслуговування транспортних засобів, а основна інформація надається періодичними виданнями та

ресурсами в мережі Internet, але така інформація не завжди носить професійний підхід і комплексність.

Маркетингові дослідження ринку електромобілів проводить компанія IRS Group [11]. Найбільш повно і різнобічно можна знайти інформацію про конструкцію електромобілів і їх систем, новини і тенденції розвитку на порталі NevCars – ресурсові, присвяченому ринку екологічно чистих автомобілів в Україні [12].

В даній статті передбачається на основі системного аналізу розглянути процес впровадження електромобілів в транспортну мережу і при цьому визначити вплив на інші галузі та системи життєдіяльності суспільства.

Розвиток ринку електромобілів викликаний рядом суттєвих переваг електричного приводу перед класичним механічним з двигунами внутрішнього згорання.

До основних переваг електроприводу можна віднести:

- вигідна характеристика крутного моменту – гарна динаміка руху та спрощення трансмісії (відсутність коробки передач);
- відсутність шкідливих викидів та шуму;
- легкість керування;
- збереження енергетичних ресурсів;
- зменшення витрат на обслуговування.

При цьому існує ряд недоліків, які впливають на застосування електромобілів:

- обмежений запас ходу;
- обмеження мереж зарядних станцій, тривалість зарядки;
- висока вартість (через високу вартість ТАБ);
- підвищена небезпека (робота з високовольтною електромережею).

Для усунення деяких недоліків електроприводу застосовуються ряд заходів, який передбачає, перш за все, застосування комбінованих силових установок – гібридів.

Для автомобілів з електричним приводом застосовуються спеціальні позначення, які ми будемо застосовувати по ходу розгляду проблеми:

ZEV (Zero Emission Vehicle) – автомобіль з нульовим рівнем шкідливих викидів;

BEV (Battery Electric Vehicle) - електромобіль з тяговою батареєю;

HEV (Hybrid Electric Vehicle) – гібрид, автомобіль з повним гібридним приводом, може виконуватись з послідовною чи паралельною схемою включення силових елементів;

PHEV (PlugInHybridElectric Vehicle) – плагін-гібрид, автомобіль з повним гібридним

приводом і можливістю заряджання від зовнішнього джерела струму;

RXBEV (Range Extender Battery Electric Vehicle) - акумуляторний електромобіль з додатковим приводом генератора для збільшення запасу ходу;

FCBEV (Fuel Cell Battery Electric Vehicle) - акумуляторний електромобіль паливними елементами (fuelcell).

На сьогоднішній день ринок електромобілів зростає значними темпами, так якщо в 2013 році продаж електромобілів EV (BEV+PHEV) становив 0,4 млн.шт [10], та за 2017 рік зареєстровано більш 3 млн. шт. Основних споживачів ринку електромобілів приведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Структура реєстрації електромобілів по основним учасникам ринку

Країна	Кількість реєстрацій, млн.шт	Доля ринку, %
Китай	1,2	38,75
США	0,8	24,0
Японія	0,2	6,25
Норвегія	0,19	5,9
Великобританія	0,14	4,4
Нідерланди	0,12	3,75
Франція	0,12	3,75
Німеччина	0,12	3,75
Інші	0,31	9,4

Ще 6 років назад активним розвитком екологічних видів транспорту займалися лише Nissan, Mitsubishi, Toyota (Японія), Tesla (США) і Renault (Франція). Зараз же в результаті законодавчих екологічних ініціатив до процесу реорганізації виробництва долучилися майже всі ведучі концерни світу: BMW, Ford, General Motors, Volkswagen, Fiat, Daymлер, Audi, Honda, Jaguar і Porsche. Volvo з 2019 року планує взагалі замінити автомобілі з ДВЗ на електричний привід. Гіганти ІТ-індустрії Alphabet та Apple готують свої версії електричних безпілотних автомобілів.

Значними темпами зростає виробництво електромобілів китайськими виробниками BAIC, BYD, SAIC, які входять до двадцятки найбільших виробників ZEV.

Згідно різних прогнозних сценаріїв розвитку автомобілів з електричним приводом (New Policies Scenario та EV30@30) в світі в 2030 році слід очікувати від 120 до 220 млн. автотранспортних засобів (легкових, автобусів і вантажних) [10]. За прогнозами [9] доля продажів нових електромобілів становитиме

54 % та 33% від загальної кількості автомобілів.

Розвиток впровадження автомобілів з нульовими викидами шкідливих речовин прискорює державна політика ведучих держав світу. З метою зменшення кількості шкідливих викидів та зменшення залежності від нафтопродуктів ряд європейських держав: Франція, Німеччина, Нідерланди, Норвегія і Китай, оголосили наміри повністю відмовитися від ДВЗ.

Яка ж ситуація із впровадженням електромобілів в Україні?

Екологічні стандарти України стають більш жорсткими: з 2016 року діє стандарт Євро-5, а з 2020 вводиться в дію Євро-6.

В травні 2018 року Кабінет Міністрів України схвалив «Національну транспортну стратегію до 2030 року» (Розпорядження КМУ від 30.05.2018 №430-р) яка «...визначає пріоритети комплексного формування транспортної політики та ефективного державного управління, основні напрямки розвитку транспортної галузі». З метою створення ефективно працюючого транспортного комплексу стратегія враховує світові тенденції стосовно транспорту:

- використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, інтелектуальних транспортних систем;
- використання паливно-економічних та екологічних транспортних засобів, застосування альтернативних видів палива, «зелених» видів транспорту;
- пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та збереження цінних природоохоронних територій.

Щодо сучасного стану ринку електромобілів в Україні, то згідно даних ГСЦ МВС України [11] структура зареєстрованих електромобілів в Україні станом на вересень 2018 року по основним регіонам приведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Кількість зареєстрованих в Україні електромобілів і гібридів

Область	Кількість реєстрацій, млн.шт	Доля ринку, %
м. Київ і область	5546	35,3
Одеська	2471	15,7
Харківська	1960	12,5
Дніпропетровська	934	6,0
Львівська	895	5,7
Інші	3890	24,8
Всього	15696	100

При цьому доля гібридних транспортних

засобів (HEV, PHEV, RXBEV) становить 47%, а «чистих» електромобілів – 53%.

Структура реєстрацій електромобілів в Україні (без HEV, PHEV, RXBEV) за віком має наступні показники: нові електромобілі та до 1 року – 1%, від 1 до 3 років – 29%, 4 роки і більше – 70%, (середній вік становить 4,2 роки). Щодо розподілу за найбільш розповсюдженими моделями: Nissan Leaf – 73%, BMW i3 – 4%, Tesla Model S – 3%, Ford Focus та Renault Kangoo – по 2%, на інші моделі загалом доводиться 15% [11].

Офіційно на ринок продажів електромобілів в Україні виходять (переважно з 2018 року) лише Nissan, BMW, Tesla, Renault та Hyundai.

Основний імпорт електромобілів, на даний час близько 90 %, припадає на США. Основними критеріями є низька вартість, доступність оформлення, та величина пропозицій. Ринок в США більше будь-якої з європейських країн, отже, на нім сильніше конкуренція і нижча ціна. При цьому існують певні проблеми, які необхідно враховувати:

- відмінність стандартів електромережі - необхідність враховувати в зарядних пристроях і пунктах зарядки;
- відмінність світлотехнічних стандартів (освітлювальні прилади та світлова індикація)– необхідно забезпечити переобладнання до діючих європейських стандартів;
- тривалість та додаткові витрати на доставку;
- відсутність попередньої інформації про автомобіль, його можливі пошкодження при аварії чи після потрапляння у воду.

Однією з причин обмеження ввозу європейських електромобілів є законодавство в ЄС: Згідно йому, електроавтомобілі поставляються на європейський ринок без батареї, яку власник повинен узяти в оренду. При продажі такого автомобіля з батареєю виникають додаткові складності з оформленням документації.

Розвиток ринку електромобілів підтримується державою. З січня 2018 року в Україні діє відміна акцизних і митних зборів для імпортуємих електромобілів, що зменшує вартість на 17-20%.

В грудні 2017 року експерти Офіса ефективного регулювання BRDO (<http://brdo.com.ua>) представили Концепцію розвитку ринку електрзарядних станцій в Україні, яка була розроблена на основі досліджень ринку. Згідно концепції розвиток ринку електромобілів в

Україні стримується питаннями їх обслуговування, умовами під'єднання до електромереж, регламентації статусу зарядних пристроїв та зарядних станцій, що вимагає створення відповідної законодавчої підтримки.

Концепція розвитку ринку електрзарядних станцій передбачає:

- облаштування ЕЗС кожного 10-го паркувального місця на великих парковках та автостоянках;
- вільний доступ постачальників та споживачів електроенергії до ЕЗС;
- можливість купувати та продавати електроенергію в режимі онлайн;
- прозорий порядок взаємодії операторів ЕЗС з місцевими органами влади, спрощення процедури отримання дозвільних та супутніх документів.

Концепція передбачає повну цифровізацію процесу. Так, в єдиному додатку користувач зможе в автоматичному режимі знайти ЕЗС, відстежити вільні паркомісця з електрзарядкою, отримати інформацію про ціни на послуги з користування ЕЗС.

На сьогодні в Україні працює близько 1500 електрозаправних станцій, які розміщуються, переважно, поблизу ресторанів, торгівельно-розважальних центрів, готелів, ринків і лише впроваджується їх розміщення на трасах, в тому числі на автозаправних станціях (АЗС). Переважну частину ЕЗС становлять малопотужні (3-15 кВт), і лише 10-15 % швидкісні ЕЗС (більш 40 кВт).

За словами заступника міністра регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства Лева Парцхаладзе обговорюється введення в Україні відповідної державної будівельної норми (ДБН), яка передбачає відведення 5% місць на паркінгах для електромобілів.

В січні 2018 року Львівська міська рада затвердила концепцію розвитку електромобільності у місті до 2025 року, яка передбачає зменшити забруднення повітря та шумового навантаження на 20%, а також збільшити кількість електричних транспортних засобів до 20% від усіх зареєстрованих у Львові.

Що ж стосується електричного громадського транспорту, то рівень його використання у 2025 році має бути не меншим за 40% від загальної кількості. Крім того, заплановано розвинути мережу зарядних станцій в межах 15 хвилин пішої доступної в будь якій точці міста. Пропонується поступова заміна комунального автотранспорту на автомобілі з еле-

ктродвигуном, а також розробити низку заохочень для електроавтомобілів – зниження або скасування оплати за паркування та можливість заїзду в спеціальні зони, де буде заборонено в'їзд автомобілям з ДВЗ.

Влітку 2018 року відбулися переговори міністерства інфраструктури України з представниками китайського автовиробника BYD, на яких обговорювалось питання створення в Україні підприємства з випуску акумуляторних батарей для електричних транспортних засобів. Було відмічено перспективність даного проекту через наявність в Україні власного запасів літію, а також можливість безперешкодного експорту в країни Європи в межах співробітництва з ЄС.

Помічено, що поступово до України приходить європейська мода на екологічні автомобілі. Особливо активно цю тенденцію переймає молодь, яка все частіше називає екологічність чи не головним критерієм при виборі моделі, а економічність і ціну ставить на друге і третє місце відповідно.

Тому широке впровадження ринку електромобілів в Україні потребує комплексного підходу, який дозволить визначити проблеми та обмеження, знайти шляхи їх усунення або зменшення, при цьому визначити нові недостаючі ланки в функціонуванні цієї системи та можливі види діяльності для підприємств різних форм власності.

Електромобілі - це технологія, яка вимагає створення спеціальної екосистеми для повноцінної експлуатації електромобілів. Цей процес охоплює велику кількість учасників. Окрім традиційних учасників, таких як автовиробники, дилери, виробники і установники зарядних станцій, учасниками екосистеми електромобілів є енергетичні компанії, компанії з утилізації батарей і компанії, які дають “друге життя” батареям. Також велику роль в підтримці екосистеми мають державні і фінансові структури, які надають додаткові унікальні пільги для власників електротранспорту.

Схематично зв'язок електромобілізації з іншими сферами функціонування держави можна привести в наступному вигляді (рисунок 1).

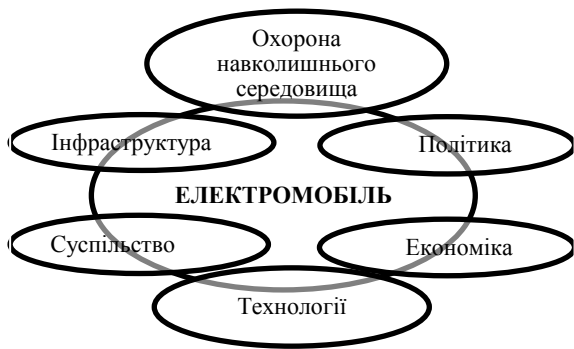


Рис. 1. Зв'язок електромобіля з різними сферами життєдіяльності

Що ж становить складові системи і які існують обмеження для них?

Політика:

- міжнародні норми з обмежень максимальних величин шкідливих викидів;
- введення зон з обмеженими викидами або вільними від викидів шкідливих речовин;
- плани розвитку;
- закупівля транспортних засобів для потреб державних і комунальних служб, встановлення безкоштовних зарядних станцій;
- преференції та субсидії: Дозвіл на пересування електромобілями виділеними смугами, окремі паркувальні місця, безкоштовне паркування електромобілів.

Світовий досвід стимулювання розвитку електромобільності у значній мірі покладається на загальнодержавні програми та стратегії, при цьому не виключаючи місцеві ініціативи, вплив яких також доволі значний. Переважно всі великі міста та регіональні центри мають стратегії розвитку електромобільності, сформовані як окремий документ, або у складі транспортних чи екологічних стратегій. З досвіду інших країн, найбільш дієвими заходами для стимулювання придбання електромобілів є прямі субсидії або податкові пільги та наявність зручної інфраструктури для зарядки електромобілів.

Охорона навколишнього середовища:

- вплив на зміну клімату, зменшення шкідливих викидів, зменшення шумового та теплового навантаження;
- раціональне використання корисних копалин.

Окрім загальновідомих екологічних переваг електромобілів існує декілька факторів, які необхідно враховувати. Одним з них є джерела, з яких отримують електроенергію для живлення батарей. За статистичними даними міжнародної Організації економічного

співробітництва і розвитку (ОЕСД) на виробництво електроенергії з горючих видів палива (вугілля, нафтопродукти, природний газ, біопалива) в 2016 році доводилось 67,3 % від загального валового виробництва електроенергії, а в 2017 році - 59,3 %, при цьому частка виробництва електроенергії для країн, які не входять до складу ОЕСД доходять до 72,8%. При цьому спостерігається зростання частки з відновлювальних джерел: вітрової на 15% та сонячної – на 22% (в порівнянні з 2016 роком).

За даними джерела [5] якщо порівняти коефіцієнт корисної дії (ККД) автомобіля з ДВЗ та електроприводом, ми бачимо істотну різницю: 13-15% проти 70-72% відповідно. Але якщо порівняти використання енергії, отриманої з 1 літра нафти, та ККД буде становити 13% проти 16% для електромобіля. Тому зменшення кількості шкідливих викидів та економія не такі суттєві, якщо електроенергію отримуємо за рахунок спалювання палив.

Економіка:

- обмежена кількість запасів видобуваних видів палив;
- незалежність від експортерів нафтопродуктів та зростання рівня цін на них.

В економічному аспекті необхідно враховувати витрати: на збільшення кількості споживання електроенергії та на виробництво складових частин, зокрема акумуляторних батарей. Так вартість АКБ суттєво знизилася і зараз становить близько 200\$ за 1 кВт/год (в 2010 – близько 1000\$), але необхідна значна кількість цих батарей, а для їх виробництва потрібні відповідні ресурси (літій та інші). Необхідно враховувати можливості вторинного застосування акумуляторних батарей: так їх можна застосовувати для тимчасового чи резервного зберігання електроенергії. позитивним є можливість балансування електромереж через раціональне добове споживання електроенергії. Окрім цього передбачається перерозподіл між галузями виробництва: збільшення електроніки і інтелектуальних систем при зменшенні продукції, пов'язаної з виробництвом двигунів внутрішнього згорання та їх комплектуючих.

Технології:

- технічні переваги електромоторів над ДВЗ, високий коефіцієнт корисної дії;
- впровадження смарт-технологій, автоматизація процесів, логістика

Також є фактори які необхідно враховувати: підвищення небезпеки, пов'язаною з ви-

сокою напругою, необхідність розвитку технологій утилізації і вторинної переробки складових (ТАБ).

Суспільство:

- зростання мобільності людей;
- зростання попиту на автомобілі з меншими витратами палива та шкідливих речовин (тенденції моди, престижу, здорового способу життя);
- зростання застосовуваності електричного приводу, зручності використання в мегаполісах.

Необхідно враховувати трудові ресурси: їх вивільнення та необхідність їх підготовки чи перепідготовки.

Інфраструктура: розвиток інфраструктури шляхів та мереж для зарядки електромобіля: вдома/на роботі/в дорозі.

Проблемою є наявність декількох не сумісних між собою типів зарядки електромобілів, тобто конкретний електромобіль може зарядитися не на кожній ЕЗС.

В першу чергу зарядні пристрої розділяються по рівням потужності, в США їх називають Level 1, 2, 3. В Європі стандарт ІЕС 62196 визначає наступні потужності зарядок: Mode 1, 2, 3, 4. Окрім цього існують декілька окремих стандартів зарядних пристроїв. Японські виробники підтримують стандарт CHAdeMO, який є однаковим у всьому світі (Toyota, Nissan, Mitsubishi). У Tesla Motors свій стандарт Superchargers, але він різний для США і Європи. Ці станції працюють на більш високій потужності в порівнянні з технологіями зарядки (CHAdeMO чи CCS) і мають спеціальний інтерфейсний штекер, який може застосовуватися лише електромобілями Tesla. Всі інші виробники застосовують в США - SAE Combo (CCS), а в Європі SAE Combo2. В Китаї застосовується роз'єм GB/T 20234. Окремим напрямком розвиваються безконтактні зарядки (Proterra, ABB, Evatran і інші), які особливо перспективні для заряджання електричного комерційного транспорту (автобусів та вантажівок), при цьому вони також мають різні стандарти і виконання, а серійні автомобілі в своїй більшості не підтримують подібні режими зарядки.

З метою дослідження можливостей впровадження та ефективного застосування електромобілів пропонуємо комплексну схему взаємодії різних ланок, задіяних при функціонуванні електромобіля як об'єкта ринку (дивись рисунок 2).



Рис. 2. Система зв'язків при функціонуванні електромобіля

Ми бачимо, що функціонування системи можливе лише в рамках правового поля - національного законодавства, міжнародних і місцевих нормативних документів і обмежень. При розгляді електромобіля (EV), як головного об'єкта вважаю за доцільне виокремити як додаткові елементи системи тягову акумуляторну батарею (ТАБ) і зарядні пристрої, бо їх функціонування вимагає за діяння специфічної інфраструктури і вони при цьому здійснюють суттєвий вплив на роботу всієї системи. Функції об'єктів (виробництво, реалізація, сервіс) забезпечуються відповідними ресурсами, при цьому сам об'єкт - електромобіль - здійснює вплив на екологію, яка виступає як загальний фактор.

Таким чином в даній статті запропоновано схему функціонування електромобіля, як об'єкта складної системи, із вказанням задіяних функціоналів. Така схема дозволить розглядати впровадження електромобілізації комплексно, при цьому можна визначити окремі проблеми при застосуванні різних програм розвитку, а також можливі ринки виробництва чи послуг.

Література

1. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двадненко В.Я. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика// ХНАДУ, Харків. -2011.- 236 с.

2. Карамян О.Ю., Чебанов К.А., Соловьева Ж.А. Электромобиль и перспективы его развития // *Фундаментальные исследования*. – 2015. - №12-4/ - с 693-696. <http://www.fundamental-researche.ru/ru/article/>
3. Шевчук Я.В., Лалакулич М.Ю., Шевчук О.І. Перспективи експлуатації та конкурентна спроможність електромобілів в Україні // *Науковий вісник Херсонського державного університету*. / випуск 21, частина 2.2016. – с. 43-46.
4. Поливанов А.А., Галушак В.С., Зенина О.А., Тихонин С.Н. Современный электромобиль: основные проблемы и перспективы развития // *Международный студенческий научный вестник*. – 2018. - №3-2. <http://www.Eduherald.ru/ru/article/>
5. Energy Systems for Electric and Hybrid Vehicles// Edited by K.T. Chau/ The Institution of Engineering and Technology// 2016/ 494 с., [www/theiet.org](http://www.theiet.org).
6. Gianfranco Pistoia. Electric and hybrid vehicles: power sources, models, sustainability,infrastructure and the market// Consultant, Rome, Italy./Gianfranco.pistoia0@alice.it
7. Tom Denton. Electric and hybrid vehicles // Description: New York, NY : Routledge, 2016. - 197 p.
8. Bogdan Ovidiu Varga, Calin Iclodean, Florin Mariasiu. Electric and Hybrid Buses for Urban Transport. / Department of Automotive Engineeringand Transports Technical University of Cluj-Napoca, Romania, DOI 10.1007/978-3-319-41249-8, 314 p
9. BNEF's annual long-term forecast of global electric vehicle (EV) adoption to 2040/ Available at: <http://www.bloomberg.com>
10. Global EV outlook 2018/ Towards croos-modal electrification/International Energy Agency/ Available at: <http://www.iea.org>
11. Available at: <http://www.irsgroup.com.ua/ecars>
12. Available at: <http://www.hevcers.com.ua>
13. Concept of development of the market of electric charging stations/ Available at: <http://www.brdo.com.ua/>

References

1. Baginov O., Smirnov O., Serikov S., Dvadenko V. Sinergetichniy avtomobil. Teoria i praktika. [Sinergetic car. Theory and practic]// KHNADU, Kharkiv - 2011.- 236 p.
2. Karamian O., Chebanov K., Solovieva G. Elektromobil i perspektivi ego razvitiya [Electric car and its development prospects]/ . – 2015. - №12-4/ - с 693-696. Available at: <http://www.fundamental-researche.ru/ru/article/>
3. Shevchuk Y., Lalakulich M., Shevchuk O. Perspektivi ekspluatatsii ta konkurentna

- spromozgnist elektromobiliv v Ukraini [Prospects of operation and competitive ability of electric vehicles in Ukraine] Scientific Herald of Kherson State University/ output 21, part 2.2016. – p. 43-46
4. Polivanov A., Galuschk V., Zenina O., Tihonin S. Sovremenniy elektromobil: osnovnie problem i perspektivi [Modern Electric Vehicle: Major Problems and Prospects of Development] // International Student Newswriter – 2018. - №3-2 Available at: <http://www.Eduherald.ru/ru/article/>
5. Energy Systems for Electric and Hybrid Vehicles// Edited by K.T. Chau/ The Institution of Engineering and Technology// 2016/ 494 с [www/theiet.org](http://www.theiet.org).
6. Gianfranco Pistoia. Electric and hybrid vehicles: power sources, models, sustainability,infrastructure and the market// Consultant, Rome, Italy./Gianfranco.pistoia0@alice.it
7. Tom Denton. Electric and hybrid // Description: New York, NY : Routledge, 2016. -197 p.
8. Bogdan Ovidiu Varga, Calin Iclodean, Florin Mariasiu. Electric and Hybrid Buses for Urban Transport. / Department of Automotive Engineeringand Transports Technical University of Cluj-Napoca, Romania, DOI 10.1007/978-3-319-41249-8, 314 p
9. BNEF's annual long-term forecast of global electric vehicle (EV) adoption to 2040/ Available at: <http://www.bloomberg.com>
10. Global EV outlook 2018/ Towards croos-modal electrification/International Energy Agency/ Available at: <http://www.iea.org>
11. Available at: <http://www.irsgroup.com.ua/ecars>
12. Available at: <http://www.hevcers.com.ua>
13. Concept of development of the market of electric charging stations/ Available at: <http://www.brdo.com.ua/>

Черновол Олександр Володимирович¹, магістр, викладач-методист, +380983038440, ocher@meta.ua

¹Харківський державний автотранспортний коледж

Electric car as an important element for transport infrastructure development

Abstract: Problem. *Transport is one of the most important branches for functioning of any state. The land road transport carries the main load when moving freights and passengers, especially for short distances. This is due to its convenient use and a developed network of road facilities. At the same time, the automotive industry includes a significant number of other related industries. Recently, however, ecologic issues and limited energy resources and raw materials have been considered the first ones. In this regard, the world initiatives and national legislation strictly regulate the norms of harmful emissions, both in general and territorially (separate "clean" cities, regions). All this stimulates the widespread distribution of vehicles with electric drive. In addition to the production of*

electric cars and cars with hybrid power plants, the development of this industry also stimulates the development of other industries: electronics, "clean" energy and others. **Goal.** At the same time, the possibility of applying automatic, intelligent systems and logistics is increasing in transport. The introduction of electric vehicles changes the balance of industries, and also seriously affects the activities of daily society living. However, the wide distribution of electric vehicles has several disadvantages or limitations in addition to positive factors. Therefore, for the successful development of this industry, including the territory in Ukraine, it is necessary to consider electric vehicles as an element of a comprehensive system of a common infrastructure, while clarifying the links between the elements of the structure and their possible variations. **Methodology.** From the point of a system analysis, the communication structure in the operation of electric transport is to be considered, which is closely related to the development of technologies and charging complexes infrastructure. **Results.** This article examines the current issues and prospects for the introduction of electric vehicles in the world and the implementation features for Ukraine, it considers the complex interaction of electric vehicles with such areas in the society as: politics, society, technology, infrastructure, economics and ecology. The factors limiting the wide development of this industry are considered: objective and subjective, possible options for their elimination. **Practical value.** The article is for specialists in the field of production, operation of vehicles, transport economy, energy and ecology, and it can also be useful for people who are interested in advanced and ecological types of transport.

Keywords: electric car, hybrid, plug-in hybrid, car with zero level of polluting emissions (ZPE), fuel cells (fuelcell), traction battery (TB), electric charging station (ECHS).

Chernovol O.¹, Master's Degree, Teacher, +380983038440, ocher@meta.ua, ¹Kharkiv State AutoTransport College

Електроомобіль як важний елемент розвитку транспортної інфраструктури

Анотація. На основі системного аналізу приведено розгляд сучасного рівня впровадження автомобілів з електричними силовими установками, їх місце в різних сферах функціонування суспільства. Стаття розрахована на фахівців в області виробництва, експлуатації транспортних засобів, транспортної економіки, енергетики та екології, а також може бути корисною для осіб, які цікавляться перспективними та екологічними видами транспорту.

Ключові слова: електроомобіль, гібрид, плагін-гібрид, автомобіль з нульовим рівнем шкідливих викидів (ZEV), паливні елементи (fuelcell), тягачова акумуляторна батарея (ТАБ), електрозарядна станція (ЕЗС).

Черновол О. В.¹, магістр, преподаватель-методист, +380983038440, ocher@meta.ua ¹Харьковский государственный автотранспортный колледж.

МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОЛОСЕ НАСАЖДЕНИЙ ВОЗЛЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Солодов В. Г.¹, Авершин А. Г.¹,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

***Аннотация.** Разработаны и исследованы модели переноса примеси в приземном слое автомобильной дороги в условиях боковой ветровой эюры, переменного рельефа прилегающей местности и придорожных насаждений разной плотности. Показано влияние угла скоса между вектором скорости набегающего потока и направлением осевой линии автодороги на проветривание придорожного пространства.*

***Ключевые слова:** автомагистраль, насаждения, приземный слой, перенос загрязнений.*

Введение

Работа посвящена моделированию распространения загрязнений в приземном слое автомобильной дороги общего назначения. До настоящего времени основным источником таких знаний являлись натурные исследования, а именно, замеры на местности, примыкающей к автодороге. Вместе с тем опытные данные существенно зависят от многих факторов: интенсивности движения, качественного и количественного состава транспортных средств, состояния атмосферы, рельефа местности, наличия и конфигурации зеленых насаждений, солнечной радиации, качества и поглощающей способности дорожного покрытия. Учет всех перечисленных и других факторов не представляется возможным, и, поэтому, данные замеров на местности не несут универсальных знаний.

Анализ исследований и публикаций

В мировой практике существуют два направления исследования данной проблемы: построение на основе многолетних наблюдений корреляционных зависимостей, учитывающих основные факторы влияния [1], и численное моделирование различных сценариев с целью выявления скрытых зависимостей, тенденций в дисперсии примесей в приземном слое, моделирования некоторых основных параметров состояния окружающей среды [2-9]. Оба направления являются содержательными и дополняют друг друга.

Первое направление [1] усредняет действие различных факторов и отражает основные тенденции без детального анализа пространственных и временных факторов и их

связей в частных случаях. Второе направление, получившее развитие за рубежом в последнее десятилетие [2-9], позволяет моделировать в деталях различные частные сценарии дисперсии на местности с учетом ее рельефа, растительности и метеофакторов. Одно из преимуществ второго подхода следует из невозможности в отдельных случаях осуществления экспериментальных исследований, например, в случаях прогноза катастрофических событий, либо оценки проектируемых решений.

В проблеме предсказания дисперсии выбросов примеси вдоль автодороги важным является влияние рельефа прилегающей местности, геометрии и плотности зеленых насаждений [2, 5], поглощающих свойств дорожного покрытия. Для оценки дисперсии должны приниматься во внимание такие факторы как роза ветров для данной местности, сезонные уровни влажности, тепловой поток от дорожного полотна, альbedo прилегающей местности. Выходными параметрами исследования должны быть уровни концентрации компонентов выхлопа в окрестности автодороги для установившегося автотранспортного потока, степень влияния нерегулярной типовой застройки прилегающей местности и насаждений и т.д.

Постановка задачи моделирования

В работе на основе уравнений Навье-Стокса, уравнений переноса примеси, осредненных по Рейнольдсу и моделей турбулентности [10] в приближении несжимаемой среды разработана численная модель реального участка автомобильной дороги и иссле-

дуются распространение в приземном слое атмосферы следа линейного источника примеси, вследствие стационарного выделения окиси углерода (CO) вдоль осевой линии двухполосной автомобильной дороги.

Исследование является частным случаем решения задачи распространения примесей, включающих оксиды различных веществ, частиц сажи от выхлопов автотранспортных средств на автомобильных дорогах общего назначения.

В литературе известны примеры моделирования распространения следов от точечных и линейных источников загрязнения на модельных массивах регулярной структуры [2,6,7], однако характеристики рассеяния точечного источника в реальной условиях могут существенно отличаться от характеристик рассеяния в регулярных рядах модельных структур.

В качестве модели рассматривается длинный участок автодороги с придорожным рельефом местности и насаждений. Вдоль осевой линии автодороги предполагается линейный источник, выделяющий постоянный во времени расход примеси вдоль дороги.

Уравнение неразрывности представляется в виде:

$$\partial u_i / \partial x_i = Q_i$$

Уравнения движения сплошной среды представляются в виде:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_k}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\frac{p}{\rho} + \frac{2}{3} k \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ v_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \right\} - F_i, \quad i = 1, 2, 3.$$

Уравнение переноса примеси имеет вид:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + u_k \frac{\partial c_i}{\partial x_k} = - \frac{\partial (c_i u_k)}{\partial x_k} + S_i + R_i.$$

Для моделирования турбулентных эффектов переноса в качестве базовой использована двухпараметрическая дифференциальная модель турбулентности $k-\varepsilon$ с пристенными функциями. Уравнения переноса для k и ε параметров модели могут быть представлены в виде:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon + F_k,$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} P_k - C_{2\varepsilon} \varepsilon) + F_\varepsilon,$$

где производство турбулентности определяется членом:

$$P_k = v_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_j}.$$

Константы и подробное описание модели можно найти, например, в [10].

Влияние растительности учитывалось с помощью источниковых членов в правых частях уравнений импульса в виде степенной зависимости:

$$F_i = -C_0 |u|^{(C_1-1)} u_i$$

В соответствии с экспериментальными данными [3] для плотной субтропической листвы константы модели составляют соответственно $C_0 = 10$, $C_1 = 1$. Для разреженных насаждений и зимнего времени года (отсутствие листвы) коэффициент C_0 уменьшался на два порядка. Согласно рекомендациям [2] в уравнение переноса кинетической энергии турбулентности k внедрялся источниковый член типа $F_k = u_i F_i$, в уравнение переноса ε - источниковый член типа $F_\varepsilon = C_k \varepsilon / k F_k$. Данная модель интерпретирует влияние растительности как однородное изотропное сопротивление объема, добавочные члены в уравнениях модели турбулентности увеличивают производство турбулентности.

Обсуждение результатов исследований

Исследование проведено с использованием программного комплекса *MTFS*[®] [11], в котором базовый неявный алгоритм обеспечен расщеплением по методу переменных направлений и TVD схемой 2/3-го порядка точности. Расчеты выполнены методом установления течения от заторможенного состояния к развитому установившемуся в среднем течению.

Течение вне расчетной области предполагалось полностью турбулентным, что определялось входными граничными условиями. Входной профиль скорости ветра использо-

вался с учетом погранслоя. Вдоль осевой линии автодороги предполагался линейный источник с выделением постоянного расхода примеси во времени и вдоль дороги на высоте около 0.5 метра с температурой, равной температуре набегающего потока. На основе анализа транспортного потока [1] задавался постоянный расход CO около $5e-6$ кг/сек на погонный метр осевой линии. Средняя скорость CO в момент выделения принята равной 0.

Исследования на прямом участке дороги

В [13] авторами рассматривался длинный прямолинейный участок автодороги с неизменным придорожным рельефом местности и насаждений. В этих условиях допустимо сведение трехмерной задачи о распространении примеси к менее затратной двумерной задаче в поперечной плоскости, перпендикулярной осевой линии автодороги.

На данном участке проведено сопоставление с экспериментальными данными при условии адиабатичности, т.е. в отсутствие теплового потока от дорожного покрытия.

Температура поверхности дороги принята совпадающей с температурой воздуха. Моделирование проводилось для условий типичного рабочего дня недели зимой и летом с 10 до 12 часов дня. Погодные условия определялись на месте наблюдения с помощью психрометра, чашечного анемометра и барометра-анероида. Измерения проводились на высоте 1.5 - 2 метра от поверхности земли. Геометрические параметры участка автодороги даны на рис.1. Окись углерода на основании этих данных является менее плотной и испытывает тенденцию к всплыванию в воздухе, но данный эффект мал.

Моделирование придорожной растительности основывалось на модели частичной проницаемости занимаемых объемов [3]. Высота насаждений в примерах составляла 9м; листва моделировалась с высоты 0.5м. При сопоставлении распределений CO в расчетах подбирались плотность листвы по известной геометрии насаждений до полного совпадения результатов расчета и измерений в точке 4. По результатам расчетов сопоставлялись расчетные и опытные данные в точке 5.

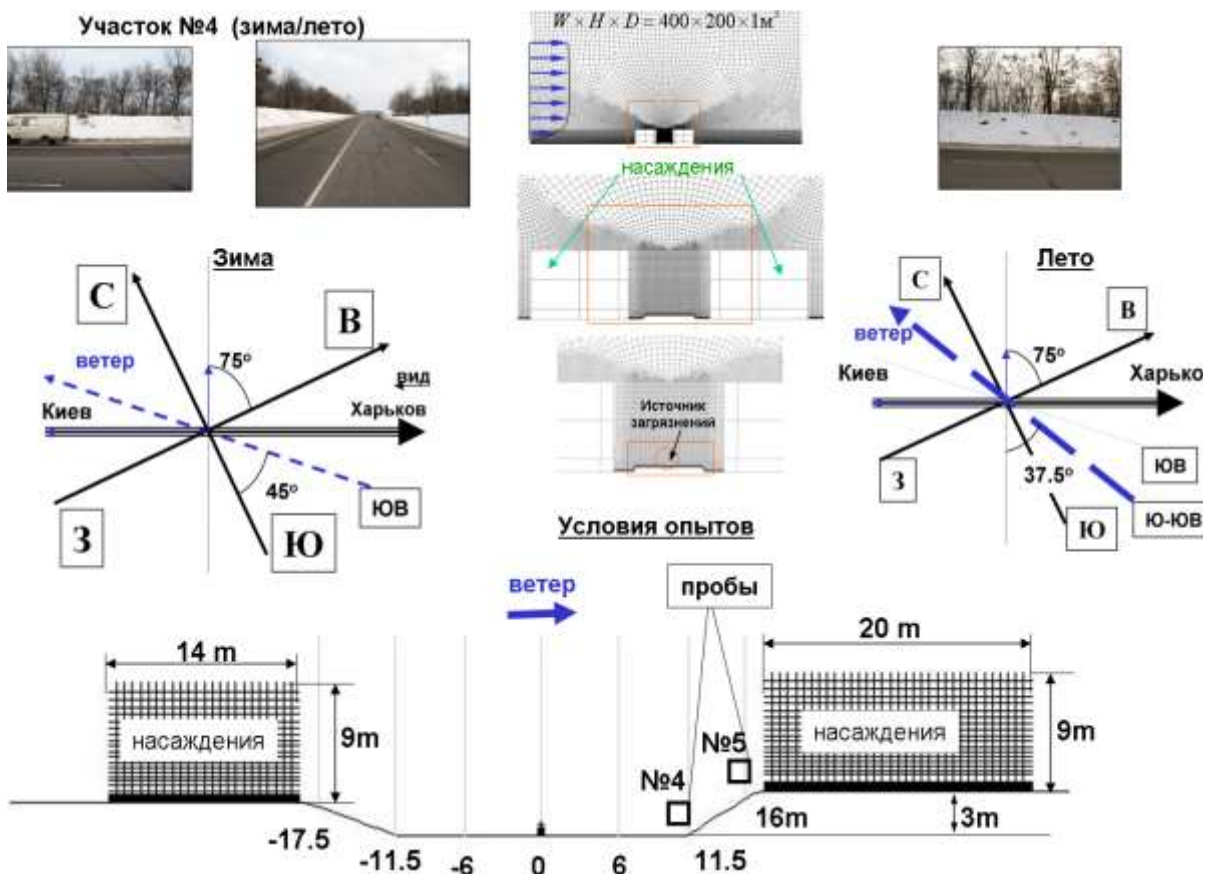


Рис.1. Метеоусловия и модель участка №4 автомобильной дороги

Сопоставление для зимних условий. По данным наблюдений на основе анализа со-

става автотранспортного потока задавался постоянный расход CO $5e-6$ кг/сек на погонный

метр осевой линии. Основные результаты сопоставления приведены на рис. 2, где даны графики распределений СО вдоль вертикали в характерных точках. Из результатов следует, что для разреженных насаждений и зимнего времени года наиболее приемлемой является величина пористости $C_0 = 0.087$, которая обеспечивает удовлетворительное совпадение с данными эксперимента в точке измерений №5, и может быть обоснована зимним периодом, характером насаждений и отсутствием листвы.

Сопоставление для летних условий. По данным наблюдений и на основе анализа состава автотранспортного потока задавался постоянный расход СО 6е-6 кг/сек на погонный метр осевой линии. Результаты сопоставления приведены на рис. 2, где даны графики массовой концентрации СО. Таким образом, для разреженных насаждений и летнего времени года наиболее приемлемой является величина пористости $C_0 = 0.15$ по всей высоте, которая обеспечивает удовлетворительное совпадение с данными эксперимента в точке измерений №5, и может быть обоснована характером насаждений, низкой плотностью листвы, температурой дорожной поверхности.

Исследования на участках №1, 2 с

существенно пространственной структурой переноса примеси

Рассмотрены варианты (1) участков длиной около 1000м с неизменным дорожным профилем, постоянной вдоль дороги плотностью и конфигурацией насаждений, а также варианты (2) с переменным вдоль автодороги придорожным рельефом местности.

Вдоль осевой линии на поверхности автодороги предполагался линейный источник примеси (СО) с постоянным расходом во времени и вдоль дороги около 5е-6 кг/м³сек на высоте около 0.5 метра при температуре набегающего потока. Скорость примеси в момент выделения считалась равной 0. В этих условиях численно рассмотрен процесс переноса примеси в придорожном пространстве при воздействии ветра.

Основные метеорологические факторы для всех участков даны в табл. 4. Типовая вычислительная область помещалась в прямоугольник в плане с размерами $6L \times 6L \times L$, где L - высота области. В типовом расчете размер L составлял 200м. Течение вне расчетной области предполагалось полностью турбулентным. Входной профиль скорости ветра принимался с учетом пограничного слоя.

Таблица 1 – Свойства окиси углерода и воздуха [12]

Вязкость СО при давлении 1атм и Т К=300, (Па*сек)	Теплопроводность при давлении 1бар и Т°К=300, вт/м*град	Плотность при давлении 1бар и Т°К=300, кг/м ³	Теплоемкость Ср, Дж/кг*град	Молекулярный вес
1765*10-8	232,6*10-4	1.1233	1043	28,011
Вязкость воздуха	Теплопроводность	Плотность	Теплоемкость Ср,	Молекулярный вес
1846*10-8	26,2*10-3	1.16144	1007	28,96

Таблица 2 – Основные метеофакторы в момент измерений в зимнее/летнее время [13]

Атмосферное давление	Температура Т°С	Направление ветра	Скорость, м/с
746/748 , мБ	+5.5/23.4 град	ЮВ/Ю-ЮВ	4/1.5

Таблица 3 – Расположение точек измерения на участке №4 [13]

Точка	Точка 0 метров	точка 6 метров	точка 11 м – (точка измерения №4)	точка 16 м – (точка измерения №5)
Расположение	Осевая линия	6 метров от осевой линии	11,5 м от осевой линии в сторону ветра	16 м от осевой линии в сторону ветра

Таблица 4 – Основные параметры атмосферы для криволинейных участков №1,2 (табл.5)

Атмосферное давление	Темп. воздуха Т°К	Темп. дорожного покрытия Т°К	Расход источника СО, кг/сек на погонный метр	Влажность, %	Скорость ветра, м/с
101325Па	288 °К	288 °К	Равномерная эпюра вдоль оси, 5 ₁₀ -6	Не учитывалась	1.0

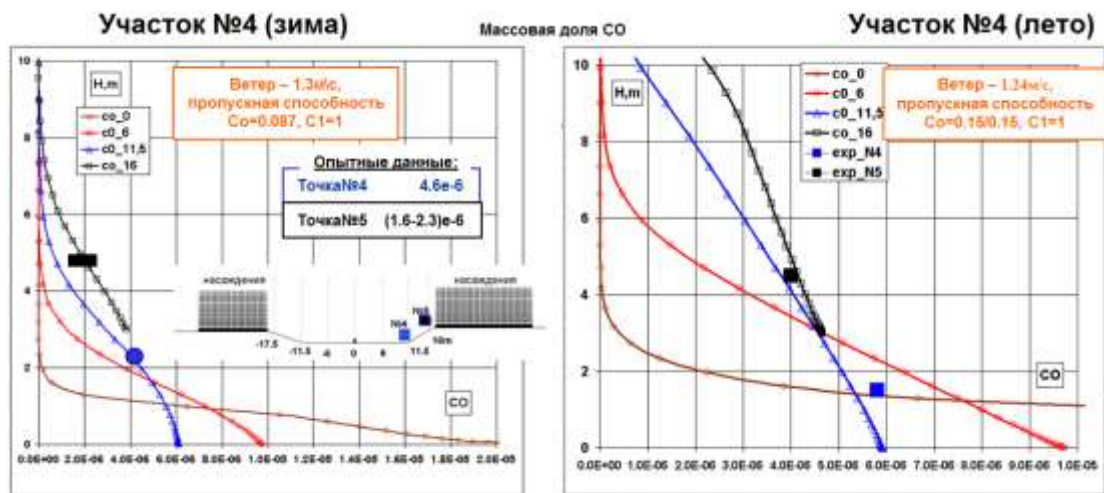


Рис. 2. Массовая доля CO вдоль высоты на участке №4: сопоставление с данными измерений

Параметры профиля дороги и рельефа представлены на рис. 3. На участке №1 дорожное полотно шириной 15м поднято, либо опущено на 1м по отношению к уровню местности. На участке №2 дорожное полотно опущено на 5м ниже уровня местности, на которой расположены насаждения. Высота насаждений в примерах выбрана равной ширине полосы насаждений 15м для всех участков. Рассматривалось два типа насаждений по плотности.

Зимний вариант плотности (разреженный) принят со значениями коэффициентов $C_0=0.1$, $C_1=1$. Данный набор констант хорошо себя зарекомендовал при сопоставлении с экспериментальными данными для зимних условий и полосы шириной около 15 м.

Летний вариант плотности (плотный) со значениями коэффициентов $C_0=1$, $C_1=1$. Таким образом, растительность моделировалась

как неинерционная пористая среда (легкий лист) с сопротивлением плотности и с однородными свойствами в пространстве. Это соответствовало высоким массивам придорожной растительности с наличием кустов в нижнем поясе насаждений.

Направление ветра задавалось горизонтальным в плоскости симметрии участка. Рассматривались варианты распространения примеси при направлении ветра с выпуклой и вогнутой сторон участка. Сравнительная двумерная модель отражала сечение автодороги плоскостью симметрии. В табл. 5 приведена матрица численного эксперимента для вариантов участка №1, при этом максимальное значение массовой концентрации примеси регистрировалось в произвольной точке расчетной области, в основном вдоль дорожного полотна.

Таблица 5 – Матрица численного эксперимента для участка №1

Участок	Участок №1А				Участок №1Б			
	С выпуклой стороны ←		С вогнутой стороны →		С выпуклой стороны ←		С вогнутой стороны →	
Плотность Насаждений	Разреженная	Плотная	Разреженная	Плотная	Разреженная	Плотная	Разреженная	Плотная
Макс. значение концентрации CO на участке	7.7e-6	4.2e-5	6.12e-5	1.58 ₁₀ -5	6.23e-6	4.6e-5	6.0e-6	1.3e-5
Макс. значение концентрации CO в плоской модели	6.8e-6	1.2e-5	6.8e-6	1.15e-5	5.22e-6	1.1e-5	5.22e-6	1.1e-5

По результатам исследования обнаружены следующие закономерности. Интенсивность крупномасштабной завихренности до насаждений, между насаждениями и за насаждениями незначительна при низкой плотности, что соответствует переносу примеси в нижнем слое насаждений. При более высокой плотности насаждений основная часть ветрового потока огибает плотные

насаждения, за которыми возникает вихревое течение в направлении, противоположном направлению ветра, аналогичное обтеканию уступа с противотоком. Обратные токи за насаждениями подсасывают примесь, которая поднимается с восходящими потоками воздуха и уносится с основной частью ветрового потока над насаждениями (рис. 4).

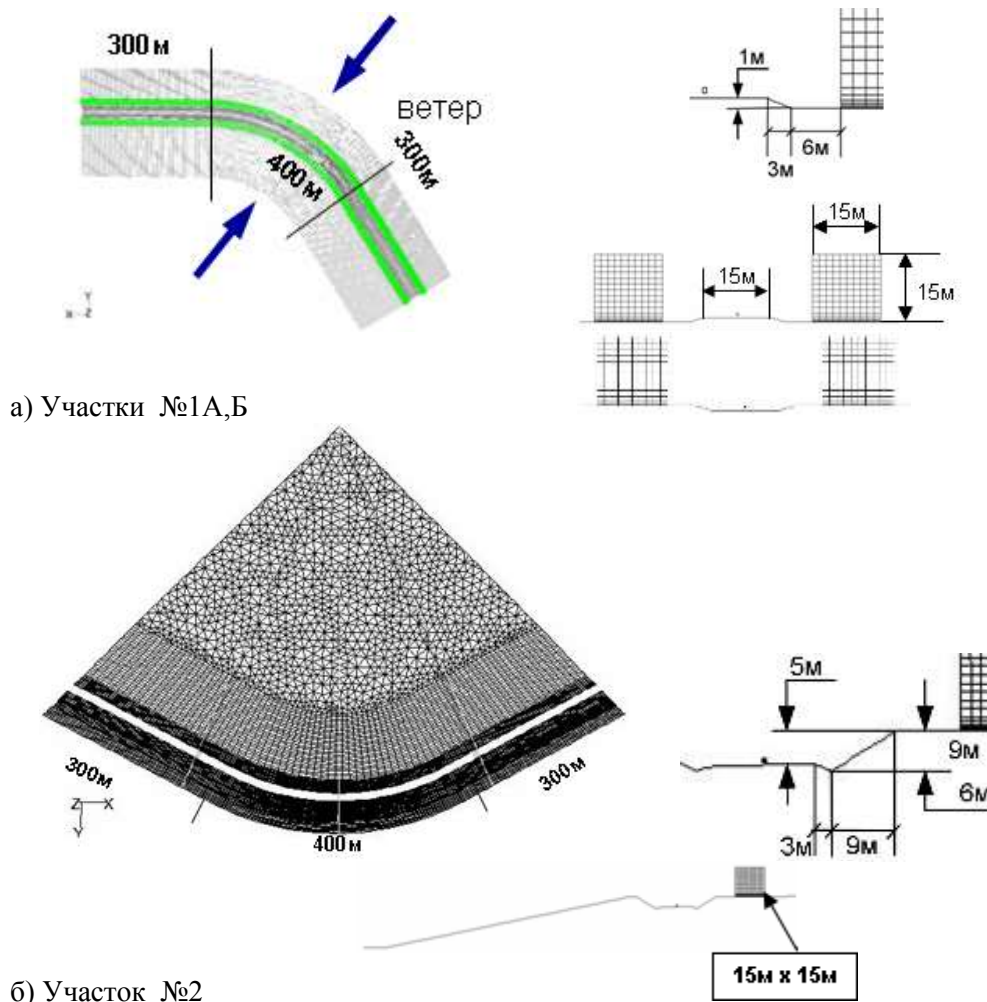
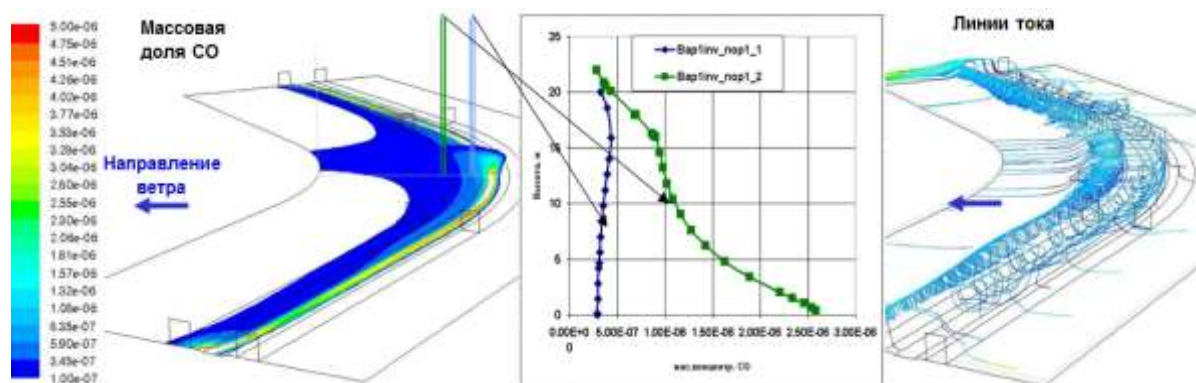


Рис. 3. Рельеф, профиль и сеточная структура криволинейных участков №1А,Б (а), №2 (б)



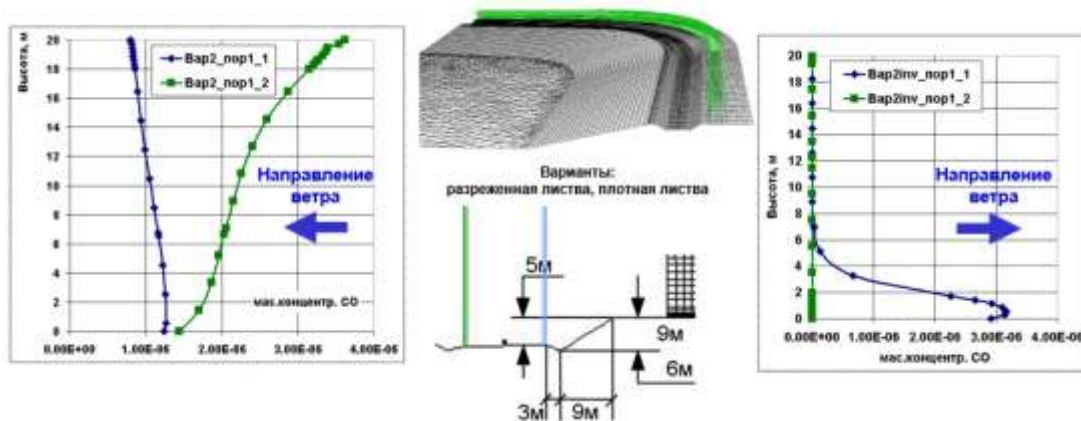


Рис. 5. Массовая доля CO вдоль высоты на обочинах плоскости симметрии в зависимости от плотности листвы и направления ветра на участке №2

Таблица 6 – Матрица численного эксперимента для участка №2

Направление ветра (1м/с)	С выпуклой стороны участка		С вогнутой стороны участка	
	Разреженная	Плотная	Разреженная	Плотная
Макс.значен. концентрации CO, кг/м ³	1.38₁₀₋₅	9.65₁₀₋₅	5.234₁₀₋₆	8.97₁₀₋₆
То же в плоскости симметрии	6.36₁₀₋₆	7.16₁₀₋₆	4.71₁₀₋₆	7.90₁₀₋₆
Макс.значен. концентрации CO на плоской модели	9.57₁₀₋₆	7.24₁₀₋₆	4.86₁₀₋₆	1.02₁₀₋₅

Скос линий тока по отношению к осевой линии автодороги способствует сносу примеси вдоль автодороги, при этом интенсивность завихренности между насаждениями снижается в сравнении с двумерной моделью.

При направлении ветра в плоскости симметрии с выпуклой стороны примесь разносится от плоскости симметрии в стороны за счет острого угла скоса потока по отношению к осевой линии. При направлении ветра с вогнутой стороны примесь концентрируется в плоскости симметрии со сторон автодороги за счет тупого угла скоса потока по отношению к осевой линии автодороги. Угол скоса – угол между вектором скорости набегающего потока и направлением осевой линии автодороги. В этом заключается принципиальное различие в конвективном распространении примеси между трехмерной моделью и плоской моделью в плоскости симметрии участка автодороги.

Для разреженных насаждений эффект скоса мал, и линии тока практически не отклоняются от начального направления за исключением линий тока в тонком (около 1м) приземном слое, где динамический напор ветра мал. Для плотных насаждений эффект отклонения линий тока от начального направления является существенным, что проявляется в

понижении концентрации примеси в случае ветра с выпуклой стороны изгиба автодороги, либо в повышении концентрации примеси при ветре с вогнутой стороны изгиба в сравнении с плоской моделью.

В рассмотренных примерах возвышение либо занижение насыпи дороги на 1м составляет 1/15 высоты насаждений. Поэтому влияние возвышения насыпи дороги или занижения на 1м при величине склона 1:3 на концентрацию примеси в приземном слое оказывается несущественным, как в зависимости от направления ветра, так и для разреженных, либо плотных насаждений. Вихреобразования, возникающие при обтекании плотных насаждений, существенно искажают эпюру скорости набегающего ветра и линии тока, повышают уровень кинетической энергии турбулентности. При равной плотности посадок и фиксированной скорости ветра двусторонняя поперечная ограниченность пространства автодороги в сравнении с односторонней существенно (в 2-4 раза) ухудшает проветривание придорожного пространства.

О влиянии понижения местности на распространение примеси в приземном слое (на примере участка №2). Направление ветра определялось плоскостью симметрии участка

№2. Рассматривались варианты распространения примеси при направлении ветра с выпуклой и вогнутой сторон участка. Матрица численного эксперимента и основные данные приведены в табл.6. Характерной чертой профиля участка является существенное углубление автодороги сравнимое с высотой насаждений (-20м при склоне 1:5). Насаждения существуют только с выпуклой стороны участка.

По результатам моделирования для участка №2 можно сделать следующие выводы.

Воздействия ветра с выпуклой стороны и с вогнутой стороны на конфигурацию участка №2 принципиально различны вследствие: а) несимметричности придорожного рельефа; б) отсутствия насаждений с вогнутой стороны участка автодороги, в) асимметрии скоса дороги по отношению к направлению ветра в плоскости симметрии. По этим причинам сравнительный количественный анализ воздействия ветровой нагрузки с разных сторон участка не имеет смысла.

При воздействии ветра с выпуклой стороны участка №2 тенденции, отмеченные при обтекании участка №1, сохраняются. Именно, при разреженных насаждениях концентрация примеси вблизи дорожного полотна заметно ниже, чем при густых насаждениях.

При воздействии ветра с выпуклой стороны участка трехмерная модель в сопоставлении с плоской моделью в плоскости симметрии дает меньшие значения концентрации примеси вследствие скоса ветрового потока и растекания воздушных масс вдоль дорожного полотна. Линии тока в трехмерной модели отклоняются от плоскости симметрии из-за скоса, улучшают вентиляцию изгиба дорожного полотна, и максимальные значения концентрации примеси достигаются вне плоскости симметрии.

Воздействие ветра с вогнутой стороны на конфигурацию участка №2 определяется склоном и повышением местности к дорожному полотну, углублением дорожного полотна, полосой насаждений. Склон поднимает воздушную массу и примесь, оказывая положительное влияние на вентиляцию места изгиба автодороги.

На изгибах автодорог при наличии углубления дорожного полотна и плотных насаждений трехмерная и плоская модели отличаются существенно. Кроме того, при использовании плоской модели дополнительно теряется информация о концентрации примеси вне рассматриваемой плоскости.

На изгибе дороги сопротивление пропорционально синусу угла скоса, т.е. уменьшается при появлении скоса. Сопротивление ветровой нагрузке дополнительно уменьшается за счет увеличения эффективного расстояния между насаждениями вследствие скоса. Двумерная модель непригодна для моделирования распространения примеси в плоскости симметрии участков типа 1,2.

Выводы

Разработаны и исследованы модели переноса примеси в приземном слое автомобильной дороги в условиях боковой ветровой эпюры, переменного рельефа прилегающей местности и придорожных насаждений разной плотности. Получено удовлетворительное совпадение результатов расчетов с данными измерений на местности на примере прямолинейного участка.

Двумерная модель непригодна для моделирования распространения примеси в плоскости симметрии участков типа 1,2. Применение трехмерной модели распространения примеси оправдано на участках автодороги, содержащих изгибы при наличии плотных насаждений.

Показано влияние угла скоса между вектором скорости набегающего потока и направлением осевой линии автодороги на проветривание придорожного пространства. Для уточнения модели необходимы более высокая точность измерений на местности и база данных по геометрии рельефа, насаждений.

Работа выполнялась в рамках проекта, финансируемого правительством Украины.

Литература

1. Говорущенко Н.Я. Проблемы и методы оценки экологического и энергетического качества автомобильных дорог/ Н.Я.Говорущенко, В.В.Филиппов, Г.В. Величко / Автоматизированные технологии CREDO'2000. - С.45-51
2. Mochida A. Optimization of tree canopy model for CFD application to local area wind energy prediction/ A.Mochida, A.Kimura, H.Youshino, S.Murakami, T.Iwata / NATO ASI 980064. Flow and Transport Processes in complex obstructed geometries. May 4-15, 2004, IHM NAS, Kyiv, Ukraine. P.139-141
3. Borrego C. Emission and dispersion modeling of Lisbon air quality at local scale / C.Borrego, O.Tchepele, A.Costa, J.Amorim, A.Miranda / Atmospheric Environment, 2003.- Vol. 37.- P. 5197-5205
4. Thykier-Nielsen S. Dispersion as consequence of a detonation of a dirty bomb in an urban area / S.Thykier-Nielsen, J.Roed / In: NKS Conference on "Radioactive contamination in urban areas",

- Riso, Roskilde, Denmark, May 7-9, 2003/ - P. 135
5. Murakami S. CFD prediction of flow over complex terrain using Local Area Wind Energy Prediction System (LAWEPS) / S.Murakami, K.Otsuka, H.Mochida, H.Kataoka, S.Kato / in: Proc. of 11th Int. Conf. On Wind Engineering, Texas. Vol.2. – 2003. - P.2821-2828
 6. Mărunțălu O. Numerical Simulation of the Air Pollutants Dispersion Emitted by CHP Using ANSYS CFX / O.Mărunțălu, G.Lăzăroiu, E.Manea, D.Bondrea, L.Robescu / World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering Vol:9, No:9, 2015. - PP.1058-1064
 7. Hiraoka H. Modeling a Microclimate within Vegetation. NATO ASI 980064. Flow and Transport Processes in complex obstructed geometries. May 4-15, 2004, IHM NAS, Kyiv, Ukraine. - 2004. P.142-145
 8. Flow and transport with complex Obstructions/ Applications to Cities. Vegetative Canopies and Industry/ Editors Ye. Gayev, Julian Hunt. Springer Publ.- 2007. - 414p.
 9. Addepalli B. "Investigation of the Flow Structure in Step-Up Street Canyons—Mean Flow and Turbulence Statistics"/ B.Addepalli, E.Pardyjak / Boundary-Layer Meteorology. -V.148. -2013. P.133–155
 10. Солодов В.Г. Моделирование турбулентных течений. Расчет больших вихрей. Харків, вид-во ХНАДУ, 2011. -167с
 11. Солодов В.Г. Научно-прикладной программный комплекс МТФС® для расчета трехмерных вязких турбулентных течений жидкостей и газов в областях произвольной формы. / В.Г.Солодов, Ю.В.Стародубцев / Сертификат гос. регистр. авт. прав, УГААСП, №5921, 07.16.2002
 12. Варгафтик В.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. -720с.
 13. Солодов В.Г. Математичне моделювання забруднення атмосферного повітря придорожного простору / В.Г.Солодов, В.В.Філіппов, В.К.Жданюк, І.В.Кияшко / Автошляховик України/ - 2009. №3. С.42-47
 - Lisbon air quality at local scale / Atmospheric Environment, 2003.- Vol. 37.- P. 5197-5205
 4. Thykier-Nielsen S., Roed J. Dispersion as consequence of a detonation of a dirty bomb in an urban area. In: NKS Conference on "Radioactive contamination in urban areas", Riso, Roskilde, Denmark, May 7-9, 2003/ - P. 135
 5. Murakami S., Otsuka K., Mochida H., Kataoka H, Kato S., CFD prediction of flow over complex terrain using Local Area Wind Energy Prediction System (LAWEPS). In: Proc. of 11th Int. Conf. On Wind Engineering, Texas. Vol.2. – 2003. - P.2821-2828
 6. Mărunțălu O., Lăzăroiu G., Manea E., Bondrea D., Robescu L Numerical Simulation of the Air Pollutants Dispersion Emitted by CHP Using ANSYS CFX. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering Vol:9, No:9, 2015. - PP.1058-1064
 7. Hiraoka H. Modeling a Microclimate within Vegetation. NATO ASI 980064. Flow and Transport Processes in complex obstructed geometries. May 4-15, 2004, IHM NAS, Kyiv, Ukraine. - 2004. P.142-145
 8. Flow and transport with complex Obstructions/ Applications to Cities. Vegetative Canopies and Industry/ Editors Ye. Gayev, Julian Hunt. Springer Publ.- 2007. - 414p.
 9. Addepalli B., E.Pardyjak Investigation of the Flow Structure in Step-Up Street Canyons—Mean Flow and Turbulence Statistics. Boundary-Layer Meteorology. -V.148. -2013. P.133–155
 10. Solodov V. Turbulent flow modeling. Large Eddy Simulation. Kharkiv, HNADU publ., 2011. -167p
 11. Solodov, V., Starodubtsev, Yu. The Scientific Application Software МТФС® for Calculation of 3D Viscous Turbulent Liquid and Gas Flows in Arbitrary Shape Domains, Certificate of State Registration, Ukrainian State Agency of Copyrights and Related Rights, No.5921, 07.16.2002
 12. Vargaftik V.B. Handbook of thermophysical properties of gases and liquids. M.: Nauka, 1972. - 720p.
 13. Solodov V., Filippov V., Jdaniuk V. Kiyasko I. Matematичне моделювання забруднення атмосферного повітря придорожного простору. Avtoshlahovik Ukraini - 2009. -№3. P.42-47

References

1. Govorushenko N.Ya., Filippov V.V., Velichko G.V. Problemi i metodi otsenki ekologicheskogo i energeticheskogo kachestva avtomobilnix dorog / Avtomatizirovanie tehnologii CREDO'2000. P. 45-51
2. Mochida A., Kimura A., Youshino H., Murakami S., Iwata T. Optimization of tree canopy model for CFD application to local area wind energy prediction. NATO ASI 980064. Flow and Transport Processes in complex obstructed geometries. May 4-15, 2004, IHM NAS, Kyiv, Ukraine, p.139-141
3. Borrego C., Tchepel O., Costa A., Amorim J., Miranda A. Emission and dispersion modeling of

Поступила (received) 12.06.2018 р.

Солодов Валерий Григорьевич¹, д.т.н., проф. каф. теоретической механики и гидравлики, тел. : + 38057-707-3730, solodov.v@gmail.com,

Авершин Андрей Геннадьевич¹, к.т.н., ассистент, каф. теоретической механики и гидравлики, ¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

The model of transfer of atmosphere pollution in roadside vegetation near the highway

Abstract. The work is devoted to the development of

a model and investigation of the process of pollution transfer in the ground layer of a general-purpose motor road with plantations and terrain. As the basis of the model, a long section of a road with a roadside terrain and plantings is considered. Along the axial line of the road, a linear source is assumed, which releases constant impurity consumption along the road. The impurity is transported in the surface layer of the highway in the conditions of the lateral wind curve, alternating relief of the adjacent terrain and roadside plantations of different densities. The model is based on a grid description of the three-dimensional region under consideration. The motion of air continuous medium is described by the Reynolds averaged Navier-Stokes equations. The air continuous medium is assumed to be incompressible, multicomponent, and chemically nonreactive. To model the turbulent transport effects, two-parameter differential turbulence model with wall functions is used as the basis. Simulation of blocking of leaf space and tree branches is performed on the basis of blocking with a porous medium. The Navier-Stokes equations, as well as transport equations for the parameters of the turbulence model, contain source terms in the right-hand parts in the form of a power-law dependence of the velocity modulus in the porosity regions. This model interprets the influence of vegetation as a homogeneous isotropic resistance of a low-inertial volume; the additional terms in the equations of the turbulence model increase the production of turbulence. The study was carried out using the author's software package MTFS®, in which the basic implicit algorithm is provided by the method of variable directions and TVD scheme of 2/3-th order accuracy. The calculations were performed by the method of establishing the flow from a retarded state to a developed steady-state flow in the middle. The flow outside the calculated region was assumed to be completely turbulent, which was determined by the input boundary conditions. The input wind speed profile was used with allowance for the boundary layer. Simulation of impurity distribution for a long rectilinear section was performed and a satisfactory agreement with experimental data was obtained. A study was carried out in areas with a substantially spatial impurity transport structure. It is shown that the slope of the current lines with respect to the axial line of the road facilitates the demolition of the impurity along the road, while the intensity of the vorticity between the plantations decreases in comparison with the two-dimensional model.

Key words: Highway, roadside vegetation, boundary layer, transfer of pollutants

Solodov V.¹, D.Sc., Prof., solodov.v@gmail.com,

Avershin A.¹, Ph.D., Assoc. Prof.,

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

Модель перенесення атмосферних забруднень в смугі насаджень навколо автомобільної дороги
Анотація. Робота присвячена розробці моделі і дослідженню процесу перенесення забруднюючих речовин в приземному шарі автомобільної дороги

загального призначення при наявності насаджень і рельєфу місцевості. В якості основи моделі розглядається довга ділянка автодороги з придорожнім рельєфом місцевості і насаджень. Уздовж осьової лінії автодороги передбачається лінійне джерело, що виділяє постійну в часі витрату домішки вздовж дороги. Домішка переноситься в приземному шарі автомобільної дороги в умовах бічної вітрової епюрі, змінного рельєфу прилеглої місцевості и придорожніх насаджень різної щільності. Модель заснована на сітковому описі даної тривимірної області. Рух повітряного суцільного середовища описується рівняннями Нав'є-Стокса, усередненими за Рейнольдсом. Суцільне середовище приймається як нестисливе, багатоконпонентне і хімічно нейтральне. Для моделювання турбулентних ефектів перенесення в якості базової використовується високореінольдсова двохпараметрична диференціальна модель турбулентності з пристінними функціями. Моделювання захарашень простору листям і гілками дерев виконується на основі захарашення пористого середовища. Рівняння Нав'є-Стокса, а також рівняння переносу для параметрів моделі турбулентності містять джерельні члени в правих частинах у вигляді ступеневої залежності модуля швидкості в областях пористості. Дана модель інтерпретує вплив рослинності як однорідний ізотропний опір малоінерційного об'єму, додаткові члени в рівняннях моделі турбулентності збільшують виробництво турбулентності. Дослідження проведено з використанням авторського програмного комплексу MTFS®, в якому базовий неявний алгоритм забезпечений розщепленням за методом змінних напрямків і TVD схемою 2/3-го порядку точності. Розрахунки виконані методом встановлення течії від загальмованого стану до розвиненої сталої в середньому течії. Течія поза розрахунковою областю передбачається повністю турбулентною, що визначається вхідними граничними умовами. Вхідний профіль швидкості вітру використовувався з урахуванням прикордонного шару. Виконано моделювання поширення домішки для довгої прямолінійної ділянки і отримано задовільний збіг з експериментальними даними. Проведено дослідження на ділянках з істотно просторовою структурою перенесення домішки. Показано, скіс ліній струму по відношенню до осьової лінії автодороги сприяє знесенню домішки вздовж автодороги, при цьому інтенсивність завіхреності між насадженнями зменшується в порівнянні з двовимірною моделлю.

Ключові слова: Автомагістраль, насадження приземний шар, перенесення забруднень

Солодов Валерій Григорович¹, д.т.н., проф. каф. теоретичної механіки і гідравліки, тел.: +38057-707-3730, solodov.v@gmail.com,

Авершин Андрій Геннадійович¹, к.т.н., асистент, каф. теоретичної механіки і гідравліки, тел.: +38057-707-3730,

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

Обладнання для виробництва і ремонту
засобів транспорту. Сервісне обслуговування і технічний
огляд автомобілів

УДК 629.03

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0.108

СИНТЕЗ ЕКСПЕРТНОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АВТОМОБІЛЯ

Бороденко Ю. М.¹,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

***Анотація.** Розглянуто питання побудування діагностичної системи електроприводу автомобіля з використанням експертної програми. Описана процедура формування бази знань експертної системи. Наведено функціональну схему інтегрованої системи самодіагностики.*

***Ключові слова:** електропривод, вентилярна машина, тягова акумуляторна батарея, перетворювач напруги, спектральний аналіз, діагностична система, експертна програма.*

Вступ

Поновлення якісного складу автотранспортних засобів відбувається все більш інтенсивніше. Автомобілі з електричним приводом (ЕП) в цій гонці, займають перші позиції. Така тенденція визначає актуальність оперативного контролю технічного стану автомобілів даного класу в процесі їх експлуатації.

На борту сучасних автомобілів використовуються інтегровані діагностичні системи, здатні виконувати пасивні (інформування) і активні (підтримка працездатності) функції під час транспортного процесу. Основу таких систем складають мікропроцесорні пристрої, в яких втілені експертні програми. В даній статті розглянуто питання, пов'язані з розробкою аналогічної системи самодіагностики, стосовно силової частини ЕП автомобіля.

Аналіз публікацій

Діагностичні системи для перевірки механічних та електричних систем сучасного автомобіля, які базуються на електричних вимірюваннях, можна класифікувати за декількома загальними ознаками: ступенем автоматизації (неавтоматичні, автоматизовані або автоматичні); способом реалізації (електронні, комп'ютеризовані або комп'ютерні); містом базування (зовні, інтегровані); призначенням (інформаційні, самодіагностики, адаптації, резервування). Сучасні бортові діагностичні системи надаються як програмні продукти комп'ютерної діагностики, що інтегруються в автомобільні системи керування [1, 2].

Експертна система (ЕС) – програма, що використовує експертні знання спеціалістів для

забезпечення ефективного рішення неформалізованих задач в інтерактивному режимі. Для неформалізованих задач характерні певні ознаки: завдання не можуть бути задані в числовій формі; мету не можна виразити в термінах точно визначеної цільової функції; не існує алгоритмічного рішення задачі; наявність ознак помилковості, неоднозначності і суперечливості вихідних даних. Програми ЕС використовуються в системах керування та засобах комп'ютерної діагностики автомобілів [3].

Оперативний контроль діагностичних параметрів ЕП дозволяє своєчасно встановити факт наявності несправності, локалізувати місце пошкодження і вплинути на систему з метою уникнення аварійної ситуації. Найбільш детальну інформацію про технічний стан електричної машини можна отримати методом спектрального аналізу струмів в колах його живлення [4].

В [5, 6] проведені віртуальні дослідження електричних процесів в силових колах системи ЕП з вентилярним синхронним двигуном, який живиться від високовольтної акумуляторної батареї (ВАБ). Доведено, що параметри, які характеризують спектральний склад функції струму розряду тягової ВАБ, як найкраще задовольняють вимогам, що висуваються до діагностичних параметрів з позицій інформативності, чутливості та технологічності вимірювання. Наступним кроком в [7, 8] проведено дослідження Matlab-моделей систем ЕП в статусі двигуна та генератора, як об'єктів діагностики, шляхом спектрального аналізу функції струму в колі ВАБ. Вигляд спектрограм,

отриманих за результатами моделювання, виправдовує напрямок досліджень.

Мета досліджень та постановка задачі

Дослідження за даним напрямком складаються з декількох етапів: аналізу структури ЕП, як об'єкту діагностики; побудування імітаційних моделей і моделювання експлуатаційних режимів ЕП; формування бази знань ЕС; реалізації вимірювального каналу та аналізатору спектру поточних даних (системи моніторингу). Метою досліджень на даному етапі є синтез діагностичної системи для ідентифікації технічного стану ЕП автомобіля. Первинними задачами, при цьому, є визначення процедури формування бази знань ЕС і побудування функціональної схеми діагностичної системи.

Процедура формування бази знань ЕС полягає у спостереженні спектрального складу функції струму у колі живлення ЕП і накопичення діагностичної інформації під час імітації пошкодження її елементів в експлуатаційних режимах. При вирішенні другої задачі слід передбачити виконання декількох активних функцій діагностики: аварійне відключення електроживлення під час пуску ЕП; тестування ЕП на режимі холостого ходу; адаптацію керуючих впливів і резервування функціональних блоків під час транспортного процесу.

Регістрація несправності під час пуску дозволяє уникнути важких наслідків. Тестування на режимі холостого ходу запобігає аварійній ситуації, що може виникнути під час

руху автомобіля. Моніторинг технічного стану системи під час транспортного процесу, забезпечує аварійний режим функціонування ЕП.

Характеристика об'єкту діагностики

Як об'єкт діагностики в роботі розглядається система ЕП автомобіля з одною вентиляльною електричною машиною подвійної дії GM. Така система здатна функціонувати у двох статусах – приводу (двигуна) і енергетичної установки ЕУ (генератору). В першому випадку, система живиться від первинного джерела напруги ВАБ. У статусі ЕУ система реалізує рекуперативний процес заряду ВАБ за рахунок енергії гальмування та руху накатом.

Експлуатаційні режими ЕП задаються положенням педалей акселератора (ДПА) та гальм (ДПГ). Для узгодження напруги живлення споживачів та джерел енергії (ВАБ і GM) використовуються чотири перетворювача напруги: інвертор; випрямляч; перетворювач, що підвищує постійну напругу (ППН); перетворювач, що знижує постійну напругу (ПЗН). Керування вентиляльною машиною GM забезпечує контролер КЕМ на підставі сигналів з датчиків ДПА, ДПГ (α_1 , α_2), кутового положення і швидкості обертання валу машини ω . Вихідні напруги DC/DC перетворювачів ППН і ПЗН регулюються частотними сигналами f_1 і f_2 , які надходять з КЕМ. Швидкісний режим електродвигуна визначається сигналами комутації інвертора f_n . (рис. 1).

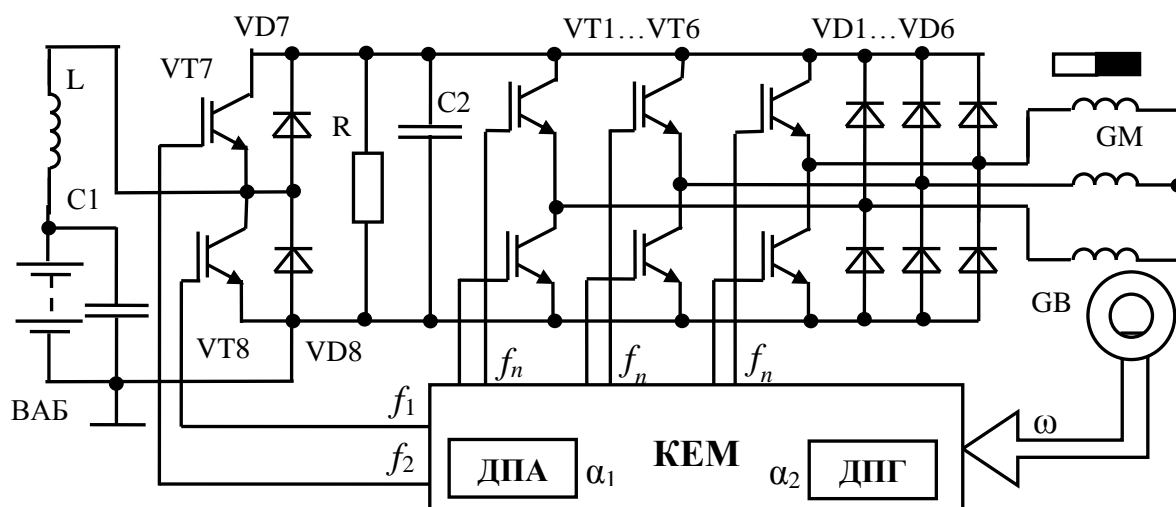


Рис. 1. Схема електричних силових кіл системи електропривода

На схемі позначено: L – індуктивний реактор; VT1...VT6 – транзисторні ключі інвертора; VD1...VD6 – трьох-фазний випрямляч; VT7 – транзисторний ключ ПЗН; VT8 – транзисторний ключ ППН.

В статусі двигуна період робочого циклу електричних процесів в схемі ППН визначається часом перемикання струму в реакторі L транзисторним ключем VT8. Під час замкнутого стану ключа до реактора підведена напруга ВАБ під дією якої в колі виникає струм, що зростає з часом до сталого значення. На час розмикання ключа реактор індуктує імпульси підвищеної електрорушійної сили (ЕРС). Інтегруючий конденсатор C2 на виході схеми перетворювача підтримує постійну напругу на рівні амплітудних значень. Діод VD7 виключає розряд конденсатора C2 через транзисторний ключ, під час його відчиненого стану. Діод VD8 захищає транзисторний ключ VT8 від імпульсної перенапруги, що виникає внаслідок комутації струму в реакторі L. Буферний конденсатор C1 згладжує кидки напруги в колі живлення під час перехідних процесів. Діоди випрямляча VD1...VD6 в режимі двигуна забезпечують захист транзисторів інвертора від перенапруги, що виникає внаслідок комутації струму в обмотках електричної машини.

В статусі генератора, мост VD1...VD6 виконує функції випрямляча трьох-фазної напруги, яку виробляє електрична машина. Оптимальний режим зарядки ВАБ в статусі генератора підтримується ключем VT7 перетворювача ПЗН. Зниження напруги та відповідно

зарядного струму ВАБ відбувається за рахунок зростання індуктивного опору реактора L в наслідок підвищення частоти перемикання ключа VT7.

Формування бази зразкових даних

Основу ЕС складає база знань, яка призначена для зберігання довгострокових даних, що описують об'єктну область і правила доцільних перетворень даних цієї області. Аналіз об'єктної області в ЕС здійснюється шляхом вибору адекватного рішення із бази знань при надходженні бази даних, які визначають окремі факти, що характеризують об'єкти, процеси та явища в предметній області.

Стосовно діагностики автомобіля, як об'єктна область розглядається мехатронна система, а як предметна – її технічний стан. В такому разі, як база знань розглядаються допустимі (еталонні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування справної системи (далі по тексті – база даних), а як база даних – поточні (фактичні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування системи по факту їх реалізації (далі по тесту – поточні дані). Зрозуміло, що вся поточна інформація про стан мехатронної системи, яка надходить та зберігається в ЕС являє параметри електричних величин (сигналів), які аналізуються в інтерпретованому (кодовому) виді шляхом порівняння. При цьому, можна розглядати і апаратну складову ЕС. Узагальнена схема процесу формування бази знань для ідентифікації технічних станів (справного і несправних) ЕП показана на рис. 2.

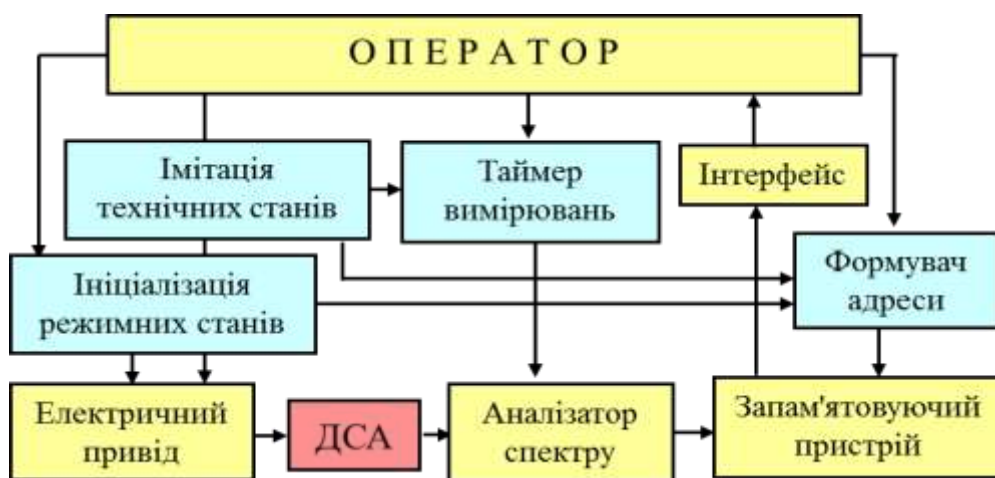


Рис. 2. Схема процесу формування бази зразкових даних

Оператор послідовно імітує несправності системи ЕП шляхом розімкнення кіл (режим холостого ходу) та перемикання елементів

(режим короткого замикання) та забезпечує функціонування ЕП у експлуатаційних режи-

мах автомобіля. Моніторинг режимного та технічного станів ЕП здійснюється за допомогою датчика струму акумуляторної батареї (ДСА) у вигляді періодичного сигналу, який конвертується аналізатором спектру. Таймер вимірювань, нормований оператором, призначає необхідну тривалість часу аналізу функції струму. Відповідно до режиму функціонування ЕП і заданому пошкодженню, оператор визначає адресу запису спектрограми у двовірному форматі. Перша координата, формованої таким чином характеристичної карти, визначає чарунку пам'яті де зберігається інформація про діагностичний параметр за ознакою режимного стану, а друга – за ознакою технічного стану на час проведення експерименту.

Таким чином, об'єм пам'яті, потрібної для зберігання бібліотеки зразкових значень параметрів, визначається переліком режимних станів (кількістю функціональних тестів) і технічних станів (кількістю можливих несправностей). Для ЕП розглядаються чотири режими (функціональні тести) у статусі двигуна і два режими у статусі генератора: холостий хід та пуск електродвигуна без навантаження і під визначеним навантаженням; обертання електродвигуна під стаціонарним навантаженням; підключення ВАБ до генератора під напругою; заряд ВАБ фіксованим значенням струму в режимі рекуперації.

Формування бази знань можна проводити двома шляхами – натурального експерименту на фізичному рівні або віртуальних досліджень імітаційної моделі. В першому випадку, потрібно мати реальний автомобіль з ЕП (об'єкт діагностики), на якому забезпечуються необхідні режими функціонування (ініціалізація режимних станів) та є можливість послідовно спричиняти пошкодження елементів електричних кіл та їх відновлення (імітація технічних станів) без важких наслідків та марних втрат. Крім того, потрібна апаратура для реалізації вимірювального каналу (інтегрований датчик ДСА), перетворення сигналу (аналізатор спектру, таймер вимірювань) і збереження отриманої інформації (формуваць адреси, запам'ятовуючій пристрій, інтерфейс користувача).

На етапі попередніх досліджень при розробці діагностичної системи доцільним є другий підхід – віртуальні дослідження де витратна частина розробки зводиться до наявності персонального комп'ютера ПК з відповідним програмним забезпеченням ПЗ.

Згідно методики досліджень, імітаційні

моделі ЕП будуються окремо для статусу двигуна і статусу генератора. Для визначених режимів ЕП проводиться спектральний FFT-аналіз функції струму батареї. Чутливість діагностичного параметру, в такому разі, визначається розбіжністю амплітуд та фазових зсувів окремих гармонік спектру для заданого режиму ЕП, а інформативність – розбіжністю спектрограм обраного режиму для різних технічних станів (справного та несправних). Результати попередніх досліджень, з цього приводу, показують, що для кожного режиму функціонування і технічного стану ЕП слід обирати певні формати спектрограм. Такий підхід дозволяє відокремити на спектрограмах характерні (з домінуючою амплітудою) складові (комбінації складових) за якими ідентифікуються несправні стани системи.

Як найбільш ймовірні несправні стани силового кола при структурній ідентифікації можна розглядати значний перелік апаратних пошкоджень: пробой (короткі замикання) та перегорання (обриви) напівпровідникових приладів; обриви пасивних елементів і короткі замикання монтажу; обриви обмоток вентиляційної машини. До цього переліку можна додати стани при параметричній ідентифікації несправностей, такі як виткові замкнення в обмотках вентиляційної машини та відхилення параметрів пасивних елементів від нормованих значень.

Таким чином, враховуючі контрольовану кількість режимів функціонування (режимних станів) системи електроприводу N й кількість можливих пошкоджень (технічних станів) n маємо значний перелік спектрограм, які розглядаються, як база зразкових даних (база знань) експертної системи самодіагностики. Якщо, кількість гармонік, розглянутих в кожній спектрограмі технічного стану, позначити числом m , то загальний формат (об'єм пам'яті) потрібний для зберігання бібліотеки станів за амплітудним показником визначиться перемноженням $F=2 \times N \times n \times m$. Подвоєння формату пояснюється необхідністю зберігати граничні значення (коридор допусків) амплітуди кожної гармоніки. Загальний об'єм пам'яті у кодовому наданні, при цьому, залежить від обраної розрядності коду інтерпретованої амплітуди окремих гармонік. Якщо технічні стани ідентифікувати ще й за фазовим зсувом окремих гармонік спектру, можна значно підвищити інформативність спектрограм. Однак при цьому, відповідно, формат бібліотеки даних і об'єм пам'яті для її зберігання значно зростає.

Побудування функціональної схеми діагностичної системи

При апаратній реалізації системи цифрової обробки сигналу на схемі розглядають функціональні блоки, при програмній – програмні

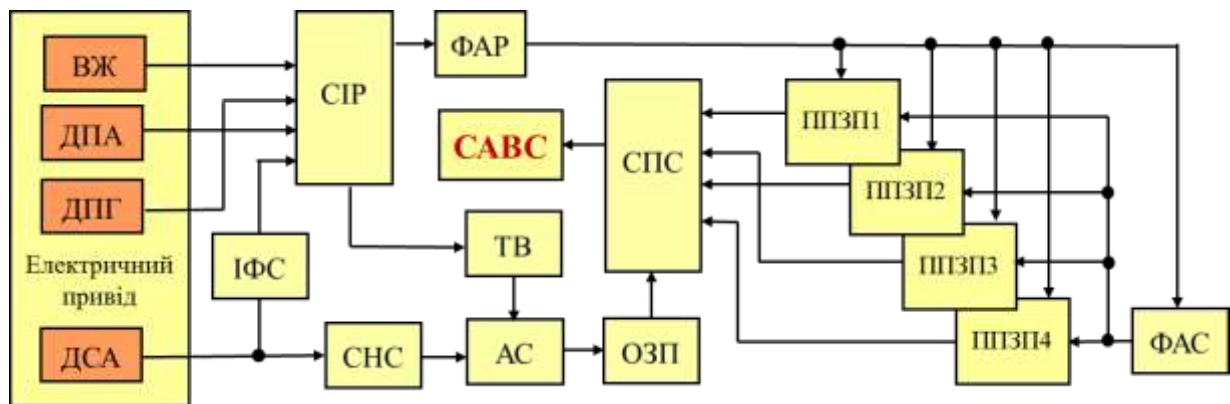


Рис. 3. Функціональна схема експертної діагностичної системи електроприводу

На рисунку, крім згаданих раніше, позначено функціональні блоки (програмні модулі): ВЖ – вимикач живлення; ІФС – інтегратор функції струму; СІР – схема ідентифікації режиму; СНС – схема нормалізації сигналу; ФАР – формувач адреси режиму; ТВ – таймер вимірювань; АС – аналізатор спектру; СПС – схема порівняння сигналів; ОЗП – оперативно-запам'ятовуючий пристрій; ППЗП – постійно програмований запам'ятовуючий пристрій; ФАС – формувач адреси стану; САВС – схема аварійного відключення і сигналізації.

Під час експлуатаційних режимів автомобіля з органів керування ЕП (ВЖ, ДПА, ДПГ) і датчика ДСА надходять сигнали до блоку СІР, який ідентифікує поточний режимний стан за допомогою внутрішньої ЕС (відокремлення тестових ситуацій). При цьому, завдяки блоку ІФС аналоговий сигнал інформує про середнє значення (ступень навантаження електродвигуна) та направлення струму у колі ВАБ (статус ЕП).

Одночасно, нормований (блок СНС) сигнал з ДСА надходить в аналізатор спектра АС. Сигнал про наявність тестової ситуації з СІР запускає таймер ТВ, який регламентує тривалість аналізу спектра в АС. Отримана спектрограма поточного режиму деякий час зберігається в ОЗП. В цьому же циклі, двійковий код номеру режимного стану з СІР через ФАР формує код адреси ППЗП де зберігається база еталонних даних поточного режиму. Адресний сигнал з ФАР запускає послідовний перегляд (сканування) адрес обраного номера ППЗП де зберігаються еталонні спектрограми

модулі. У будь-якому випадку функціональна схема бортової експертної діагностичної системи ЕП автомобіля має вигляд певної структури (рис. 3).

технічних станів системи ЕП на заданому поточному режимі. Сканування починається з спектрограми, що характеризує справний стан.

Таким чином на схему порівняння СПС, з одного боку подається спектрограма фактичної функції струму ВАБ на поточному режимі, з іншого, – послідовно надходять еталонні спектрограми з відповідного номеру ППЗП. Вразі, якщо спектрограми збігаються, на виході СПС формується сигнал, в якому міститься інформація про технічний стан системи ЕП.

Якщо система справна (збіг на першому порівнянні) сигнал з СПС ігнорується. Вразі наявності визначеної несправності, відповідний код надсилається в пам'ять помилок (як в системах самодіагностики) і на сигналізатор інформаційної системи водія. Поряд з цим, код несправності надходить в блок САВС, через який реалізуються активні функції системи самодіагностики (резервування, відключення живлення, адаптація сигналів керування).

Висновки

Базу зразкових даних діагностичної експертної системи можна формувати двома методами – натурального експерименту та віртуальних досліджень. Процес формування бази знань, в останньому випадку, передбачає суб'єктивні дії оператора або реалізацію на програмному рівні в автоматичному режимі.

Функціональна схема інтегрованої системи самодіагностики ЕП складається з чоти-

рхох основних частин: вимірювальної (ідентифікація режиму); частини, що аналізує сигнал (АЦП); бібліотеки параметрів (бази даних); прийняття рішення (забезпечення аварійного режиму).

Експертна діагностична система запропонованої структури здатна вирішувати декілька задач пасивної і активної діагностики: визначати несправний елемент ЕП; забезпечувати аварійний режим функціонування шляхом резервування апаратних елементів та програмного заміщення втраченої інформації; встановлювати причини та закономірності прояву несправності елементів на експлуатаційних режимах; мінімізувати негативні наслідки пошкоджень елементів та монтажу; упереджувати аварійний стан системи.

Література

1. Top 6 Car Diagnostic Software in 2017. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: <http://www.archer-soft.com/en/blog/>.
2. On-board diagnostics. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/>.
3. Nana Yaw Asabere, Simonov Kusi-Sarpong. A Mobile Vehicle Expert System for the Automobile Industry / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 Vol. 2, Issue 6, November- December 2012, pp.1108-1123. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: www.ijera.com/papers/Vol2_issue6/FH2611081123.pdf.
4. Dubravko Miljković, Hep, Zagreb Croatia. Brief review of motor current signature analysis. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: <https://hrcak.srce.hr/file/218882>.
5. Бороденко Ю.М. Якісний аналіз гармонійних процесів по колах живлення електроприводу автомобіля / Ю.М. Бороденко, О.А. Дзюбенко, О.Д. Приходько // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2015. – №7 – С. 158 – 163.
6. Бороденко Ю.М. Спектральний аналіз електричних процесів по колах живлення електроприводу автомобіля / Ю.М. Бороденко, Є.В. Трішкін // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2015. – №8. – С. 6 – 11.
7. Бороденко Ю.М. Ідентифікація несправностей електроприводу автомобіля з вентильним двигуном. // Весник ХНАДУ. Харьков: ХНАДУ, 2016. – вып. № 72. – С. 13 – 18.
8. Бороденко Ю.М. Ідентифікація несправностей енергетичної установки гібридного автомобіля. // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2016. – №9. – С. 27 – 31.

References

1. Top 6 Car Diagnostic Software in 2017. Available at: <http://www.archer-soft.com/en/blog/> (accessed 6 June 2018).
2. On-board diagnostics. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/> (accessed 6 June 2018).
3. Nana Yaw Asabere, Simonov Kusi-Sarpong. A Mobile Vehicle Expert System for the Automobile Industry / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 Vol. 2, Issue 6, November - December 2012, pp.1108-1123. Available at: www.ijera.com/papers/Vol2_issue6/FH2611081123.pdf (accessed 6 June 2018).
4. Dubravko Miljković, Hep, Zagreb Croatia. Brief review of motor current signature analysis. Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/218882> (accessed 6 June 2018).
5. Borodenko Yu.M. Yakisnyy analiz harmoniynykh protsesiv po kolakh zhyvlennya elektropryvodu avtomobilya / Yu.M. Borodenko, O.A. Dzyubenko, O.D. Prykhod'ko // Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye. – Kh.: KHNADU, 2015. – №7 – С. 158 – 163. [Borodenko Yu.M. Qualitative analysis of harmonic processes in the circles of the electric drive of the car / Yu.M. Borodenko, O.A. Dzyubenko, O.D. Prykhod'ko // Car and electronics. Modern technologies: an electronic scientific specialized publication. – Kh.: KHNADU, 2015. - № 7 - С. 158 - 163.]
6. Borodenko Yu.M. Spektral'nyy analiz elektrychnykh protsesiv po kolakh zhyvlennya elektropryvodu avtomobilya / Yu.M. Borodenko, YE.V. Trishkyn // Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye. – Kh.: KHNADU, 2015. – №8. – С. 6 – 11. [Borodenko Yu.M. Spectral analysis of electric processes in the circles of the electric drive of the car / Yu.M. Borodenko, Ye.V. Trishkin // Car and electronics. Modern technologies: an electronic scientific specialized publication. – Kh.: KHNADU, 2015. - №8. - С. 6 - 11.]
7. Borodenko Yu.M. Identifikatsiya nespravnostey elektropryvodu avtomobilya z ventyl'nyim dvyhunom. // Vesnik KHNADU. Khar'kov: KHNADU, 2016. – vyp. № 72. – С. 13 – 18. [Borodenko Yu.M. Identification of faults of the electric drive of a car with a brushless motor. // Vesnik Khnadu. Kh.: KHNADU, 2016. - вып. No. 72. - P. 13 - 18.]
8. Borodenko Yu.M. Identifikatsiya nespravnostey enerhetychnoyi ustanovky hibrydoho avtomobilya. // Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye. – Kh.: KHNADU, 2016. – №9. – С. 27 – 31. [Borodenko Yu.M. Identification of malfunctions of the power unit of a hybrid

vehicle. // Car and electronics. Modern technologies: an electronic scientific specialized publication. – Kh.: KHNADU, 2016. - №9. – С. 27 – 31.

Стаття надійшла в редакцію 6.06.2018 р.

Бороденко Юрій Миколайович¹, к. ф-м. н., доцент кафедри автомобільної електроніки, тел. 098-362-9112, docentmaster@gmail.com

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

Synthesis of the expert diagnostic system of the electric drive of the vehicle

Abstract. *The trend in the development of vehicles with electric traction determines the urgency of operational control of the technical condition of vehicles of this class. The use of integrated diagnostic systems on the basis of expert programs on board the vehicle can reduce operating costs while maintaining it and increase traffic safety. The goal of the work, at this stage, is to synthesize the diagnostic system. Two problems are solved: determination of the procedure for forming the knowledge base of the expert system (data library) and constructing a functional diagram of the integrated system for monitoring the current values of the diagnostic parameters and identifying the technical state of the electric drive. The methodology of forming a data library consists of conducting a natural or virtual experiment. As the object of diagnostics, the power part of the electric drive system of the vehicle with one valve synchronous machine functioning in the status of the traction motor and generator is considered. The procedure for forming the knowledge base of the expert system is to register the spectral composition of the current function in the power supply circuit of the electric drive and to accumulate diagnostic information during the simulation of the damage to its elements in operating conditions. Monitoring of the mode and technical conditions of the electric drive is carried out on the basis of the parameters of the periodic signal of the contactless current sensor of the traction battery, which is converted by the spectrum analyzer and converted into coded information. The generalized scheme of forming the knowledge base of the expert system and the functional diagram of the integrated self-diagnostic system*

for identifying the technical state of the electric drive are presented. The parameters of the general memory format required for storing the library data in the code representation are determined. At the preliminary stage of development, virtual studies of the simulation model of the electric drive built in the Matlab/Simulink program were performed to form the reference values base for the diagnostic parameter (spectrogram) of the expert system. The expert diagnostic system of the proposed structure is capable of solving several problems of passive and active diagnostics: determining the faulty element of the electric drive; provide an emergency mode of operation by reserving hardware elements and software replacement of lost information; to establish the causes and patterns of the manifestation of malfunctioning elements in operational modes; minimize the negative consequences of damage to components and installation; anticipate system emergency.

Key words: *electric drive, brushless machine, traction battery, voltage converter, spectral analysis, diagnostic system, expert program.*

Yuriy Borodenko¹, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys.-Maht.), 098-362-9112, docentmaster@gmail.com

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

Синтез экспертной диагностической системы электропривода автомобиля

Аннотация. *Рассмотрены вопросы построения диагностической системы электропривода автомобиля с использованием экспертной программы. Описанная процедура формирования базы знаний экспертной системы. Приведены функциональную схему интегрированной системы самодиагностики.*

Ключевые слова: *электропривод, вентильная машина, тяговая аккумуляторная батарея, преобразователь напряжения, спектральный анализ, диагностическая система, экспертная программа*

Бороденко Юрий Николаевич¹, к. ф-м. н., доцент кафедры автомобильной электроники, тел. 098-362-9112, docentmaster@gmail.com,

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