

DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0

ISSN: 2226-9266



АВТОМОБІЛЬ І ЕЛЕКТРОНІКА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ



**ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ
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)

15/2019

Vehicle and Electronics. Innovative Technologies

Electronic scientific professional edition
(printed version)

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0

Харків 2019

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

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0

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, категорія «Б» за спеціальностями – 113, 121, 122, 133, 151, 274, 275**, наказом Міністерства освіти і науки України № 612 від 07.05.2019

Редакційна колегія

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

Заступник

головного редактора: Аргун Щасяна Валіковна, к.т.н., доц.

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

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

Адреса редакції: Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Автомобільний факультет,

Кафедра автомобільної електроніки,

вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002,

Тел.: (057) 707-36-96

E-mail: ae.hnadu@gmail.com

ЗМІСТ**ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ****Шимук Д. С.**

Графоаналітичне визначення параметрів симетрування і повної компенсації реактивної потужності для трифазної системи електропостачання 6

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ. СИНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЕКОМОБІЛІВ**Григоров О. В., Аніщенко Г. О., Стрижак В. В., Петренко Н. О.,****Турчин О. В., Окунь А. О., Пономарьов О. Е.**

Штучний інтелект. Машинне навчання 17

Кобрина Н. В.

Программно-апаратний комплекс для моделювання беспилотных транспортних средств (робомобилей) с использованием контроллера Arduino 28

Шуляков В. М., Фастовець В. І.

Перспективи використання доповненої реальності в автомобільній галузі 39

ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, РОЗВИТОК МЕРЕЖІ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕКОМОБІЛІВ. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**Данков В. В., Паникарский А. С.**

Некоторые особенности обслуживания и ремонта аккумуляторной батареи автомобиля «NISSAN LEAF».....44

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ І ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ**Кожушко А. П.**

Дослідження плавності руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою при виконанні транспортної роботи50

Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Кудімов С. А., Єфімчук В. М.

Рациональное управління розгоном повнопривідного електромобіля58

Бакуменко В. Б., Тарасова В. В., Ручка О. О., Гнатов А. В.,**Аргун Щ. В., Тарасов К. С.**

Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна при наявності в ній мінімального моменту64

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

Бороденко Ю. М.

Апаратна реалізація діагностичної системи електроприводу
автомобіля 74

**Батыгин Ю. В., Гаврилова Т. В., Шиндерук С. А., Сериков Г. С.,
Серикова И.А., Черный Е. Е.**

Индуктивное возбуждение последовательного гс-контура
прямоугольными импульсами напряжения расчетные соотношения 82

**Чаплыгин Е. А., Ерёміна Е. Ф., Шиндерук С. А., Коряк А. А.,
Черный Е. Е.**

Экспериментальное исследование инструментов «прямого
пропускания тока» магнитно-импульсной обработки металлов 88

Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я.

Вдосконалення системи технічного контролю та допуску до
експлуатації автобусів громадського транспорту 94

ІНШІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТУ

Ponikarovska S. V.

Developing communication skills in 21st century electric engineering
students. 100

Мигаль В. Д., Аргун Щ. В.

Вибір методу оцінки якості асинхронних тягових електродвигунів
для електробусів 105

ГРАФОАНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИМЕТРУВАННЯ І ПОВНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ТРИФАЗНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Шимук Д. С.¹,

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба

***Анотація.** Проведено попередній аналіз режиму роботи трифазної системи електропостачання з несиметричним навантаженням, визначено попередні вимоги до параметрів симетруючого пристрою, і наведена методика графоаналітичного розрахунку вказаних параметрів. Після перевірки ефективності симетрування і компенсації реактивної потужності і наступного розрахункового уточнення параметрів струму джерел живлення стали симетричними, реактивна потужність в мережі знижена практично до нуля.*

***Ключові слова:** трифазна система, несиметрія, симетруючий пристрій, компенсація реактивної потужності.*

Вступ

Використання електричних двигунів у складі споживачів систем електропостачання різноманітного призначення є чинником зростання питомого рівня реактивної потужності, що виробляється в генераторах і циркулює в електромережах. Надлишок реактивної потужності призводить до таких негативних наслідків, як втрати в генераторах та лініях, падіння напруги в лініях, погіршення якості електричної енергії в мережах в цілому. Водночас, при широкому застосування однофазних двигунних споживачів має місце зміна активно-реактивних навантажень по фазах. Таке явище притаманне енергетиці залізниць, міському електротранспорту та ін. Нерівномірність завантаження фаз при її стохастичному характері виникнення призводить до виникнення понадструмів і збільшенню витрат в мережі. Тому симетрування струмів і зменшення циркуляції реактивної потужності в мережі є важливою задачею у справі забезпечення необхідної якості електричної енергії.

Аналіз публікацій

Симетрування струмів і напруг в електричних трифазних системах електропостачання є важливішим засобом підвищення якості електропостачання [1, 2]. Саме симетруванням вирівнюються значення струмів в фазах ліній, завдяки чому джерела електроживлен-

ня завантажуються рівномірно. Крім того, симетрування сприяє зниженню струмів в мережах, а відповідно і зниженню втрат при транспортуванні електричної енергії [3].

Крім симетрування для зниження втрат при передачі електричної енергії необхідно забезпечувати передачу від джерела до навантаження лише активної потужності [3]. Для вирішення таких задач використовуються симетро-компенсуючі пристрої. Тому виникає необхідність визначення параметрів симетро-компенсуючих пристроїв, що за умови врахування активно-реактивних опорів ліній є досить складною задачею.

Саме врахування активно-реактивних опорів ліній, що з'єднують ідеальні джерела (з нескінченною потужністю) і несиметричне активно-реактивне навантаження, і є фактором, що ускладнює задачу визначення параметрів симетрування і компенсації [4-8].

Для рішення цієї задачі автори робіт [4 – 8] використовують оптимізаційні алгоритми. Так в роботі [4] запропоновано використання пошукової оптимізації і вказано, що аналітичним методом не вдається забезпечити точне симетрування в трифазній системі при врахуванні активно-реактивних опорів ліній. В [5] показано, як шляхом декомпозиції визначається сталий режим скомпенсованої системи і потім оптимізаційними методами визначаються параметри симетро-компенсуючого пристрою. В [6] для визначення параметрів

симетруючого пристрою застосовується пошукова оптимізація, а реалізація методу здійснена на візуальній моделі засобами програми MATLAB. В роботі [7] шляхом пошукової оптимізації розраховуються такі параметри симетро-компенсуючого пристрою, які мінімізують критерій, що враховує амплітуди зворотної, нульової послідовностей струму і фазу прямої послідовності струму. Автори роботи [8], при дослідженні режимів повної компенсації реактивної потужності за умови мінімізації критерію кульової квадратичної метрики реактивних потужностей кожного джерела електроенергії, встановили, що суттєвий вплив на кінцевий результат має вибір початкових значень параметрів оптимізації. Показано, що може існувати два сталих локальних оптимума, що означає неоднозначність рішення задачі оптимізації.

В [9] автор формулює і доводить теорему, яка дозволяє визначити необхідні провідності і реактивні струми гілок компенсуючого пристрою з несиметричною структурою, для яких еквівалентна провідність цих елементів і навантаження буде симетричною і активною. Наведено числовий приклад, але дослідження виконані для чотирипроводної схеми. В [10] розглядається задача симетрування напруг вузлів електричних мереж у фазних координатах. Тут заслуговує уваги ідея розрахунку "ін'єкції" реактивного несиметричного струму від компенсуючого пристрою до лінії, що живить несиметричне неоднорідне навантаження з реактивною складовою, що дає змогу реалізувати в трифазній мережі режим симетрії струмів і компенсації реактивної потужності.

Таким чином, встановлено, що необхідність врахування опорів ліній живлення несиметричного навантаження від симетричного трифазного джерела нескінченної потужності призводить до ускладнення визначення параметрів симетрування і компенсації реактивної потужності в трифазних системах електропостачання. Точне визначення таких параметрів забезпечують методи пошукової оптимізації. Але при невдалому виборі початкових значень параметрів режиму при використанні цих методів можливо отримати неоднозначні рішення.

Тому доцільним є аналітичне визначення параметрів симетрування і компенсації реактивної потужності з застосуванням запропонованої в [5] декомпозиції систем для розра-

хунку параметрів начального наближення, використаних в [6 - 8] комп'ютерних засобів обчислювальної математики, методу послідовних наближень з [4, 5], ідеї "ін'єкції" реактивного несиметричного струму від компенсуючого пристрою в лінію з [10]. Використання при цьому методів лінійної алгебри забезпечує отримання бажаного результату, а саме – такі параметри симетруючого пристрою, які забезпечать режим симетрування і повної компенсації реактивної потужності в трифазній системі електропостачання.

Для забезпечення адекватності дані для ілюстративного прикладу взято з роботи [6].

Мета та постановка задачі

Метою статті є розробка методу визначення параметрів симетруючого пристрою для трифазних систем електропостачання, оснований на аналізі наявного режиму роботи системи з подальшим графоаналітичним визначенням параметрів симетрування і повної компенсації реактивної потужності.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати наявний режим роботи мережі, сформулювати вимоги до параметрів симетруючого пристрою, визначити схему симетруючого пристрою і параметри її елементів, проаналізувати ефективність симетрування і компенсації, при необхідності, уточнити параметри симетруючого пристрою.

1. Аналіз режиму роботи мережі

Власне аналіз режиму роботи мережі полягає у визначенні струмів і напруг гілок її електричної схеми.

На рис. 1 зображена еквівалентна схема трифазної системи електропостачання з несиметричним навантаженням.

Трифазне джерело електрорухомої сили (ЕРС) симетричне, нескінченної потужності з діючим значенням гармонійної напруги $E = 100$ В і частотою 50 Гц. Фази ліній мають однакові параметри активного опору $R_w = 0,1$ Ом і індуктивності $L_w = 0,001$ Гн. Активні опори і індуктивності гілок фазних навантажень наступні: $R_{na} = 1,5$ Ом, $R_{nb} = 1,0$ Ом, $R_{nc} = 2,0$ Ом, $L_{na} = 0,025$ Гн, $L_{nb} = 0,01$ Гн, $L_{nc} = 0,04$ Гн.

Розрахунок схеми на рис. 1 виконано відомим чином [11, 12] у комплексній формі і представлено з необхідними поясненнями у вигляді Mathcad-документа на рис. 2.

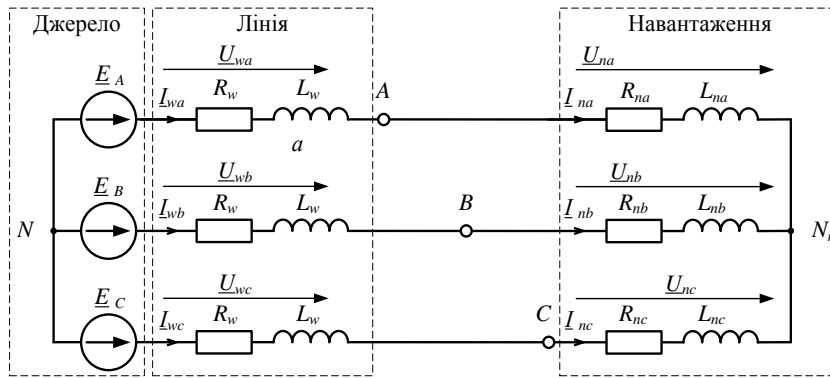


Рис. 1. Еквівалентна схема трифазної системи електропостачання з несиметричним навантаженням

Опір фази симетричної лінії	Опір навантаження фази А	Опір навантаження фази В	Опір навантаження фази С	
$r_w := 0.1 \quad L_w := 0.001$	$r_{na} := 1.5 \quad L_{na} := 0.025$	$r_{nb} := 1 \quad L_{nb} := 0.01$	$r_{nc} := 2 \quad L_{nc} := 0.04$	$\omega := 314$
$z_w := r_w + \omega L_w j$	$z_{na} := r_{na} + \omega L_{na} j$	$z_{nb} := r_{nb} + \omega L_{nb} j$	$z_{nc} := r_{nc} + \omega L_{nc} j$	
$z_w = 0.1 + 0.314j$	$z_{na} = 1.5 + 7.85j$	$z_{nb} = 1 + 3.14j$	$z_{nc} = 2 + 12.56j$	$a := e^{-\frac{2\pi}{3}j}$
	$y_{na} := (z_{na})^{-1}$	$y_{nb} := (z_{nb})^{-1}$	$y_{nc} := (z_{nc})^{-1}$	
	$z_a := z_{na} + z_w$	$z_b := z_{nb} + z_w$	$z_c := z_{nc} + z_w$	
	$y_a := z_a^{-1}$	$y_b := z_b^{-1}$	$y_c := z_c^{-1}$	
Джерело живлення:	$E := 100$	$E_A := E$	$E_B := E_A a^2$	$E_C := E_A a$
Визначимо струми гілок в схемі				
Знаходимо потенціал зсуву нейтралі навантаження				
$U_{Nn} := \frac{E_A y_a + E_B y_b + E_C y_c}{y_a + y_b + y_c} = -7.859 - 38.92j$	$ U_{Nn} = 39.705$	$\arg(U_{Nn}) = -101.416 \text{ deg}$		
Визначимо струми гілок				
$I_{na} := y_a (E_A - U_{Nn}) = 7.084 - 11.823j$	$ I_{na} = 13.783$	$\arg(I_{na}) = -59.07 \text{ deg}$		
$I_{nb} := y_b (E_B - U_{Nn}) = -16.062 + 7.085j$	$ I_{nb} = 17.555$	$\arg(I_{nb}) = 156.196 \text{ deg}$		
$I_{nc} := y_c (E_C - U_{Nn}) = 8.977 + 4.738j$	$ I_{nc} = 10.151$	$\arg(I_{nc}) = 27.823 \text{ deg}$		
Обчислимо симетричні складові струмів гілок				
$I_{n1} := \frac{1}{3} (I_{na} + a I_{nb} + a^2 I_{nc}) = 2.864 - 13.14j$	$ I_{n1} = 13.448$	$\arg(I_{n1}) = -77.702 \text{ deg}$		
$I_{n2} := \frac{1}{3} (I_{na} + a^2 I_{nb} + a I_{nc}) = 4.22 + 1.317j$	$ I_{n2} = 4.421$	$\arg(I_{n2}) = 17.327 \text{ deg}$		
$I_{n0} := \frac{1}{3} (I_{na} + I_{nb} + I_{nc}) = 0$				
Розрахунок значення коефіцієнту несиметрії, %, за зворотною послідовністю				
$K_{nc} := \frac{ I_{n2} }{ I_{n1} } \cdot 100 = 32.871$				

Рис. 2. Mathcad-розрахунок струмів в еквівалентній схемі на рис. 1.

Аналіз результатів розрахунків, наведених на рис. 2, показує наступне:

1. Фазні струми джерела і лінії дорівнюють фазним струмам навантажень.
2. Фазні струми навантажень несиметричні і мають значні реактивні складові.
3. Кількісно несиметрія струмів джерела характеризується наявністю в струмах симетричної складової зворотної послідовності, значення коефіцієнту несиметрії за якою ($K_{nc(2)} = 32,871\%$) суттєво перевищує допустиме значення

2. Формування вимог до параметрів симетруючого пристрою

Симетруючий пристрій (СП) підключається

ся в схемі (рис. 1) до затискачів навантаження А, В, С, згідно до рис. 3.

Вимоги до симетруючого пристрою доцільно сформулювати наступним чином.

1. Якщо ставити за мету забезпечення лише симетрування струмів джерел живлення, то СП має споживати несиметричні струми, що компенсують складову зворотної послідовності струмів навантажень.

Тоді струми ліній I_{wa} , I_{wb} , I_{wc} будуть містити лише симетричну складову прямої послідовності I_{n1} (рис. 2) від струмів навантажень з урахуванням фазного повороту, тобто:

$$I_{wa} = I_{n1} = 13,448 e^{j(-77,702^\circ)} \text{ A}; \quad (1)$$

$$\underline{I}_{wb} = \underline{I}_{n1} \cdot a^2 = 13,448 e^{j(162,298^\circ)} \text{ A}; \quad (2)$$

$$\underline{I}_{wc} = \underline{I}_{n1} \cdot a = 13,448 e^{j(42,298^\circ)} \text{ A}; \quad (3)$$

За відомими струмами фаз ліній \underline{I}_{wa} , \underline{I}_{wb} , \underline{I}_{wc} і струмами фаз навантаження \underline{I}_{na} , \underline{I}_{nb} , \underline{I}_{nc} , обчислимо за першим законом

Кірхгофа фазні струми \underline{I}_{ka} , \underline{I}_{kb} , \underline{I}_{kc} симетрувального пристрою:

$$\underline{I}_{ka} = \underline{I}_{wa} - \underline{I}_{na}; \quad (4)$$

$$\underline{I}_{kb} = \underline{I}_{wb} - \underline{I}_{nb}; \quad (5)$$

$$\underline{I}_{kc} = \underline{I}_{wc} - \underline{I}_{nc}. \quad (6)$$

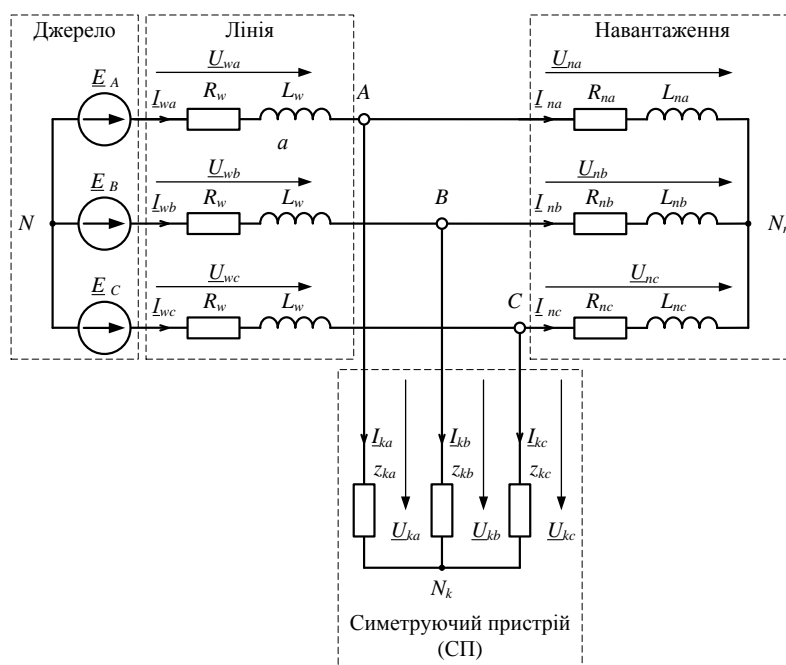


Рис. 3. Еквівалентна схема трифазної системи електропостачання з несиметричним навантаженням і підключеним симетруючим пристроєм

2. Якщо необхідно разом із симетруванням здійснювати компенсацію реактивної потужності, то СП має компенсувати і зворотну складову струму навантаження, і реактивну складову прямої послідовності струму навантаження. При виконання цієї умови струм в лінії буде містити лише активну складову струму прямої послідовності навантаження (рис. 2):

$$\underline{I}_{wa} = \text{Re}(\underline{I}_{n1}) = 2,864 e^{j0^\circ} \text{ A}; \quad (7)$$

$$\underline{I}_{wb} = \text{Re}(\underline{I}_{n1}) \cdot a^2 = 2,864 e^{j240^\circ} \text{ A}; \quad (8)$$

$$\underline{I}_{wc} = \text{Re}(\underline{I}_{n1}) \cdot a = 2,864 e^{j120^\circ} \text{ A}. \quad (9)$$

Струми симетруючого пристрою розраховуються при цьому за виразами (4) – (6).

3. Визначення схеми симетруючого пристрою і параметрів її елементів

Стосовно схеми симетруючого пристрою: будемо вважати, що опори з'єднані "зіркою". При необхідності застосування схеми "трикутника" відомі опори "зірки" легко переобчислити звичайним чином.

Рішення щодо типу елементів приймається на підставі наступних міркувань: оскільки недоцільно підвищувати споживану активну потужність, то елементи СП мають бути реактивними. А оскільки є необхідність компенсувати індуктивний характер навантажень, то характер реактивності має бути ємнісним.

При прийнятті рішення про здійснення симетрування з одночасною повною компенсацією реактивної потужності слід уточнити струми навантаження для подальшого визначення струмів СП.

Приймемо, що в режимі симетрування з повною компенсацією реактивної потужності в фазах ліній протікає симетричний активний струм I_{1w} , діюче значення якого в першому наближенні визначено шляхом розрахунків на рис. 2:

$$I_{1w} = \text{Re}(\underline{I}_{n1}) = 2,864 \text{ A}, \quad (10)$$

Фазні падіння напруги в лініях \underline{U}_{wa} , \underline{U}_{wb} , \underline{U}_{wc} при протіканні по них струму I_{1w} визначаємо так:

$$\underline{U}_{wa} = I_{1w} \cdot z_w; \quad (11)$$

$$\underline{U}_{wb} = a^2 \cdot I_{1w} \cdot z_w; \quad (12)$$

$$\underline{U}_{wc} = a \cdot I_{1w} \cdot z_w. \quad (13)$$

Уточнюємо потенціали $\underline{U}_{na}, \underline{U}_{nb}, \underline{U}_{nc}$ точок A, B, C (див. рис. 3) приєднання навантаження

$$\underline{U}_{na} = \underline{E}_A - \underline{U}_{wa}; \quad (14)$$

$$\underline{U}_{nb} = \underline{E}_B - \underline{U}_{wb}; \quad (15)$$

$$\underline{U}_{nc} = \underline{E}_C - \underline{U}_{wc}. \quad (16)$$

Обчислюємо напругу зсуву нейтралі навантаження

$$\underline{U}_{Nnn} = \frac{\underline{U}_{na} \cdot y_{na} + \underline{U}_{nb} \cdot y_{nb} + \underline{U}_{nc} \cdot y_{nc}}{y_{na} + y_{nb} + y_{nc}}. \quad (17)$$

Уточнюємо струми в фазах навантаження:

$$\underline{I}_{nna} = (\underline{U}_{na} - \underline{U}_{Nnn}) \cdot y_{na}, \quad (18)$$

$$\underline{I}_{nnb} = (\underline{U}_{nb} - \underline{U}_{Nnn}) \cdot y_{nb}, \quad (19)$$

$$\underline{I}_{nnc} = (\underline{U}_{nc} - \underline{U}_{Nnn}) \cdot y_{nc}. \quad (20)$$

Виконуємо розрахунок фазних струмів компенсатора відповідно до (4) – (6) з урахуванням умови (10) і рівнянь (18) – (20):

$$\underline{I}_{ka} = I_{1w} - \underline{I}_{nna}; \quad (21)$$

$$\underline{I}_{kb} = a^2 \cdot I_{1w} - \underline{I}_{nnb}; \quad (22)$$

$$\underline{I}_{kc} = a \cdot I_{1w} - \underline{I}_{nnc}. \quad (23)$$

Результати розрахунків згідно виразів (10) – (23) наведені у вигляді Mathcad-документа на рис. 4.

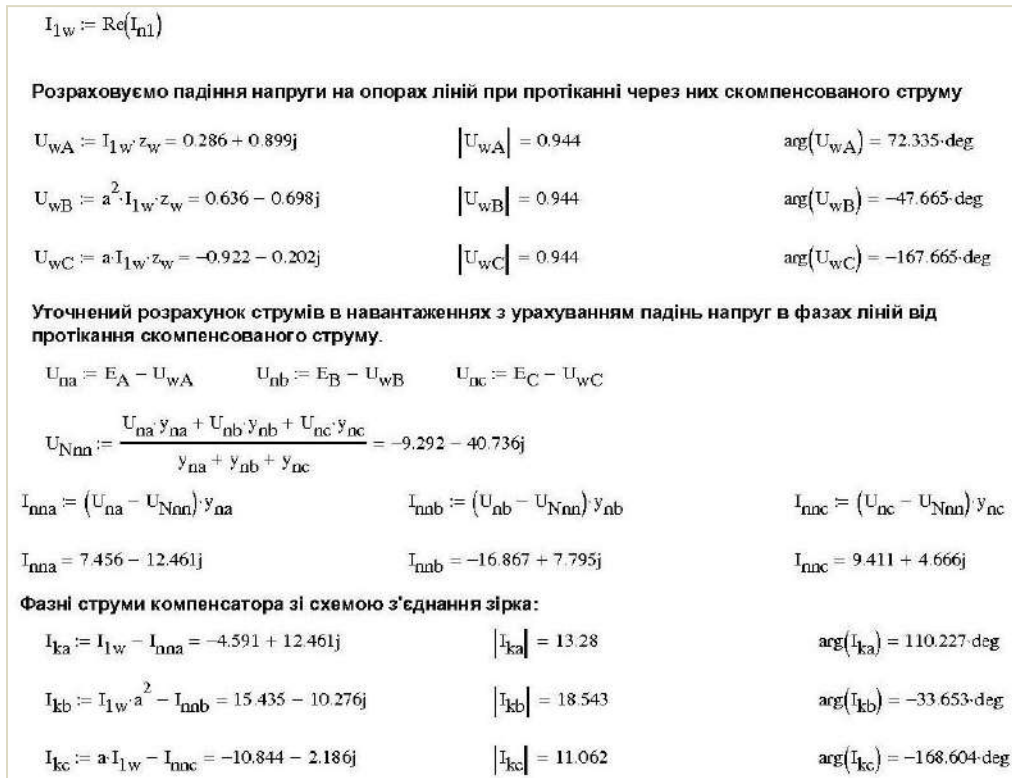


Рис. 4. Mathcad-розрахунок струмів симетруючого пристрою за схемою рис. 3, згідно до виразів (10) – (23)

Для визначення фазних опорів z_{ka}, z_{kb}, z_{kc} СП треба знати відповідні вектори фазних напруг $\underline{U}_{ka}, \underline{U}_{kb}, \underline{U}_{kc}$. Про вектори фазних напруг відомо, що їх начала мають потенціал точок приєднання фаз навантажень A, B, C (див. рис. 3) згідно (14) – (16), а їх кінці – потенціал загальної точки \underline{U}_{Nk} (рис. 3).

Для визначення потенціалу \underline{U}_{Nk} точки нейтралі СП N_k звернемо увагу на наступне.

Відомими параметрами фазних опорів СП є вектори фазних струмів СП. В той же час раніше було визначено, що в якості фазних опорів СП будуть використовуватись ємності. Відомо, що вектори напруг і струмів ємності відрізняються один від одного за напрямком

на кут $\pi/2$. Тобто, відомими параметрами прокожен вектор фазної напруги СП ϵ , по-перше, початкові точки з потенціалами $\underline{U}_{wa}, \underline{U}_{wb}, \underline{U}_{wc}$ відповідно до (14) – (16) і, по-друге, напрями – перпендикулярні до векторів струмів $\underline{I}_{ka}, \underline{I}_{kb}, \underline{I}_{kc}$ за (18) – (20), що дає змогу однозначно сформулювати канонічні рівняння прямих на комплексній площині.

Потенціал точки перетину прямих, що побудовані за вказаними ознаками для кожного з фазного опорів СП, і відповідає потенціалу загальної точки \underline{U}_{Nk} .

З положень лінійної алгебри відомо, що канонічне рівняння прямої на площині в ортогональних координатах x, y має вигляд

$$A \cdot x + B \cdot y + C = 0. \quad (24)$$

де A, B, C – постійні коефіцієнти;

x, y – значення координат за ортогональними вісями.

Для комплексної площини вісь x відповідає дійсній вісі (горизонтальна вісь Re), вісь y – уявній вісі (вертикальна вісь Im).

Значення коефіцієнтів A_i, B_i, C_i канонічних рівнянь для прямих, на яких лежать відповідні вектори напруг гілок СП \underline{U}_{ki} , де i – позначення фаз a, b, c СП (рис. 3), визначаємо наступним чином:

$$A_i = \text{Im}(j \cdot \underline{I}_{ki}); \quad (25)$$

$$B_i = -\text{Re}(j \cdot \underline{I}_{ki}); \quad (26)$$

$$C_i = \text{Re}(j \cdot \underline{I}_{ki}) \cdot \text{Im}(\underline{U}_{ni}) - \text{Im}(j \cdot \underline{I}_{ki}) \cdot \text{Re}(\underline{U}_{ni}). \quad (27)$$

Для визначення координати точки перетину напрямків векторів фазних напруг слід розв'язати матричні рівняння для коефіцієнтів відповідних канонічних рівнянь. Наприклад, координати точки перетину напрямків векторів \underline{U}_{ka} і \underline{U}_{kb} визначаються матрицею-стовпцем NK_{ab} , елементами якого є дійсна Re_{ab} і уявна Im_{ab} координати точки перетину:

$$NK_{ab} = (\text{Re}_{ab} \quad \text{Im}_{ab})^T. \quad (28)$$

Матричне рівняння для визначення координат точки перетину напрямків векторів \underline{U}_{ka} і \underline{U}_{kb} має вигляд:

$$NK_{ab} = A_{ab}^{-1} C_{ab}, \quad (29)$$

$$\text{де } A_{ab} = \begin{pmatrix} A_a & B_a \\ A_b & B_b \end{pmatrix}, \quad C_{ab} = \begin{pmatrix} -C_a \\ -C_b \end{pmatrix}.$$

Елементи матриць A_{ab} і C_{ab} визначаються за виразами (25) – (27).

В процесі визначення координат потенціалу \underline{U}_{Nk} точки N_k може статись ситуація, коли координати перетину різних пар напрямків векторів будуть відрізнятись один від одного. В цьому випадку доцільно координати $\text{Re}(\underline{U}_{Nk})$ та $\text{Im}(\underline{U}_{Nk})$ потенціалу точки N_k прийняти такими, що відповідають центру ваги трикутника, координати вершин якого визначені при перетині відповідних пар прямих:

$$\text{Re}(\underline{U}_{Nk}) = \frac{\text{Re}_{ab} + \text{Re}_{bc} + \text{Re}_{ca}}{3}; \quad (30)$$

$$\text{Im}(\underline{U}_{Nk}) = \frac{\text{Im}_{ab} + \text{Im}_{bc} + \text{Im}_{ca}}{3}. \quad (31)$$

Після визначення за (30, 31) координат потенціалу \underline{U}_{Nk} нейтралі СП є можливість визначити вектори фазних напруг $\underline{U}_{ka}, \underline{U}_{kb}, \underline{U}_{kc}$:

$$\underline{U}_{ka} = \underline{U}_{na} - \underline{U}_{Nk}; \quad (32)$$

$$\underline{U}_{kb} = \underline{U}_{nb} - \underline{U}_{Nk}; \quad (33)$$

$$\underline{U}_{kc} = \underline{U}_{nc} - \underline{U}_{Nk}; \quad (34)$$

Визначаємо значення z_{ka}, z_{kb}, z_{kc} ємнісних опорів СП:

$$z_{ka} = \frac{|\underline{U}_{ka}|}{|\underline{I}_{ka}| \cdot j}; \quad z_{kb} = \frac{|\underline{U}_{kb}|}{|\underline{I}_{kb}| \cdot j} \underline{U}_{ka}; \quad z_{kc} = \frac{|\underline{U}_{kc}|}{|\underline{I}_{kc}| \cdot j}. \quad (35)$$

Результати розрахунків за виразами (24)–(35) з необхідними поясненнями наведені у вигляді Mathcad-документа на рис. 5.

4. Аналіз ефективності симетрування

Для аналізу ефективності симетрування необхідно визначити струми в гілках схеми на рис. 3 з урахуванням визначених за виразом (35) значень опорів СП. Схема на рис. 3 має дев'ять гілок, шість вузлів, чотири незалежних контури. Прийняті позитивні напрямки струмів гілок позначені на рис. 3, позитивні напрямки напруг елементів схеми співпадають з позитивними напрямками струмів.

Система рівнянь за законами Кірхгофа для

схеми на рис. 3 буде містити чотири рівняння за другим законом Кірхгофа для контурів і п'ять рівнянь за першим законом Кірхгофа для вузлів A, B, C, N_n, N_k .

Елементи першого контуру і напрямки їх обходу наступні: $E_a, z_{wa}, z_{ka}, z_{kb}, z_{wb}, E_b$.

Елементи другого контуру і напрямки їх обходу наступні: $E_b, z_{wb}, z_{kb}, z_{kc}, z_{wc}, E_c$.

Елементи третього контуру і напрямки їх

обходу наступні: $E_a, z_{wa}, z_{na}, z_{nb}, z_{wb}, E_b$.

Елементи четвертого контуру і напрямки їх обходу наступні: $E_b, z_{wb}, z_{nb}, z_{nc}, z_{wc}, E_c$.

Сформуємо вектор-стовпець IK струмів гілок:

$$IK = (\underline{I}_{wa} \quad \underline{I}_{wb} \quad \underline{I}_{wc} \quad \underline{I}_{ka} \quad \underline{I}_{kb} \quad \underline{I}_{kc} \quad \underline{I}_{na} \quad \underline{I}_{nb} \quad \underline{I}_{nc})^T \quad (36)$$

Коефіцієнти рівняння вектора напруги фази А симетруючого пристрою в канонічній формі ($A_A x + B_A y + C_A = 0$):

$$A_A := \text{Im}(j \cdot I_{ka}) \quad B_A := -\text{Re}(j \cdot I_{ka}) \quad C_A := \text{Re}(j \cdot I_{ka}) \cdot \text{Im}(U_{na}) - \text{Im}(j \cdot I_{ka}) \cdot \text{Re}(U_{na})$$

$$A_A = -4.591 \quad B_A = 12.461 \quad C_A = 469.039$$

Коефіцієнти рівняння вектора напруги фази В симетруючого пристрою в канонічній формі ($A_B x + B_B y + C_B = 0$):

$$A_B := \text{Im}(j \cdot I_{kb}) \quad B_B := -\text{Re}(j \cdot I_{kb}) \quad C_B := \text{Re}(j \cdot I_{kb}) \cdot \text{Im}(U_{nb}) - \text{Im}(j \cdot I_{kb}) \cdot \text{Re}(U_{nb})$$

$$A_B = 15.435 \quad B_B = -10.276 \quad C_B = -101.165$$

Коефіцієнти рівняння вектора напруги фази С симетруючого пристрою в канонічній формі ($A_C x + B_C y + C_C = 0$):

$$A_C := \text{Im}(j \cdot I_{kc}) \quad B_C := -\text{Re}(j \cdot I_{kc}) \quad C_C := \text{Re}(j \cdot I_{kc}) \cdot \text{Im}(U_{nc}) - \text{Im}(j \cdot I_{kc}) \cdot \text{Re}(U_{nc})$$

$$A_C = -10.844 \quad B_C = -2.186 \quad C_C = -342.463$$

Знаходимо точки перетину векторів напруг ємностей симетруючого пристрою окремо для фаз a і b, b і c, c і a

$$A_{ab} := \begin{pmatrix} A_A & B_A \\ A_B & B_B \end{pmatrix} \quad C_{ab} := \begin{pmatrix} -C_A \\ -C_B \end{pmatrix} \quad A_{bc} := \begin{pmatrix} A_B & B_B \\ A_C & B_C \end{pmatrix} \quad C_{bc} := \begin{pmatrix} -C_B \\ -C_C \end{pmatrix} \quad A_{ca} := \begin{pmatrix} A_C & B_C \\ A_A & B_A \end{pmatrix} \quad C_{ca} := \begin{pmatrix} -C_C \\ -C_A \end{pmatrix}$$

$$NK_{ab} := A_{ab}^{-1} \cdot C_{ab} = \begin{pmatrix} -24.518 \\ -46.673 \end{pmatrix} \quad NK_{bc} := A_{bc}^{-1} \cdot C_{bc} = \begin{pmatrix} -22.719 \\ -43.971 \end{pmatrix} \quad NK_{ca} := A_{ca}^{-1} \cdot C_{ca} = \begin{pmatrix} -22.336 \\ -45.87 \end{pmatrix}$$

За результатами розрахунків видно, що координати точок перетину не співпадають. Тому приймаємо рішення про положення потенціалу нейтралі симетруючого пристрою в центрі ваги трикутника з вершинами в точках перетину пар фазних напруг

$$N_k := \frac{NK_{ab_0} + NK_{bc_0} + NK_{ca_0}}{3} + \frac{NK_{ab_1} + NK_{bc_1} + NK_{ca_1}}{3} \cdot j = -23.191 - 45.505j$$

Формуємо вирази для визначення векторів фазних напруг компенсатора

$$U_{kaNk} := U_{na} - N_k = 122.905 + 44.605j \quad U_{kbNk} := U_{nb} - N_k = -27.445 - 40.4j \quad U_{kcNk} := U_{nc} - N_k = -25.887 + 132.309j$$

Розрахункові значення фазних опорів компенсатору:

$$z_{ka} := \frac{|U_{kaNk}|}{|I_{ka}| \cdot j} = -9.845j \quad z_{kb} := \frac{|U_{kbNk}|}{|I_{kb}| \cdot j} = -2.634j \quad z_{kc} := \frac{|U_{kcNk}|}{|I_{kc}| \cdot j} = -12.188j$$

Рис. 5. Графо-аналітичний Mathcad-розрахунок потенціалу точки нейтралі і фазних опорів симетруючого пристрою на рис. 3 згідно виразів (24) – (35)

З урахуванням (36) власна матриця F схеми на рис. 3 має наступний вид:

$$F = \begin{pmatrix} z_w - z_w & 0 & z_{ka} - z_{kb} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_w - z_w & 0 & z_{kb} - z_{kc} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ z_w - z_w & 0 & 0 & 0 & z_{na} - z_{nb} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_w - z_w & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{nb} - z_{nc} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

(37)

Вектор-стовпець входних впливів E відповідно до (36), (37) має наступний вид:

$$E = (\underline{E}_{ab} \quad \underline{E}_{bc} \quad \underline{E}_{ab} \quad \underline{E}_{bc} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)^T \quad (38)$$

де $\underline{E}_{ab} = \underline{E}_a - \underline{E}_b$, $\underline{E}_{bc} = \underline{E}_b - \underline{E}_c$.

Вектор IK комплексних значень струмів

отримасмо в результаті рішення матричного рівняння:

$$IK = F^{-1}E \quad (39)$$

Результат рішення матричного рівняння (39) наведено у вигляді Mathcad-документа на рис. 6.

На рис 6 звернемо увагу на значення I_{wa} , I_{wb} , I_{wc} фазних струмів ліній: видно, що вжитими заходами вдалося суттєво симетрувати

струми ліній у зрівнянні з первинними результатами I_{na} , I_{nb} , I_{nc} (див. рис. 2). Так, коефіцієнт несиметрії за зворотною послідовністю зменшився з початкового значення 32,9 % (рис. 2) до рівня 1,25 % (рис. 6), різниця фаз між векторами напруг фазних ЕРС і струмів не перевищує 0,7 електричних градусів, що дає підстави вважати вжиті заходи з симетрування і компенсації реактивної потужності в основному ефективними.

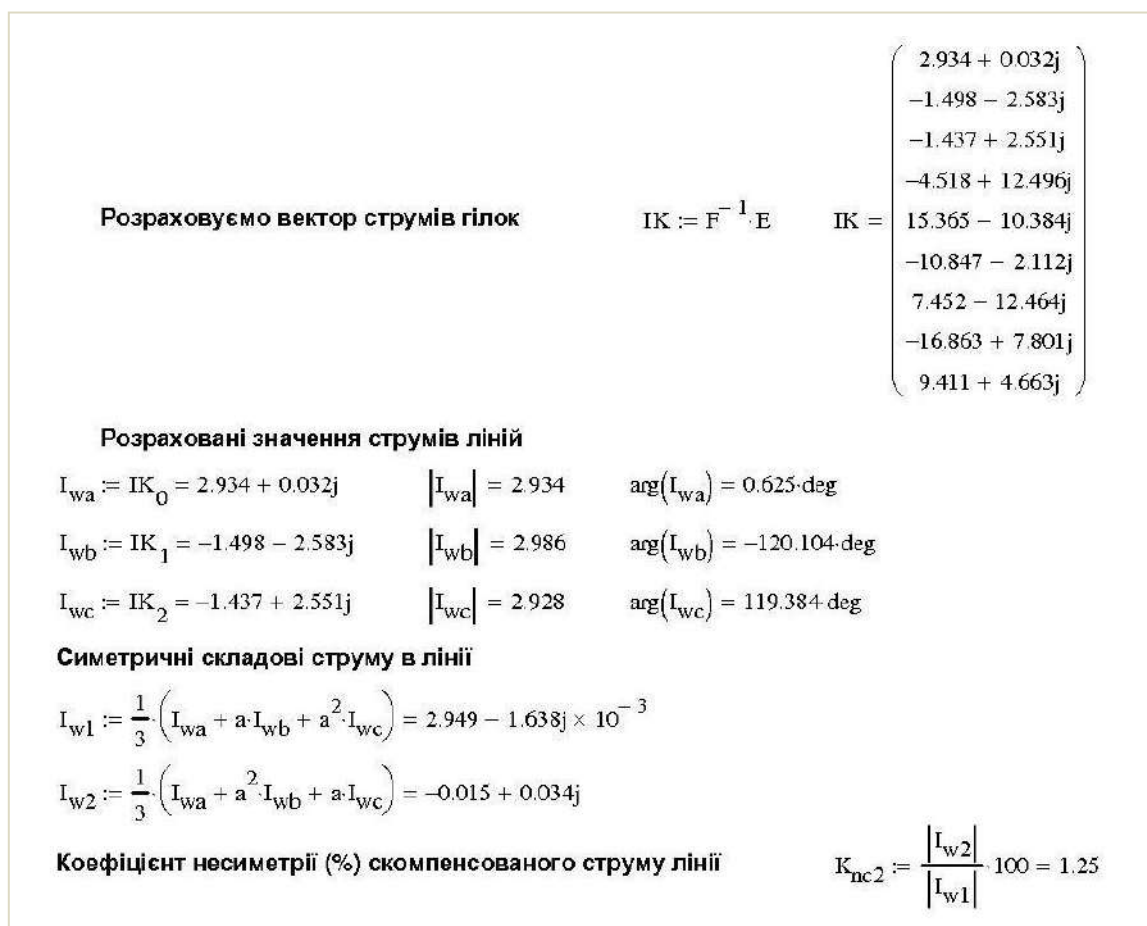


Рис. 6. Mathcad-документ розрахунку і оцінки коефіцієнту несиметрії струмів ліній при параметрах первинної компенсації

5. Уточнення параметрів симетруючого пристрою

Причиною неповного симетрування очевидно є неточний розрахунок значень компенсуючих опорів СП.

При аналізі причин такої неточності встановлено наступне. Після компенсації і симетрування струми ліній містять симетричну складову прямої послідовності зі значенням активної складової $\text{Re}(I_{w1}) = 2,949$ А (рис. 6). Це значення відрізняється від значення I_{1w} першого наближення (10) і є другим наближенням значення симетричного струму в лінії

як при симетрування і компенсації.

Для уточнення параметрів симетруючого пристрою достатньо лише виконати заміну в першому рядку на рис. 4 значення першого наближення симетричного струму в лінії з $I_{1w} = 2,864$ на уточнене за результатами розрахунку (рис. 6) значення другого наближення $I_{1w} = \text{Re}(I_{w1}) = 2,949$ А. Після цього відбудеться повний перерахунок параметрів схеми симетруючого пристрою і струмів елементів схеми за рівняннями (11) – (39).

Результати уточнених розрахунків параметрів схеми симетруючого пристрою за другим

наближенням значення симетричного струму в лініях ($I_{1w} = \text{Re}(I_{w1}) = 2,949 \text{ A}$) наведено у вигляді фрагменту Mathcad-документа на рис. 7.

Результати, наведені на рис. 7 наочно ілюструють, як за рахунок уточнення параметрів симетруючого пристрою вдалося досягнути ефекту точного симетрування струмів в лініях з одночасною компенсацією реактивної потужності при несиметричному навантаженні.

При цьому результати розрахунку струмів цілком співпадають з результатами, отриманими автором роботи [6].

Необхідно зазначити, що рис. 2, 4 – 6 є послідовними частинами єдиного Mathcad-документа, яким практично здійснена реалізація графоаналітичного визначення параметрів симетрування і повної компенсації реактивної потужності для трифазної системи електропостачання.

<p>Розраховуємо вектор струмів гілок</p>	$IK := F^{-1} \cdot E$ $IK = \begin{pmatrix} 2.949 + 5.969j \times 10^{-5} \\ -1.475 - 2.554j \\ -1.475 + 2.554j \\ -4.503 + 12.462j \\ 15.389 - 10.353j \\ -10.886 - 2.109j \\ 7.452 - 12.462j \\ -16.864 + 7.799j \\ 9.412 + 4.663j \end{pmatrix}$
<p>Розраховані значення струмів ліній</p> <p>$I_{wa} := IK_0 = 2.949 + 5.969j \times 10^{-5}$ $I_{wa} = 2.949$ $\arg(I_{wa}) = 1.16 \times 10^{-3} \cdot \text{deg}$</p> <p>$I_{wb} := IK_1 = -1.475 - 2.554j$ $I_{wb} = 2.949$ $\arg(I_{wb}) = -120 \cdot \text{deg}$</p> <p>$I_{wc} := IK_2 = -1.475 + 2.554j$ $I_{wc} = 2.949$ $\arg(I_{wc}) = 119.999 \cdot \text{deg}$</p> <p>Симетричні складові струму в лінії</p> <p>$I_{w1} := \frac{1}{3} (I_{wa} + a \cdot I_{wb} + a^2 \cdot I_{wc}) = 2.949 - 3.593j \times 10^{-6}$</p> <p>$I_{w2} := \frac{1}{3} (I_{wa} + a^2 \cdot I_{wb} + a \cdot I_{wc}) = -2.843 \times 10^{-5} + 6.328j \times 10^{-5}$</p> <p>Коефіцієнт несиметрії (%) скомпенсованого струму лінії</p>	$K_{nc2} := \frac{ I_{w2} }{ I_{w1} } \cdot 100 = 2.352 \times 10^{-3}$

Рис. 7. Mathcad-документ з результатами розрахунку і оцінки коефіцієнту несиметрії струмів ліній при уточнених параметрах компенсації

Висновки

Запропонований метод дозволяє графоаналітичним шляхом отримати чисельне рішення задачі симетрування струмів в лінії і компенсації реактивної потужності в трифазній системі електропостачання при несиметричному навантаженні.

Встановлено, що параметри СП, визначені за даними первинного аналізу режиму роботи системи електропостачання при несиметричному навантаженні, не завжди забезпечують достатній ефект симетрування і компенсації. Для підвищення ефективності симетрування і компенсації параметри СП слід уточнювати за даними первинної компенсації.

Література

1. Arrillaga J., Watson N. R., Chen S. Power system quality assessment. *John Wiley*. 2000. С. 300.
2. Acha E., Agelidis V. G., Anaya-Lara O., Miller T. J. E. Power Electronic Control in Electrical Systems. *Newnes*. 2002. С. 443. doi: 10.1016/B978-0-7506-5126-4.X5000-7.
3. Hofmann W., Schlabbach J., Just W. Reactive Power Compensation: A Practical Guide. *John Wiley & Sons*. 2012. С. 274.
4. Ягуп В. Г., Ягуп Е. В. К аналитическому определению емкостей симметрирующих конденсаторов. *Електротехніка і енергетика*. 2013. № 2 (15). С. 287-290.
5. Ягуп В. Г., Ягуп Е. В. Расчет параметров симетро-компенсирующего устройства трехфазной системы электроснабжения на основе декомпозиции системы *Технічна електродинаміка*. 2016. № 6. С. 20-26.
6. Ягуп Е. В. Моделирование несимметричной

- системы электроснабжения с использованием оптимизации для определения параметров симметрирующего устройства. *УкрДАЗТ*. 2016. № 161. С. 130-138.
7. Ягуп В. Г., Ягуп Е. В. Определение режима компенсации реактивной мощности в четырехпроводной трехфазной системе электроснабжения с помощью поисковой оптимизации. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 1. С. 60-66.
 8. Ягуп В. Г., Ягуп Е. В. Исследование режимов полной компенсации реактивной мощности в трехфазной системе электроснабжения. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2019. № 2. С. 61-65. doi: 10.20998/2074-272X.2019.2.09.
 9. Москалев Ю. В. Определение параметров компенсирующего устройства с несимметричной структурой для уменьшения несимметрии напряжений и компенсации реактивной мощности в низковольтной трехфазной электрической сети. *Известия Транссиба*. 2016. № 4 (28). С. 101-108.
 10. Гніліцький В. В. Розробка моделі симетрування напруг у трифазних мережах. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 1, № 8(73). С. 11-14.
 11. Bird J. *Electrical circuit theory and technology*. Routledge. 2017.
 12. Hnatov, A., Arhun, S., Dziubenko, O., Poni-karovska, S. Choice of Electric Engines Connection Circuits in Electric Machine Unit of Electric Power Generation Device. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 2018. 12(4). P. 87-95. Retrieved from <http://mjee.iaumajlesi.ac.ir/index/index.php/ee/article/view/2760>
- ### References
1. Arrillaga J., Watson N. R., Chen S. (2000) *Power system quality assessment*. John Wiley.
 2. Acha E., Agelidis V. G., Anaya-Lara O., Miller T. J. E. (2002) *Power Electronic Control in Electrical Systems*. Newnes. doi: 10.1016/B978-0-7506-5126-4.X5000-7.
 3. Hofmann W., Schlabbach J., Just W. (2012) *Reactive Power Compensation: A Practical Guide*. John Wiley & Sons.
 4. Yagup V. G., Yagup E. V. (2016) К аналітичному визначенню параметрів симетрируючого конденсатора. [Calculating the parameters of symmetry-compensating device for three-phase electrical power system based on the system decomposition]. *Електротехніка і енергетика*. 2 (15). 287-290. [in Russian].
 5. Yagup V. G., Yagup E. V. (2016) Raschet parametrov simetro-kompensiruyuschego ustroystva trehfaznoy sistemyi elektrosnabzheniya na osnove de-kompozitsii sistemyi. [Research of the modes of full compensation of reactive power in a three-phase power supply system]. *Технічна електродинаміка*. 6. 20-26. [in Russian].
 6. Yagup E. V. (2016) Modelirovanie nesimmetrichnoy sistemyi elektrosnabzheniya s ispolzovaniem optimizatsii dlya opredeleniya parametrov simmetriruyuschego ustroystva. [Simulation of an unbalanced power supply system using optimization to determine the parameters of a balancing device]. *UkrDAZT*. 161. 130-138. [in Russian].
 7. Yagup V. G., Yagup E. V. (2016) Opredelenie rezhima kompensatsii reaktivnoy moschnosti v chetyrehprovodnoy trehfaznoy sisteme elektrosnabzheniya s pomoschyu poiskovoy optimizatsii. [Determining the mode of compensation of reactive power in a four-wire three-phase power supply system using search engine optimization]. *Технічна електродинаміка*. 1. 60-66. [in Russian].
 8. Yagup V. G., Yagup E. V. (2019) Issledovanie rezhimov polnoy kompensatsii reaktivnoy moschnosti v trehfaznoy sisteme elektrosnabzheniya. [Investigation of modes of full compensation of reactive power in a three-phase power supply system]. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2. 61-65. doi: 10.20998/2074-272X.2019.2.09. [in Russian].
 9. Moskalev Yu. V. (2016) Opredelenie parametrov kompensiruyuschego ustroystva s nesimmetrichnoy strukturoy dlya umensheniya nesimmetrii napryazheniy i kompensatsii reaktivnoy moschnosti v nizko-voltnoy trehfaznoy elektricheskoy seti. [Determining the parameters of a compensating device with an asymmetric structure to reduce voltage unbalance and compensate reactive power in a low-voltage three-phase electric network]. *Izvestiya Transsiba*. 4 (28). 101-108. [in Russian].
 10. Gnilych`kyj V. V. (2015) Rozrobka modeli sy`metruvannya naprug u try`fazny`x merezhax. [Development of the model of voltage equation in three-phase networks]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy*. 1, 8(73). 11-14. [in Ukrainian].
 11. Bird J. (2017) *Electrical circuit theory and technology*. Routledge.
 12. Hnatov, A., Arhun, S., Dziubenko, O., Poni-karovska, S. (2018). Choice of Electric Engines Connection Circuits in Electric Machine Unit of Electric Power Generation Device. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*. 12(4). 87-95. Retrieved from <http://mjee.iaumajlesi.ac.ir/index/index.php/ee/article/view/2760>
- Шимук Дмитро Степанович**¹, к.т.н., доц. тел. +38 066-458-81-29, shimukds@gmail.com,
¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

Графоаналитическое определение параметров симметрирования и полной компенсации реактивной мощности для трехфазной

системы электроснабжения

Аннотация. Выполнен предварительный анализ режима работы трехфазной системы электроснабжения с несимметричной нагрузкой, определены предварительные требования к параметрам симметрирующего устройства и разработана методика графоаналитического расчета указанных параметров. После проверки эффективности симметрирования и компенсации реактивной мощности и последующего расчетного уточнения параметров токи источников питания стали симметричными, реактивная мощность в сети снижена практически до нуля.

Ключевые слова: трехфазная система, несимметрия, симметрирующее устройство, компенсация реактивной мощности.

Шимук Дмитрий Степанович¹, к.т.н., доц. тел. +38 066-458-81-29, shimukds@gmail.com,

¹Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

Graphoanalytic determination of symmetry parameters and total compensation of reactive power for a three-phase power supply system

Abstract. Problem. The simulation of currents and voltages in electric three-phase power supply systems is an important means of improving the quality of electrical supply. It is precisely the alignment of the values of currents in the phases of electricity supply lines, thus, the power supplies are loaded evenly. In addition to the symmetry to reduce losses in the transmission of electrical energy, it is necessary to provide transmission from the source to the loading of only active power. Therefore, it is necessary to determine the parameters of symmetric-compensating devices, which, given the fact that active-reactive line resistance is taken into account, is a rather complicated task. Numerical optimization algorithms are used to solve this problem, the disadvantage of which is the possibility of not receiving a solution due to unsuccessful selection of initial approximation of parameters and (or) excessive number of computational operations. To solve such problems, symmetro-compensating devices are used. The need to take into account the influence of active-reactive resistance of transmission lines with accurate calculation of the parameters of symmetro-compensating devices requires the use of computer models and numerical optimization methods and subroutines. **Goal.** Development of the method of determining the

parameters of the symmetrical device for three-phase power supply systems, based on the analysis of the existing operating mode of the system with subsequent graph-analytical determination of the parameters of the symmetry and full compensation of reactive power. **Methodology.** The complex methods of analysis of linear electric circuits are used. To determine the requirements of symmetry and compensation, the method of symmetric components is used. To determine the parameters of the compensating device, methods of analytic geometry are used, as well as matrix methods for solving systems of linear algebraic equations. **Results.** The proposed method allows graphoanalytic way to obtain a numerical solution to the problem of symmetry of currents in the line and compensation of reactive power in a three-phase power supply system with asymmetric load. It has been established that the parameters of the symmetric device, determined from the data of the initial analysis of the mode of operation of the power supply system with an asymmetric load, do not always provide a sufficient effect of symmetry and compensation. To improve the efficiency of the symmetry and compensation parameters of the simulating device should be specified according to the primary compensation. **Originality.** It is proposed to make an initial assessment of the mode of operation of the power supply system. Based on the initial assessment, the primary requirements for the parameters of symmetry and compensation are determined. Approximate values of the parameters of the symmetry and compensation are determined by processing the initial requirements by methods of analytical geometry. The effect of primary symmetry and primary compensation was estimated, and the primary requirements were clarified. After the correction, the full effect of the symmetry of currents and the compensation of reactive power in the lines of the power supply system have been achieved. **Practical value.** The proposed method allows to calculate the parameters of the symmetric compensation devices with high accuracy taking into account the resistance of lines in power supply systems with a wide range of changes in asymmetry and reactivity of loads, which ensures reduction of losses due to excessive asymmetry and reactivity of consumers.

Key words: three-phase system, asymmetry, symmetrical device, reactive power compensation.

Shymuk Dmytro¹, Ph.D., Ass., tel. + 38 066-458-81-29 shimukds@gmail.com.,

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

Інтелектуальні системи управління транспортними системами.
Синергетичні системи екомобілів

УДК 656.025

DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0.17

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ. МАШИННЕ НАВЧАННЯ

**Григоров О. В.¹, Аніщенко Г. О.¹, Стрижак В. В.¹, Петренко Н. О.¹,
Турчин О. В.¹, Окунь А. О.¹, Пономарьов О. Е.¹**

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

***Анотація.** У статті відображені історія та останні досягнення в царені машинного навчання (machine learning) та штучного інтелекту (artificial intelligence), ці розділи являють собою необхідні умови Індустрії 4.0 (Industry 4.0). Без цих компонентів неможливий розвиток майбутньої економіки. Розглянуто та оцінено переваги і недоліки машинного навчання, включаючи глибинне навчання, оскільки саме ці методи штучного інтелекту найбільш активно розвиваються і більш повно його характеризують. Наведена класифікація завдань та алгоритмів, інструменти для роботи з машинним навчанням та області використання. Розкриті приклади використання у бізнес-процесах, таких як виробництво та машинобудування.*

***Ключові слова:** машинне навчання, штучний інтелект, Індустрія 4.0, глибинне навчання, логістика*

Вступ

Обов'язковою умовою Четвертої промислової революції є достатній рівень розвитку технологій, на яких ґрунтуються її напрямки [1, 2, 3]. Однією з найважливіших таких технологій є штучний інтелект (ШІ). Він використовується для керування автономними роботами, аналізу великих даних та моделювання. Технологія доповненої реальності має розпізнавати середовище навколо користувача, аби доповнювати його віртуальними об'єктами, а це завдання, як і інші завдання комп'ютерного зору, можна вирішити за допомогою ШІ. Крім того, електронні пристрої та розумна побутова техніка, які є частиною Інтернету речей (Internet of Things), повинні вивчати смаки та звички свого власника, аналізувати його активність і т.п., а такі функції теж можливо реалізувати за допомогою штучного інтелекту. Для кращого розуміння штучного інтелекту слід розглянути його розвиток з моменту появи (рис. 1).



Рис. 1. Розвиток штучного інтелекту [1]

Аналіз публікацій

Штучний інтелект з'явився у 1950-х роках і привернув до себе великий інтерес. Тоді мова йшла скоріше про обчислювальні машини взагалі. Ще на етапі зароджування електронно обчислювальних машин стає зрозуміло, що вони в перспективі зможуть виконувати ті самі функції, що і людина. Наприклад, велися активні розробки програм, які б вміли грати в шашки та шахи [4, 5].

Вже у 1980-х набуває популярності машинне навчання – клас методів штучного інтелекту, характерною рисою яких є не пряме рішення завдання, а навчання в процесі застосування рішень багатьох схожих одна на одну задач. Уяву щодо машинного навчання надає, наприклад, робота [6]. Таким чином, на цьому етапі штучний інтелект вже включає в себе особливі методи та алгоритми, які відрізняють його від інших напрямків інформаційних технологій. Приклад застосування машинного навчання – автоматичне видалення небажаних електронних листів [7, 8]. В наш час активно розвивається глибинне навчання [9, 10] – напрям машинного навчання, який полягає у спробі імітувати роботу мозку живих істот, у тому числі людини, і взаємодію нейронів в ньому, що дозволяє виконувати більш абстрактні завдання.

Слід розуміти, що навіть сучасні суперкомп'ютери далекі від того, щоб опрацьовувати штучні нейронні мережі, які можна було б порівняти з мозком людини (рис. 2). Як ми бачимо, за еквівалентною кількістю нейронів сучасні обчислювальні машини знаходяться

на рівні миші. Однак, це не є їх суттєвою вадою. Як зір певних тварин значно кращий за зір людини, так само і штучний інтелект вже зараз здатен перевершити людину у певних вузькоспеціалізованих завданнях.



Рис. 2. Порівняння живих істот та обчислювальної техніки за кількістю нейронів [1]

Можна сказати, що людство вже не може зупинитись і не використовувати досягнення останніх років, які ведуть до підвищення якості життя.

Мета і постановка задачі

У цій статті ми розглянемо та оцінимо особливості машинного навчання, включаючи глибинне навчання, оскільки саме ці методи штучного інтелекту найбільш активно розвиваються і найбільш повно його характеризують.

Небезпека, яку може становити штучний інтелект

За оцінками багатьох вчених та винахідників світового рівня, при втіленні штучного інтелекту в практику зростають ризики життєдіяльності і можливий колапс світової системи. Найбільшу небезпеку для людства в майбутньому створить об'єднання роботів та ШІ. В цю тематику вкладають величезні гроші Google, Microsoft та інші відомі фірми.

Британський вчений Стівен Гокінг часто висловлювався про розвиток штучного інтелекту як про реальну причину можливого знищення людства. У квітні 2017 р. Стівен Гокінг під час відеоконференції у Пекіні, що відбулась в рамках Глобальної конференції мобільного Інтернету, заявив: «Розвиток штучного інтелекту може стати як найбільш позитивним, так і найбільш жахливим фактором для людства. Ми повинні усвідомлювати небезпеку, яку він собою являє».

Чим більше технології проникають у життя, тим більш трагічними будуть їх помилки.

І хоча у безпілотників буде менше шансів потрапити в аварію, чим у живих водіїв, на кожен нещасний випадок за участю робота будуть звертати значно більше уваги.

Співзасновник компанії Microsoft, Білл Гейтс, вважає, що штучний інтелект – дуже незвичайна і суперечлива технологія, здатна як допомогти людству, так і нашкодити йому. Гейтс зокрема провів аналогію між штучним інтелектом і ядерною зброєю. На його думку, люди повинні розвивати технології ШІ в більш мирних сферах, наприклад, в освіті та медицині, в іншому випадку нас всіх може чекати біда.

«У світі ще не було так багато технологій, одночасно багатообіцяючих і дуже небезпечних», заявив Гейтс на конференції, згадавши енергію атома в якості одного з позитивних прикладів корисної технології, яка незабаром була затьмарена появою на її основі ядерної зброї. У той же час він поскаржився, що в тих областях, де ШІ зміг би принести справжню користь людству, реальних результатів поки дуже мало. На його думку, медицина і освіта – ті сфери, де ШІ міг би реально допомогти людям [11].

На рис. 3 наведено приклад негативного впливу ШІ на людство вже сьогодні, тобто для нашого повсякденного життя. Ми бачимо, що ШІ вже може атакувати наш дім, наш автомобіль і саму людину, що може привести до негативних наслідків.

Відомий винахідник та підприємець Ілон Маск стверджує: «Ризик серйозних інцидентів, які відбудуться з вини ШІ дуже великий. Це трапиться протягом п'яти, максимум десяти-

ти років. Займаючись ШІ, ми будимо демона. Знаєте всі ці розповіді, де хлопець з пентаграмами і святою водою намагається контролювати демона? Так не вийде. ШІ прогресує дуже стрімко. Ви і гадки не маєте, наскільки.

Зверніть увагу на те, що я фахівець в технологіях. Так що це не той випадок, коли хтось кричить про вовка або говорить про те, в чому абсолютно не розбирається» [13].

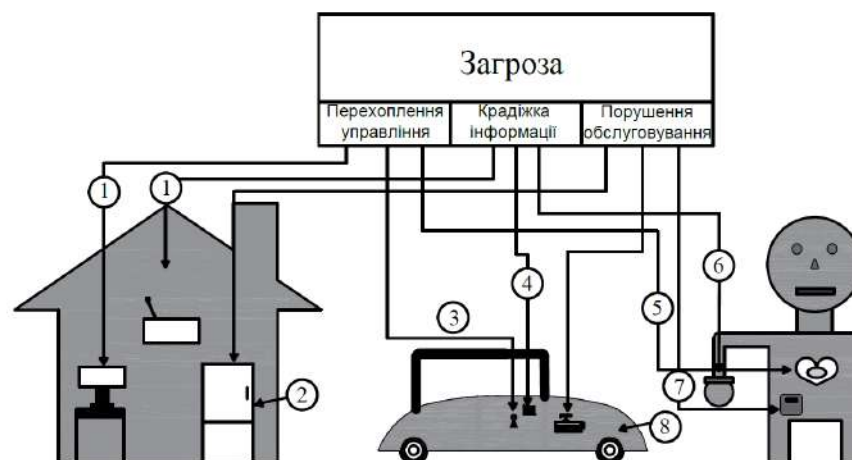


Рис. 3. Загрози від ШІ [12]: 1 – Загроза керування інтелектуальними замками та освітленням; 2 – Програмне забезпечення холодильника розсилає спам; 3 – Двері можуть відкриватися дистанційно; 4 – Інформаційно-розважальні системи мають доступ до електроніки автомобіля; 5 – Кардіостимулятори можуть керуватись дистанційно; 6 – Загроза інсуліновим насосом; 7 – Фітнес-девайси можуть сповістити про ваше знаходження; 8 – Зламани системи управління транспортним засобом відкривають доступ до гальм

Інколи катастрофи виникають внаслідок змоги зробити краще більш кращим. Так нещодавно, у березні 2019 року розбився Боїнг 737 із 157 пасажирами через недовершену модифікацію системи керування літаком.

Як висновок можна зазначити, що найкращі ідеї не можна втілювати там, де вони хоча б теоретично можуть привести до величезних людських втрат.

В Об'єднаних Арабських Еміратах вже створено Міністерство штучного інтелекту і Міністром назначений молодий емір.

Роботи замінюють багатьох працівників нині, навіть таких як поліцейські та диригенти симфонічних оркестрів. За останні роки зникли тисячі професій і цей перелік зникаючих професій росте. Зростає кількість безробітних, що призведе до напруженості в суспільстві. Це все вже багато разів відбувалося. Наприклад, застосування станків з ЧПУ привело до скорочення тисяч і тисяч станочників. Другий приклад застосування методу виготовлення 3D-моделей «Rapid Prototyping» викликало звільнення тисяч робочих та бунти в Індії і т.п. Продуктивність праці настільки зростає, що багато мільйонів робітників не будуть потрібними. Керівництво декількох розвинутих держав, наприклад, Австрії, вже зустрілося з такою проблемою і запропонувало

непрацюючим громадянам деяке грошове забезпечення, але сумлінні австрійці відмовились, а у французів – переміщені особи з північної Африки – вже третє покоління не працює і отримує грошову допомогу.

Щоб не відбувся похмурий сценарій, кожний революційний винахід повинен розглядатися з точки зору можливих негативних наслідків. Щоб не прийшлося винахідникам, чії творіння викликали черговий негативний вплив, казати: «Тепер ми усі суці діти». Цей вислів належить одному з винахідників атомної бомби і він це висловив, будучи свідком результатів атомного випробування на полігоні штату Невада (США).

Машинне навчання

Як вже було сказано раніше, ключовою особливістю машинного навчання є те, що програма формує і вдосконалює алгоритм своєї роботи шляхом вирішення великої кількості однотипних задач. Тобто, якщо алгоритм класичної комп'ютерної програми задається її розробником у вигляді вихідного коду, то програма, що заснована на машинному навчанні, сама знаходить найкращий засіб рішення шляхом аналізу наборів прикладів (рис. 4).



Рис. 4. Різниця між звичайними програмами і тими, що засновані на машинному навчанні [1]

Але для чого це потрібно і чому ми не можемо завжди використовувати класичний підхід до розробки програмного забезпечення, тобто установлювати алгоритм його роботи відразу у вихідному коді?

У сучасному світі машинне навчання покликане вирішувати наступні проблеми:

– робота з незліченно великими обсягами даних. Наприклад, з усіма словами певної

мови;

– вирішення задач, для яких не існує чіткого алгоритму, такими як імітація роботи людського мозку, який ще не вивчено до кінця.

Якщо намагатися вирішити такі проблеми за допомогою алгоритмів, що жорстко задані у вихідному коді програми, така програма буде занадто складною як для розробки, так і для виконання навіть дуже потужним комп'ютером. Саме в таких ситуаціях і необхідні методи машинного навчання.

Розглянемо приклад завдання, яке зручно вирішувати саме за допомогою машинного навчання. Припустимо, нам треба визначити, яке рекламне оголошення слід відобразити на сайті, щоб користувач з більшою вірогідністю натиснув на нього (рис. 5).



Яке оголошення вибере користувач?

Рис. 5. Задача вибору рекламного оголошення для користувача веб-сайту [1]

При розгляді цієї задачі користуються таким поняттям, як CTR. У загальному розумінні, CTR (англ. Click-Through Rate, «рейтинг кліків») – це коефіцієнт кліків (натиснень) на певне оголошення в Інтернеті, який вираховується за наступною формулою [1]:

$$CTR = \frac{\text{Кількість натиснень на оголошення}}{\text{Кількість переглядів оголошення}}$$

Для того, щоб вирахувати цей коефіцієнт для конкретного користувача та конкретного оголошення, доцільно скористатися саме машинним навчанням (рис. 6). Програма буде використовувати для навчання данні з веб-серверів (IP-адреси різних користувачів, демографічну інформацію про них, тощо) і на їх основі передбачатиме CTR.



Рис. 6. Задача вибору рекламного оголошення для користувача веб-сайту [1]

Розглянемо, як саме відбувається навчання алгоритму (рис. 7). Спочатку алгоритм отримує набір даних для навчання. Після цього можна використати інший набір даних щоб протестувати результати цього навчання. Після успішного навчання отримується так звана модель, за допомогою якої алгоритм може робити передбачення на основі нових даних (тобто тих, які не приймали участі в його навчанні та тестуванні).



Рис. 7. Процес навчання алгоритму [1]

Види машинного навчання

Існують два види машинного навчання: з учителем та без учителя. Для навчання з учителем характерні наступні ознаки:

- програмі надаються для навчання як вхідні дані, так і результати, що їм відповідають;
- задача програми – навчитися пов'язувати нові вхідні дані з передбачуваними результатами.

Наприклад, в якості даних для навчання надаються як характеристики певних будинків, так і ціни на них. У цьому випадку характеристики є вхідними даними, а ціни – відповідним результатом, вираховуванню якого на основі нових вхідних даних ми бажаємо навчити програму. Після засвоєння цих даних алгоритм повинен сам вміти визначати вартість будинку лише за його характеристиками.

На відмінну від навчання з учителем, навчання без учителя має наступні ознаки:

- надаються зразки лише вхідних даних;
- не надається точного визначення очікуваного результату;
- алгоритм намагається виявити внутрішню структуру даних, базуючись на попередніх відомостях про бажаний результат.

Прикладом навчання без учителя є завдання алгоритму знайти найкращий спосіб групування транзакцій клієнтів за схожістю цих клієнтів. Тобто у якості вхідних даних надаються самі транзакції (грошові перекази, тощо), а критерії для їх об'єднання у групи програма має знайти самостійно.

Класифікація завдань та алгоритмів

Не дивлячись на високу різноманітність завдань, які можна вирішувати за допомогою машинного навчання, їх можна згрупувати за певними спільними ознаками. Виділяють чотири групи задач, з якими прийнято працювати за допомогою машинного навчання: виявлення аномалій, регресія, класифікація та кластеризація. Розглянемо детальніше кожен з цих груп.

Група задач з виявлення аномалій має наступні основні ознаки:

- пошук даних, що не відповідають очікуваному шаблону;
- можливо реалізувати навчання як з учителем, так і без нього.

Прикладами є пошук шахрайських транзакцій (таких як відмивання грошей через банківські рахунки) або ненормальної поведінки клієнтів та виявлення деталей на виробництві, які найближчим часом можуть вийти з ладу.

Регресію можна відрізнити за наступними характеристиками:

- передбачення змін значення, пов'язаного з певним об'єктом (отримується не одне значення, а його зміни протягом певного часу);
- реалізується навчанням з учителем.

Прикладами регресії є передбачення цін на акції, оцінка заявки клієнта на отримання кредиту, базуючись на його кредитній історії, та передбачення попиту на певний продукт.

Для наступної групи задач, класифікації, характерні такі риси:

- розподілення об'єктів за категоріями;
- реалізація навчанням з учителем.

Класифікацією є наступні завдання машинного навчання: виявлення шахрайських грошових операцій, фільтрація електронних листів, що відносяться до спаму (небажаної реклами), категоризація статей за їх темами, розпізнавання об'єктів на зображеннях.

І, врешті, розглянемо ознаки кластеризації:

- групування схожих об'єктів у кластери (групи);
- реалізація навчанням без учителя.

До кластеризації можна віднести наступні приклади: пошук аудиторії для таргетованої реклами в соціальних мережах, перевірка даних, що згруповані за геолокацією (місцезнаходженням), пошук поширених тем у корпоративній базі знань. Тобто кластеризація

схожа на класифікацію, але оскільки вона реалізується навчанням без учителя, алгоритм машинного навчання сам визначає ознаки, за якими певні об'єкти треба об'єднувати в групи.

Виникає питання вибору алгоритмів для вирішення розглянутих груп задач. Для цього алгоритми розділяються на родини і встановлюються відповідності між цими родинами та групами задач машинного навчання (рис. 8).

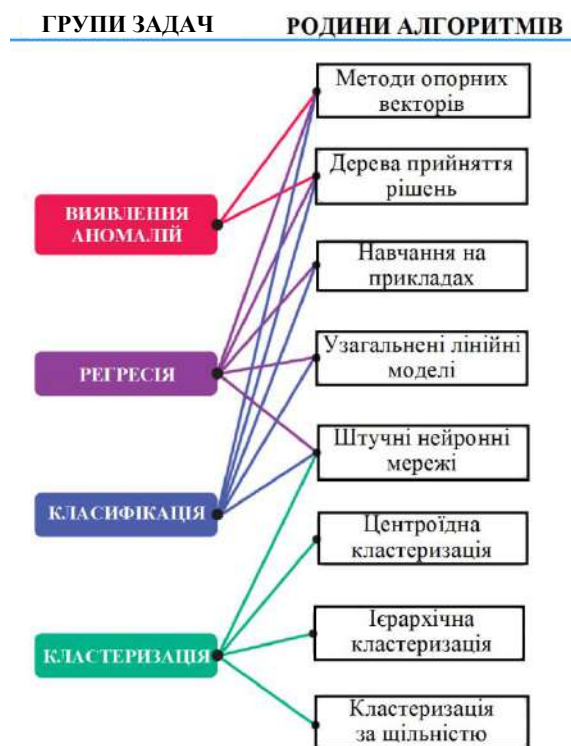


Рис. 8. Відповідності між групами задач, родинами алгоритмів та алгоритмами [1]

Слід розуміти, що на практиці не завжди будь який алгоритм з певної родини можна використати для вирішення відповідної проблеми, але приведена схема все ж дозволяє скласти загальне уявлення про них.

Як бачимо з рисунку, одну групу задач можна вирішити одразу кількома родинами алгоритмів. Наприклад, задачі, що відносяться до регресії, можна вирішити за допомогою наступних родин:

- методи опорних векторів;
- дерева прийняття рішень;
- навчання на прикладах;
- узагальнені лінійні моделі;
- штучні нейронні мережі.

Крім того, до кожної з таких родин входить багато різних алгоритмів. Так, до дерев

прийняття рішень відносяться наступні алгоритми:

- класифікаційне/регресивне дерево прийняття рішень;
- Random forest («випадковий ліс»);
- Isolation forest («ізоляційний ліс»).

Разом з факторами, специфічними для кожного випадку використання машинного навчання (наприклад, об'єми даних, з якими необхідно працювати в межах конкретної задачі), таке різноманіття алгоритмів робить їх правильний вибір окремим серйозним завданням для розробників програмного забезпечення. Далі розглянемо деякі критерії вибору конкретної родини та конкретного алгоритму з усіх доступних. На практиці зазвичай обирають декілька алгоритмів та проводять тестування з метою виявити, який з них найкраще підходить для задачі, яку треба вирішити.

Кожна родина оцінюється за наступними характеристиками:

- підтримка великих даних – масштабованість та можливість корегування новими даними;
- підтримка дрібних даних – вміння вчитися на невеликій кількості прикладів;
- підтримка незбалансованих даних – здатність відрізнити рідкісні події;
- інтерпретація результатів – доступність результатів для розуміння людиною;
- навчання у реальному часі – здатність постійно навчатися за новими даними;
- простота використання – кількість параметрів для ручного налаштування.

У свою чергу, для оцінки самих алгоритмів використовуються наступні критерії:

- точність – здатність вирішувати складні завдання;
- швидкість навчання – швидкість виконання навчальної програми;
- швидкість прогнозування – продуктивність виконання в режимі реального часу;
- стійкість до переповнення – здатність адаптуватися до великих об'ємів нових даних, що постійно надходять;
- інтерпретація у вигляді ймовірності – результати повертаються як ймовірності.

Таким чином, обираючи родину алгоритмів або окремих алгоритмів, слід визначитися з найбільш важливими критеріями та зупинитися на тому варіанті, в якому ці критерії присутні у найбільшому ступені.

Зазначимо, що не завжди вдається знайти алгоритм, який буде найкращим за всіма па-

раметрами. Наприклад, метод k -найближчих сусідів має високу точність передбачення, але низьку швидкість роботи (табл. 1). Тому розробникам програмного забезпечення слід

детально розглядати усі варіанти, перш ніж обрати якийсь алгоритм для вирішення певного завдання.

Таблиця 1 – Порівняння різних алгоритмів машинного навчання [1]

Назва алгоритму	Час навчання, с	Час передбачення, с	Час налаштування, с	Початкова точність	Підсумкова точність
Random Forest	2,61	0,47	94,44	81,61%	83,05%
Метод k -найближчих сусідів	0,41	44,29	84,27	80,57%	83,05%
Логістична регресія	0,12	0,05	45,94	82,93%	82,93%
Багатошаровий перцептрон	0,80	0,08	164,04	66,25%	82,90%
Метод опорних векторів	177,78	54,87	973,73	82,83%	82,83%
Лінійний метод опорних векторів	5,93	0,04	82,91	82,69%	82,69%
Дерево прийняття рішень	0,03	0,005	52,97	73,16%	82,36%
Наївний басів класифікатор	0,02	0,01	0	78,46%	78,46%

Області використання машинного навчання

Метою машинного навчання є часткова або повна автоматизація вирішення складних професійних завдань в найрізноманітніших областях людської діяльності.

Вже наводились варіанти використання

машинного навчання, але область його застосування дуже широка, тому розглянемо ще декілька прикладів, які супроводжуються описами вхідних даних, що надаються алгоритму, та результату, який даний алгоритм повертає (табл. 2).

Таблиця 2 – Використання машинного навчання [2]

Область використання	Вхідні дані	Результат
Рекомендація продукту	Профіль користувача та історія покупок, конкретний продукт, контекст (наприклад, час, місцезнаходження, тощо)	Вірогідність того, що клієнт придбає даний продукт
Управління ризиками	Фінансові та соціальні профілі клієнтів, історія їх транзакцій	Кредитний рейтинг або розмір кредитної лінії, який мінімізує ризик
Клінічна діагностика та рентгенографія	Рентгеновські знімки та інші медичні зображення	Місцезнаходження зламаніх або тріснутих кісток
Прогнозне обслуговування	Структуровані та неструктуровані моніторингові заміри (наприклад, дані з сенсорів, зображення або звукозаписи)	Вірогідність того, що дана частина чи деталь вийде з ладу в найближчому майбутньому

Крім того, ми постійно зустрічаємося з машинним навчанням і у реальному житті. Це, зокрема, персональні голосові асистенти, такі як Google Асистент, Siri від Apple, Amazon Alexa, Microsoft Cortana та інші, які працюють на комп'ютерах, смартфонах, телевізорах, розумних годинниках та колонках. Різноманітні пошукові системи в Інтернеті аналізують активність користувачів, аби запропонувати пошукові запити, які можуть бути їм цікаві. Популярності набуває функція автопілота автомобілів (поки

що лише часткового), яка теж заснована на машинному навчанні.

Сфера застосувань машинного навчання постійно розширюється. Повсюдна інформатизація призводить до накопичення величезних обсягів даних в науці, виробництві, бізнесі, транспорті, охороні здоров'я. Завдання прогнозування, управління та прийняття рішень, що виникають при цьому, часто зводяться до навчання на прецедентах. Раніше, коли таких даних не було, ці завдання або взагалі не ставилися, або вирішувалися зовсім іншими ме-

тодами.

Тому можна підвести підсумок, що хоча штучний інтелект все ще не може зрівнятися з людським за універсальністю, він вже досить успішно виконує різноманітні задачі з вузькою спеціалізацією.

Інструменти для роботи з машинним навчанням

На сьогодні машинне навчання та штучний інтелект вже не є прерогативою лише компаній із Кремнієвої долини. Існує багато безкоштовних та функціональних інструментів, що доступні розробникам програмного забезпечення з усього світу.

Одним із найпопулярніших таких інструментів є бібліотека машинного навчання TensorFlow, розроблена Google. На основі цієї бібліотеки Google створив хмарні сервіси, які дозволяють застосовувати машинне навчання у різних сферах (рис. 8).



Рис. 9. Хмарні сервіси машинного навчання Google [1]

До цих сервісів належать:

- Natural Language API – інструмент для розуміння комп'ютером природної людської мови;

- Speech API – засіб для конвертації аудіозаписів у текст;

- Translation API – сервіс для перекладу з однієї мови на іншу;

- Vision API – інструмент для розпізнавання певних об'єктів на графічних зображеннях;

- Video Intelligence API – засіб, що автоматично розпізнає зміст відеозаписів, наприклад, для пошуку їх за допомогою текстових запитів.

Приклади використання

Багато галузей вже успішно застосовують штучний інтелект в своїх щоденних бізнес-процесах, наприклад, такі, як виробництво і машинобудування. Технології AI дозволяють спростити експлуатацію

виробничих ліній і процес виробництва за допомогою функцій розпізнавання зображення і діалогового інтерфейсу. В автомобілебудуванні штучний інтелект активно залучається для того, щоб розвивати здібності до самонавчання у автономного робота-автомобіля. Також становить інтерес застосування ШІ для організації оптимального керування рухом вантажопідйомних засобів [14-16]. Є безліч інших прикладів, які свідчать про переваги використання штучного інтелекту і його здатності докорінно змінювати світ бізнесу, як це відбувається в сфері відносин з клієнтами.

Як повідомляють ЗМІ, у клініці «Шаріте» (Берлін) отриманий значний успіх у лікуванні раку. За допомогою останніх досягнень у сфері AI, Big Data, Machine Learning, коли вивчаються сотні тисяч маркерів онко хворих, які успішно вилікувались, порівнюються з онко-маркерами пацієнта та призначається аналогічне лікування.

Штучний інтелект дозволяє змінити операційну модель логістики з реактивної на прогнозовану, що працює на випередження, та забезпечує більш високі результати при оптимальних витратах на бек-офіс, операційні взаємодії і фронт-офіс. Наприклад, технології штучного інтелекту дозволяють використовувати вдосконалену систему розпізнавання для відстеження відправлень і стану активів, що призводить до повної автономності процесу доставки на всіх його етапах і передбачає коливання в обсягах глобальних відвантажень до того, як вони відбудуться. Очевидно, що штучний інтелект доповнює людські здібності, а також усуває рутинну роботу, що дозволяє змістити фокус співробітників, зайнятих в логістиці, на більш важливі, продуктивні завдання [17].

Висновки

Таким чином, машинне навчання – це використання алгоритмів аналізу даних, отримання висновків і винесення рішень або передбачень відносно будь-чого, тобто замість створення програм вручну за допомогою спеціального набору команд для виконання визначеної задачі машину навчають за допомогою великої кількості даних і алгоритмів, які дають можливість навчатися виконувати цю задачу. В першу чергу досягнення AI та машинного навчання слід втілювати в охорону здоров'я та галузь освіти.

Література

1. Stephen Russo. IBM WW Dir Cognitive City solutions and public safety «Adapting to the Changing Threat Landscape: Security vs Convenience». Матеріали конференції IT Weekend Ukraine 2017-10-09, Київ, Україна.
2. Haziyeve S., Milovanov I. «Machine Learning Design, Demystified». Матеріали конференції IT Weekend Ukraine 2018-09-08, Київ, Україна.
3. Григоров О. В., Аніщенко Г. О., Стрижак В. В. та ін. Інформаційно-керуючі системи та планування в логістиці матеріальних потоків. Навч. посібник за ред. Григорово О.В. Харків: ХНАДУ, 2018. 448 с.
4. Schaeffer J., Burch N., Björnsson Y., Kishimoto A., Müller M., Lake R., Lu P., Sutphen S. Checkers Is Solved. Scienceexpress. 317(5844):1518-1522, 2007, P. 1-6.
5. Levy D., Newborn M. Chess and Computers. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1982. 302 p.
6. Ryszard S. Michalski, Jaime G. Carbonell, Tom M. Mitchell (1983), Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, Tioga Publishing Company. 572 p.
7. Ahlstrand J., Rosander O. Email Classification with Machine Learning and Word Embeddings for Improved Customer Support. Degree project for master of science in engineering, Blekinge Institute of Technology, 2017. 52 p.
8. Eugene L., Caswell I. Making a Manageable Email Experience with Deep Learning. Stanford University. 2017. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Making-a-Manageable-Email-Experience-with-Deep-Eugene/fc20f10fb877a6ca96f8f14ab22c89777482ad5c#paper-header> (дата звернення 20.03.2019).
9. Гудфеллоу Я., Бенджіо І., Курвилль А. Глубокое обучение = Deep Learning. М. : ДМК Пресс, 2017. 652 с.
10. L. Deng, D. Yu. Deep Learning Methods and Applications. Foundations and Trends in Signal Processing Vol. 7, Nos. 3–4 (2013) 197–387, 2014. 387 p.
11. Билл Гейтс сравнил искусственный интеллект с ядерным оружием. Let Know, 2019 URL: <https://letknow.news/news/bill-geyts-sravnil-iskusstvennyy-intellekt-s-yadernym-oruzhiem-19925.html> (дата звернення 19.02.2019).
12. Какие беды принесет искусственный интеллект в 2019 году. Forum Daily, 2019. URL: <https://www.forumdaily.com/kakie-bedy-prineset-iskusstvennyj-intellekt-v-2019-godu/> (дата звернення 19.02.2019).
13. Искусственный интеллект (ИИ). Artificial intelligence (AI). Tadviser. 2019. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Искусственный_интеллект_\(ИИ,_Artificial_intelligence,_AI\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Искусственный_интеллект_(ИИ,_Artificial_intelligence,_AI)) (дата звернення 19.02.2019).
14. Grigorov O.V., Svirgun V.P. Improving the productivity of utility cranes through optimum motion control. Soviet machine science. 1986. 6, P. 25-29. (Scopus).
15. Grigorov O., Druzhynin E., Strizhak V., Strizhak M., Anishchenko G. Numerical simulation of the dynamics of the system "trolley - load - Carrying rope" In a cable crane. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(7-93), 2018, P. 6-12 (Scopus).
16. Okun A., Los Y. The controllability function method. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. 2016. – Vol. 78. Issue 3. P. 3-8 (Scopus).
17. Искусственный интеллект (ИИ). Artificial intelligence (AI). Tadviser. 2019. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Искусственный_интеллект_\(ИИ,_Artificial_intelligence,_AI\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Искусственный_интеллект_(ИИ,_Artificial_intelligence,_AI)) (дата звернення 19.02.2019).

References

1. Stephen Russo. IBM WW Dir Cognitive City solutions and public safety «Adapting to the Changing Threat Landscape: Security vs Convenience». Materialy konferentsii IT Weekend Ukraine 2017-10-09, Kyiv, Ukraina.
2. Serge Haziyeve, Iurii Milovanov. Materialy konferentsii IT Weekend Ukraine 2018-09-08, Kyiv, Ukraina.
3. Hryhorov O.V., Anishchenko H.O., Stryzhak V.V. ta in. Informatsiino-keruiuchi systemy ta planuvannia v lohistytsi materialnykh potokiv [Information management systems and logistics planning for material flows]. Navch. posibnyk za red. Hryhorova O.V. Kharkiv: KhNADU, 2018. 448 s [in Ukrainian].
4. Schaeffer J., Burch N., Björnsson Y., Kishimoto A., Müller M., Lake R., Lu P., Sutphen S. Checkers Is Solved. Scienceexpress. 317(5844):1518-1522, 2007, P. 1-6.
5. Levy D., Newborn M. Chess and Computers. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1982. 302 p.
6. Ryszard S. Michalski, Jaime G. Carbonell, Tom M. Mitchell (1983), Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, Tioga Publishing Company. 572 p.
7. Ahlstrand J., Rosander O. Email Classification with Machine Learning and Word Embeddings for Improved Customer Support. Degree project for master of science in engineering, Blekinge Institute of Technology, 2017. 52 p.
8. Eugene L., Caswell I. Making a Manageable Email Experience with Deep Learning. Stanford University. 2017. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Making-a-Manageable-Email-Experience-with-Deep-Eugene/fc20f10fb877a6ca96f8f14ab22c89777482ad5c#paper-header> (accessed: 20.03.2019)
9. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvill A. Glubokoe obuchenie = Deep Learning. [Deep Learning = Deep Learning] M. : DMK Press, 2017. 652 s [in

- Russian].
10. L. Deng, D. Yu. Deep Learning Methods and Applications. Foundations and Trends in Signal Processing Vol. 7, Nos. 3–4 (2013) 197–387, 2014. 387 p.
 11. Bill Geyts sravnil iskusstvennyiy intellekt s yadernym oruzhiem. [Bill Gates compared artificial intelligence with nuclear weapons] Let Know, 2019. Retrieved from: <https://letknow.news/news/bill-geyts-sravnil-iskusstvennyu-intellekt-s-yadernym-oruzhiem-19925.html> (accessed: 19.02.2019) [in Russian].
 12. Kakie bedyi prineset iskusstvennyiy intellekt v 2019 godu [What troubles will artificial intelligence bring in 2019]. Forum Daily, 2019. Retrieved from: <https://www.forumdaily.com/kakie-bedy-prineset-iskusstvennyj-intellekt-v-2019-godu/> (accessed: 19.02.2019) [in Russian].
 13. Ob iskusstvennom intellekte [About artificial intelligence]. Look at me, 2014. URL: <http://www.look-atme.ru/mag/live/14/210449-2014-quotes> (accessed: 19.02.2019) [in Russian].
 14. Grigorov O. V., Svirgun V. P. Improving the productivity of utility cranes through optimum motion control. Soviet machine science. 1986. 6, P. 25-29. (**Scopus**).
 15. Grigorov O., Druzhynin E., Strizhak V., Strizhak M., Anishchenko G. Numerical simulation of the dynamics of the system "trolley - load - Carrying rope" In a cable crane. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(7-93), 2018, P. 6-12 (**Scopus**).
 16. Okun A., Los Y. The controllability function method. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. 2016. – Vol. 78. Issue 3. P. 3-8 (**Scopus**).
 17. Iskusstvennyiy intellekt (II). Artificial intelligence (AI). Tadviser. 2019. Retrieved from: [http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Искусственный_интеллект_\(ИИ,_Artificial_intelligence,_AI\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Искусственный_интеллект_(ИИ,_Artificial_intelligence,_AI)) (accessed: 19.02.2019) [in Russian].

Григоров Отто Владимирович¹, д.т.н., проф. каф. підйомно-транспортних машин і обладнання, ottogrigorov@gmail.com, тел. +38-097-210-34-85,

Аніщенко Галина Отгівна¹, к.т.н., доц. каф. теоретичної механіки, gala_grigorova@ukr.net, тел. +38-050-605-08-19,

Стрижак Всеволод Вікторович¹, к.т.н., доц. каф. підйомно-транспортних машин і обладнання, stryzhak.vsevolod@gmail.com, тел. +38-063-470-90-09,

Петренко Надія Олександрівна¹, к.т.н., проф. каф. підйомно-транспортних машин і обладнання, nadezhdapetrenko53@gmail.com, тел. +38-096-229-06-15,

Турчин Ольга Володимирівна¹, к.т.н., ас. каф.

підйомно-транспортних машин і обладнання, feathven@gmail.com, тел. +38-097-598-80-07,

Окунь Антон Олександрович¹, к.т.н., ст. викл. каф. підйомно-транспортних машин і обладнання, okunanton@gmail.com, тел. +38-067-578-63-17,

Пономарьов Олег Ернестович¹, магістрант каф. підйомно-транспортних машин і обладнання, ponomaryov.oleg@gmail.com, тел. +38-099-067-10-73

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, Україна, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Искусственный интеллект. Машинное обучение Аннотация. В статье отображены история и последние достижения в области машинного обучения и искусственного интеллекта. Эти разделы представляют собой необходимые условия для Индустрии 4.0. Без этих компонентов невозможно развитие экономики будущего. Рассмотрены и оценены преимущества и недостатки машинного обучения, включая глубинное обучение, поскольку именно эти методы искусственного интеллекта наиболее активно развиваются и более полно его характеризуют. Приведена классификация заданий и алгоритмов, инструменты для работы с машинным обучением и особенности использования. Раскрыты примеры использования в бизнес-процессах, таких как производство и машиностроение.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственный интеллект, Индустрия 4.0, глубинное обучение, логистика

Григоров Отто Владимирович¹, д.т.н., проф. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, ottogrigorov@gmail.com, тел. +38-097-210-34-85,

Анищенко Галина Отговна¹, к.т.н., доц. каф. Теоретической механики, gala_grigorova@ukr.net, тел. +38-050-605-08-19,

Стрижак Всеволод Викторович¹, к.т.н., доц. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, stryzhak.vsevolod@gmail.com, тел. +38-063-470-90-09,

Петренко Надежда Александровна¹, к.т.н., проф. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, nadezhdapetrenko53@gmail.com, тел. +38-096-229-06-15,

Турчин Ольга Владимировна¹, к.т.н., асс. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, feathven@gmail.com, тел. +38-097-598-80-07,

Окунь Антон Александрович¹, к.т.н., ст. преп. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, okunanton@gmail.com, тел. +38-067-578-63-17,

Пономарев Олег Эрнестович¹, магістрант каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, ponomaryov.oleg@gmail.com, тел. +38-099-067-10-73

¹Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 61002, Украина, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2.

Artificial intelligence. Machine learning

Abstract. Problem. In this paper the problems and risks of introducing the provisions of artificial intelligence (AI) into the civilization of humanity are considered. Also the stages of the development of artificial intelligence from the game of checkers and chess through machine learning to deep learning (from 1950 to the present) are considered. **Goal.** The aim of the work is to review and evaluate the features of machine learning, including deep learning, since these methods of artificial intelligence most actively develop and most fully characterize it. **Methodology.** Methods of machine learning with and without a teacher, problems of machine learning and a family of algorithms for solving them are considered. **Results.** It is shown that the current state of development of artificial intelligence in terms of the number of equivalent to neurons, which is used in this case, corresponds to the level of a mouse. Mankind has several decades left to prepare for the ubiquitous spread of robots with artificial intelligence. The difference between a regular program and machine learning is shown. The analysis of the features of machine learning under various schemes has been carried out. Examples of the learning process of the algorithm, types of machine learning, classification of tasks and algorithms are given. The distinction between the problems and the family of algorithms is shown. Comparison of different machine learning algorithms is presented. The scope of machine learning is defined. Examples of the use of Google's cloud machine learning services are given. It is concluded that instead of creating a program manually using a special set of commands, the algorithm is prepared using a large amount of data. The examples of the use of artificial intelligence in business processes, such as manufacturing and, in particular, engineering, are provided. **Originality.** The dangers of introducing artificial intelligence are formulated.

The areas of applicability of artificial intelligence and machine learning, health and education, preferred for relative safety reasons, are proposed. **Practical value.** The attention of specialists is drawn to the features of artificial intelligence, which may be important in various areas of human life and activity.

Key words: machine learning, artificial intelligence, Industry 4.0, deep learning, logistics

Hryhorov Otto Volodymyrovych¹, Doct. of Science, professor, «Lifting and Transporting Machines and Equipment» Department, ottogrigorov@gmail.com, tel. +38-097-210-34-85,

Anishchenko Halyna Ottivna¹, Ph.D., Assoc. Prof., «Engineering mechanics» Department, gala_grigorova@ukr.net, tel. +38-050-605-08-19,

Stryzhak Vsevolod Viktorovych¹, Ph.D., Assoc. Prof., «Lifting and Transporting Machines and Equipment» Department, stryzhak.vsevolod@gmail.com, tel. +38-063-470-90-09,

Petrenko Nadiia Oleksandrivna¹, Ph.D., professor, «Lifting and Transporting Machines and Equipment» Department, nadezhdapetrenko53@gmail.com, tel. +38-096-229-06-15,

Turchyn Olha Volodymyrivna¹, Ph.D., assistant, «Lifting and Transporting Machines and Equipment» Department, feathven@gmail.com, tel. +38-097-598-80-07,

Okun Anton Oleksandrovych¹, Ph.D., senior lecturer, «Lifting and Transporting Machines and Equipment» Department, okunanton@gmail.com, tel. +38-067-578-63-17,

Ponomarov Oleh Ernestovych¹, undergraduate student, «Lifting and Transporting Machines and Equipment» Department, ponomaryov.oleg@gmail.com, tel. +38-099-067-10-73

¹National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (РОБОМОБИЛЕЙ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

Кобрина Н. В.¹,

¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

***Аннотация.** Рассматриваются достоинства и недостатки использования беспилотных транспортных средств для работ в экстремальных условиях и которые могут быть использованы для обучения студентов соответствующего профиля. В качестве управляющего блока для робомобиля рассматривается контроллер Arduino. В результате анализа в качестве объекта моделирования принят робот на базе четырехколесного полноприводного шасси, управляемый платой Arduino. Рассмотрены схемы управления двигателями, блоков питания и модуля датчика аварийной остановки робота, а также приведены скетчи для проверки их работоспособности и правильности подключения.*

***Ключевые слова:** моделирование, беспилотное транспортное средство, экстремальные условия, контроллер Arduino, четырехколесное полноприводное шасси, управление двигателями, датчик аварийной остановки робота.*

Введение

Роботом (чеш. *robot*, от *robota* – «подневольный труд») – называется автоматическое устройство, предназначенное для осуществления различного рода механических операций, которое действует по заранее заложенной программе [1].

Роботы могут выполнять некоторые действия, оставаясь на месте, но могут и передвигаться (мобильные роботы). По назначению роботы бывают: сельскохозяйственные; косилки-роботы; бытовые; роботы-пылесосы; боевые; андроиды (гиноиды); персональные; социальные; БПЛА; беспилотные автомобили; планетоходы; нанороботы; роботизированные установки пожаротушения. Способы передвижения используются различные: ходьба, движение на колесах, движение на гусеницах, движение по воде, движение по воздуху. Дальнейшие исследования будут посвящены разработке и моделированию беспилотных транспортных средств (БТС) – робомобилей. Рассмотрим преимущества и недостатки беспилотных автомобилей.

К преимуществам робомобилей перед автомобилями, управляемыми человеком [1], можно отнести: снижение стоимости транспортировки грузов и людей за счёт экономии на заработной плате и времени отдыха водителей, а также экономии топлива. При этом повышается экологическая безопасность транспортного средства. К достоинствам

можно так же отнести повышение эффективности использования дорог; снижение потребности в индивидуальных автомобилях при развитии систем типа каршеринга; появляется возможность самостоятельно перемещаться на роботизированном автомобиле для людей без водительских прав. Транспортировку грузов в опасных зонах или во время природных и техногенных катастроф, а также во время военных действий можно отнести к достоинствам использования робомобилей по сравнению к транспортным средствам, управляемыми человеком. При этом может быть снижена глобальная экологическая нагрузка за счёт численной оптимизации парка автомобилей. Одним из достоинств использования робомобилей может быть существенное уменьшение количества ДТП. По данным Европейской комиссии свыше 85 % ДТП происходит из-за человеческого фактора [2, 3]. При использовании роботизированных транспортных средств человеческий фактор (водитель) полностью исключается.

БТС не лишены недостатков, как и любые роботизированные системы. К ним можно отнести моральную и юридически не отработанные финансовую и уголовную ответственности за аварии, решения, принимаемые автомобилем перед потенциально фатальным столкновением, проблемы защиты данных и проблемы потери рабочих мест (водителей транспортных средств) [2, 3, 4].

Существует классификация автоматиза-

ции автомобилей, разработанная Сообществом автомобильных инженеров (SAE), которая содержит 6 уровней [5]:

0-й уровень: отсутствие контроля над машиной, но может присутствовать система уведомлений;

1-й уровень: водитель должен быть готов в любой момент взять управление на себя. Могут присутствовать следующие автоматизированные системы: круиз-контроль (ACC, Adaptive Cruise Control), автоматическая парковочная система и система предупреждения о сходе с полосы (LKA, Lane Keeping Assistance) 2-го типа;

2-й уровень: водитель должен реагировать, если система не смогла справиться самостоятельно. Система управляет ускорением, торможением и рулением. Система может быть отключена;

3-й уровень: водитель может не контролировать машину на дорогах с «предсказуемым» движением (например, автобаны), но быть готовым взять управление;

4-й уровень: аналогичная 3-му уровню, но уже не требует внимания водителя;

5-й уровень: со стороны человека не требуется никаких действий кроме старта системы и указания пункта назначения. Автоматизированная система может доехать до любой точки назначения, если это не запрещено законом.

Если рассматривать создание БТС в историческом плане, то проекты Navlab (Университет Карнеги-Меллон) и ALM, (1984 год) и проект Мерседес-Бенц и Eureka Prometheus Project от Военного университета Мюнхена (Bundeswehr University Munich) (1987 год) были первыми проектами по разработке беспилотных автомобилей [1].

Толчком к развитию направления стала серия технологических конкурсов DARPA Grand Challenge - соревнования автомобилей-роботов, финансируемые правительством США, целью которых было создание полностью автономных транспортных средств. Впервые состязания прошли в 2004 году.

В настоящее время множество компаний занимается разработкой своих БТС для массового рынка, включая Nissan, Volkswagen, General Motors, BMW, Volvo, Audi, Google, Cognitive Technologies и др. [1].

К таким разработкам можно отнести автономные автомобиль из Брауншвейга, автомобили Google, VisLab, получивший имя

Leonie, автомобили-роботы MIG (*Made in Germany*), АКТИВ, а также проекты ПАО «КАМАЗ» и Cognitive Technologies по созданию беспилотного автомобиля к 2025 году.

Первый пробный экземпляр беспилотного автомобиля ЗАЗ Ланос в Украине собрали в марте 2018 года в Запорожье. Была использована система навигации Pilotdrive. При этом была применена аппаратная часть зарубежного производства, а программная – собственного.

Беспилотные транспортные средства с успехом используются для проведения работ в экстремальных условиях. Это могут быть работы на химически, биологически или радиационно зараженных территориях, работы в зонах предельно низких (Арктика, Антарктида) или высоких температур (зоны пожаров промышленных предприятий, нефтяных и газовых скважин), работы и исследования на планетах (Марс) или спутниках планет (Луна).

Подготовка специалистов по проектированию таких БТС требует больших материальных затрат и длительного времени.

Для более простого обучения проектированию беспилотных транспортных средств (БТС), можно применять технологию сквозного проектирования, которая лишена лишних переходов от постановки задачи к модели и её реализации на разных платформах. Можно использовать в качестве учебной среды сквозного проектирования MatLAB Simulink, и поддерживаемые им на уровне компиляции программ для ядра микроконтроллеров [6].

Аппаратно-программный роботизированный комплекс БТС, представленный на рис. 1, состоит из программной и аппаратной частей:

- программная часть реализована в среде MatLAB Simulink и на её основе построена модель беспилотного транспортного средства (БТС), алгоритм технического зрения (ТЗ), конфигурация ядра микроконтроллера (МК), модели модуля управления двигателями (УД) и датчика аварийной остановки (ДАО). Конфигурационное ядро выполняется на самом МК, а модели БТС, УД, ДАО и алгоритм ТЗ терминально работают на персональном компьютере (ПК) в среде MatLAB;

- аппаратная часть состоит из двух частей: ПК со средой MatLAB и платы Arduino UNO R3. Соединяющим интерфейсом ПК с МК является программный туннель RS-232 через аппаратный интерфейс USB (Host-

Client).

По интерфейсу связи (ИС) передаются команды конфигурации ядра МК, команды управления периферией БТС, а также в ПК из МК отправляется информация о состоянии датчиков.

Этапы проектирования конкретной задачи на основе комплекса БТС:

- проектирование и сборка модели робота из сервоприводов и элементов жесткости;
- подключение модели БТС к платформе Arduino с блоком управления двигателями (с

соответствующим скетчем);

- конфигурирование и «прошивка» ядра МК в среде MatLAB Simulink;
- сборка кинематической модели и системы управления (СУ) робота в среде MatLAB Simulink;
- выбор или построение алгоритма ТЗ и ДАО;
- настройка и наладка алгоритма ТЗ и ДАО и кинематической модели для конкретной рабочей среды.

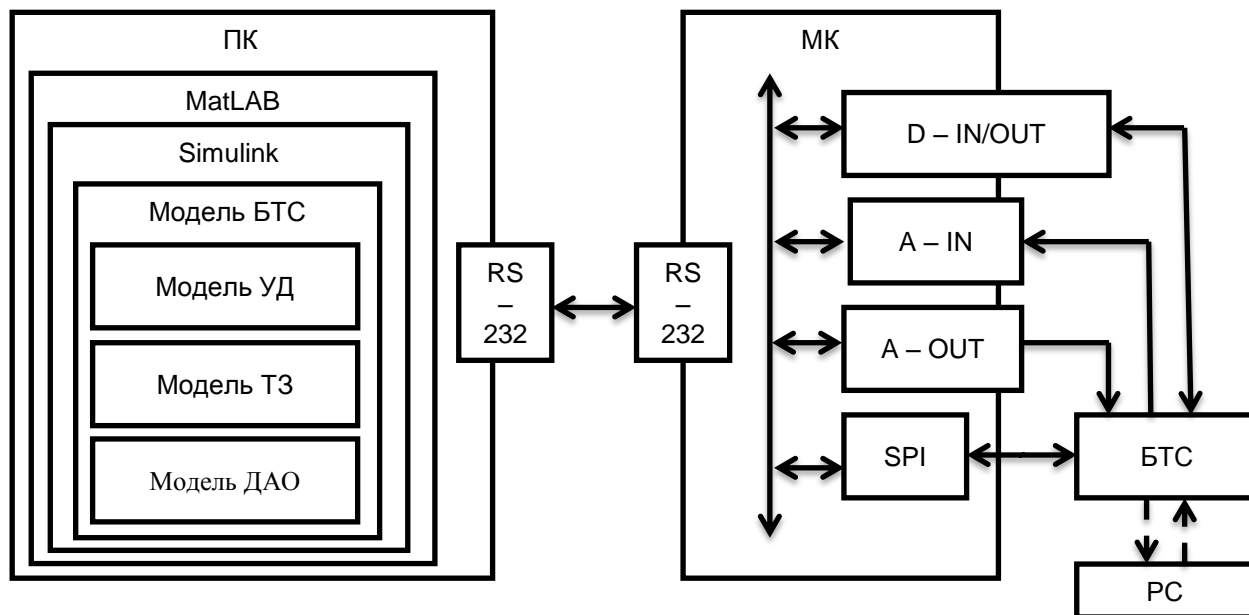


Рис. 1. Аппаратно-программная реализация учебного комплекса беспилотного транспортного средства

Изложенные выше этапы описывают общие правила построения модели беспилотного транспортного средства с функцией ТЗ и ДАО на основе роботизированного аппаратно-программного комплекса беспилотного транспортного средства.

Подход проектирования от идеи до реализации на одной платформе дает возможность обучения студентов сквозному проектированию беспилотного транспортного средства и упрощает его реализацию как технически, так и инструментально.

Необходимо отметить, что наибольшей популярностью пользуются колесные роботы, передвигающиеся на трех или четырех колесах (рис. 2 – 4), а также тележки на гусеничном ходу (рис. 5).

Часто используется четырехколесное полноприводное шасси. На таком шасси довольно много места для размещения всех необходимых элементов (рис. 4).

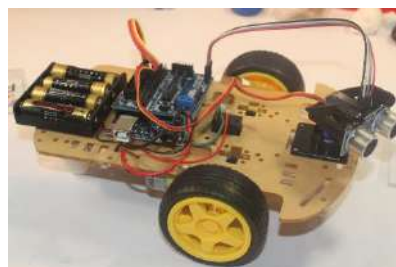


Рис. 2. Двухколесное шасси с третьим опорным колесом



Рис. 3. Четырехколесное шасси с управляемыми передними колесами

Основой любого из таких роботов является шасси с электродвигателями, трансмиссией и источником электропитания. Робот, управляемый платой Arduino [7–11], также должен иметь место для размещения платы и различных дополнительных компонентов.



Рис. 4. Четырехколесное полноприводное шасси



Рис. 5. Тележка на гусеничном ходу

Так как конструирование таких роботов, в основном, преследует экспериментальные цели, то особого внимания их внешнему виду и сходству с прототипом не предъявляется. В то же время, иногда создаются конструкции, имеющие большее или меньшее сходство с прототипом.

Очень удобным объектом для проведения экспериментов является четырехколесное полноприводное шасси (рис. 4), о котором пойдет речь ниже.

Моделируемые роботы управляются платой Arduino, которую можно использовать для построения простых систем робототех-

ники и автоматики и ориентированную на непрофессиональных пользователей. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратная часть состоит из набора смонтированных печатных плат.

Arduino может использоваться для создания автономных объектов автоматики и подключаться к программному обеспечению на компьютере через стандартные проводные и беспроводные интерфейсы. Открытая архитектура системы позволяет свободно дополнять или копировать линейку продукции Arduino.

Механика робомобиля

В продаже можно встретить отдельные детали для сборки шасси: колеса, редукторы, двигатели, платформы и другие детали, включая необходимый крепеж. Однако гораздо проще и удобнее приобрести набор, содержащий все необходимое для самостоятельной сборки. Существуют самые разнообразные наборы деталей, позволяющие собрать различные варианты шасси, например, для сборки четырехколесного шасси с управляемыми передними колесами.

Особенно большой популярностью пользуется набор, позволяющий собрать четырехколесное полноприводное шасси (рис. 6).

Прежде всего, нужно соединить проводники с выводами двигателей. В комплект входит набор проводников, однако они жестковаты и по возможности их следует заменить на более эластичные.



Рис. 6. Стандартный набор деталей для самостоятельной сборки полноприводного шасси

При припайке проводов нужно соблюдать полярность – при подключении красного провод к <+>, а черного к <->, все двигатели должны вращаться в одну и ту же сторону (безразлично в какую). Естественно, что выбрать нужную полярность можно и на сле-

дующих этапах работы, но это вызовет дополнительные хлопоты.

Приводные электродвигатели создают значительные помехи, что может вызвать осложнения в работе электронной части аппаратуры. Для уменьшения уровня этих помех очень желательно на выводы каждого электродвигателя припаять керамический конденсатор емкостью 10-20 нФ.

Шасси будет двигаться по прямой в том случае, если скорости вращения всех колес одинакова. На практике такой случай маловероятен. В силу многих причин скорость вращения колес несколько отличается друг от друга. Это заставляет шасси при движении отклоняться на большую или меньшую величину, в ту или иную сторону. Обычно эти отклонения не очень велики и с ними можно мириться (или вносить необходимые поправки), управляя движением.

Для обеспечения движения по прямой необходимо синхронизировать скорости вращения колес с тем, чтобы они были одинаковыми. Для этого измеряется скорость движения каждого колеса и при необходимости изменяется напряжение питания соответствующего двигателя для обеспечения требуемой скорости.

Для измерения скорости вращения колеса используются таходатчики. На ось каждого колеса одевается непрозрачный диск с прорезями, который входит в комплект поставки. Дополнительно необходимо использовать модули датчиков скорости.

Система получается довольно сложной и на практике используется довольно редко. В то же время, полезно установить таходатчик на одно из колес. Это позволит определять длину пройденного пути, что может оказаться нужным для автоматического управления движением шасси.

Установка базовых элементов

После сборки шасси устанавливают базовые элементы – устройства, которые необходимы, чтобы шасси могло автономно двигаться.

К таким элементам следует отнести: плата Arduino; модуль управления двигателями; источники питания; модуль датчика для аварийной остановки; макетная плата.

Помимо указанных, на плату в дальнейшем могут устанавливаться дополнительные элементы, которые могут понадобиться для реализации конкретного устройства.

Иногда в наборы для сборки шасси включают некоторые из таких элементов. Содержание таких наборов могут заметно отличаться. В них могут быть ненужные элементы, но могут и отсутствовать нужные. Поэтому более правильно приобретать отдельно те элементы, которые нужны для создаваемой конструкции.

Плата Arduino. Обычно используется плата Arduino UNO R3, рис. 7. Однако можно использовать и более компактную плату Arduino Nano. В этом случае желательно совместно с ней использовать шилд Arduino Nano Shield V3.0, что позволит существенно упростить подключения.



Рис. 7. Плата Arduino UNO R3

Модуль управления двигателями. Модуль драйвера двигателей L298N позволяет управлять двумя моторами постоянного тока, либо шаговым двигателем с потребляемым током до 2 А. Его использование для управления ходовыми двигателями полноприводного шасси очень удобно. При этом двигатели правой и левой сторон соединяются параллельно (рис. 8).

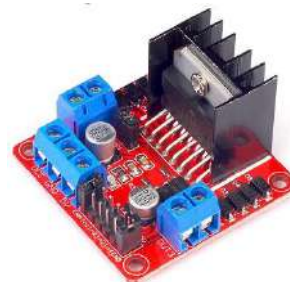


Рис.8. Модуль L298N

Для управления двигателями используется схема, получившая название Н-моста (за схожесть начертания с буквой Н) (рис. 9).

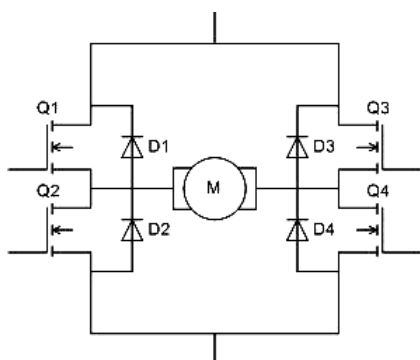


Рис. 9. Схема H-моста

В модуле используются два таких моста для раздельного управления двигателями правой и левой сторон. В табл. 1 показано состояние электродвигателя при различных состояниях коммутирующих ключей (1 – ключ замкнут, 0 – ключ разомкнут).

Для регулирования скорости вращения двигателей используется ШИМ. В цепь питания двигателей включается ключ, который управляется импульсами, получаемыми от Arduino.

Таблица 1 – Управление электродвигателем

Q1	Q2	Q3	Q4		
1	0	0	1	Вращение по часовой стрелке	1
0	1	1	0	Вращение против часовой стрелки	2
0	0	0	0	Свободное вращение	3
0	1	0	1	Торможение	4
1	0	1	0	Торможение	5
1	1	0	0	Короткое замыкание питания	6
0	0	1	1	Короткое замыкание питания	7

Модуль целесообразно установить в середине нижней платформы, просверлив в ней для его крепления соответствующие отверстия. Схема подключений модуля приведена на рис. 10.

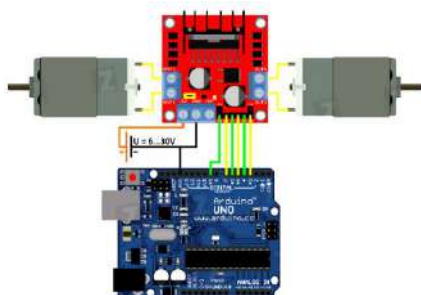


Рис. 10. Подключение модуля к Arduino

Выводы электродвигателей с каждой стороны соединяются параллельно и

подключаются к клеммам OUT1 – OUT4. Направление вращения двигателей зависит от полярности подключения к этим клеммам, и при необходимости его можно будет изменить при пробных включениях.

Плюс напряжена питания подается на клемму VCC, а минус – на клемму GND. Питаться модуль будет от аккумуляторов и максимальное напряжение будет несколько больше восьми вольт. На плате модуля установлен стабилизатор напряжения, обеспечивающий питанием электронную часть модуля напряжением 5 В. Это напряжение также выведено на клемму 5V и может использоваться для питания некоторых элементов системы. Для подключения к Arduino предназначены выводы In1 – In4, для выбора направления вращения двигателей а также ENA и ENB для регулировки скорости их вращения.

Регулировка скорости вращения осуществляется за счет ШИМ. Для регулировки скорости следует удалить джамперы с контактов ENA и ENB и нижние контакты подключить к выводам Arduino, поддерживающим ШИМ.

Когда два двигателя соединены с колесами на одной линии, напротив друг друга (точно так же, как пара колес, соединенных с одним валом), скорость вращения каждого двигателя определяет направление движения. Когда оба колеса вращаются с одинаковой скоростью, разница между двигателями равна нулю. Это заставляет робота двигаться вперед по прямой. Робот может двигаться в обратном направлении, если направление вращения обоих двигателей изменено. Теперь изменение скорости любого одного двигателя приведет к перемещению в направлении от прямой линии. Например, уменьшение скорости правого двигателя приведет к разнице скоростей и, следовательно, изменению направления. Результирующая сила такова, что робот поворачивается вправо. Это изменение направления можно регулировать до требуемого угла за счет дальнейшего уменьшения скорости двигателя.

Полная проверка всей ходовой части может быть проведена при помощи скетча.

Источник питания

Использование правильно подобранного и качественного источника питания является залогом работоспособности всего устройства. В большинстве случаев нестабильная работа является следствием недостатков в

источнике питания.

Прежде всего, следует определить, какие напряжения и токи нужны для обеспечения питания устройства (табл 2).

Таким образом, необходимы две группы источников питания. Первая - для питания ходовых электродвигателей, вторая – для питания Arduino и подключаемых к нему модулей. Для контроля за разрядом аккумулятора используется простая схема.

Нужно отметить, что использование одно-разовых батареек не целесообразно: они требуют частой замены, достаточно дороги, обладают невысокими электрическими характеристиками. Применение аккумуляторов является единственно правильным решением по обеспечению питанием устройства.

Таблица 2 – Необходимое напряжения и ток для питания устройства

Потребитель	Напряжение	Ток
Arduino	5В	
Модуль Bluetooth	5В	
Сервопривод	5В	
Дальномер	5В	2/15
Двигатели (4 шт.)	8,2-6В	
Модуль управления	8,2-6В	
Датчик скорости	5В	
Датчик объезда препятствий	5В	
Датчик линии (2 шт.)	5В	

В качестве источника питания для первой группы следует использовать литиевые аккумуляторы. Особенно удобны аккумуляторы серии 18650. Два таких аккумулятора емкостью 2200 мАч полностью обеспечат необходимые потребности.

Технические характеристики:

- максимальное напряжение (полностью заряжен) $4,2В \pm 0,03 В$;
- минимальное напряжение (полностью разряжен) $2,75 В$;
- стандартный ток заряда $0,2С * А$ (при $t_0 \sim +45^\circ C$);
- стандартный ток разряда $0,2С * А$ (при $t_{10} \sim +60^\circ C$).

* С - номинальная емкость аккумулятора (mAh).

Т.е. для 2200 мАч:

- стандартный ток заряда и разряда – $0,44 А$;
- максимально допустимый ток заряда – $2,2 А$;
- максимально допустимый ток разряда – $4,4 А$.

Для увеличения срока службы аккумуля-

тора рекомендуется поддерживать заряд на уровне от 20% до 80% емкости

Целесообразно предусмотреть возможность заряжать аккумуляторы непосредственно на шасси, не извлекая их из аккумуляторного отсека. Для этого нужно установить на шасси соответствующее зарядное устройство.

Зарядка последовательно включенных аккумуляторов требует усложнения зарядного устройства, так как в силу неизбежных различий параметров каждого аккумулятора невозможно обеспечить им одинаковые условия. Поэтому приходится вводить балансировочные элементы. Кроме того, потребуется специальный источник напряжения для зарядки с напряжением 9 - 10 В.

При параллельном подключении аккумуляторов к такому модулю (рис. 11) усложняется коммутация аккумуляторов из режима зарядки в рабочий режим. Кроме того, уменьшается зарядный ток, увеличивается продолжительность зарядки, условия зарядки каждого аккумулятора зависят от его индивидуальных свойств.

Гораздо удобнее и надежнее заряжать каждый аккумулятор индивидуально (рис. 11), что позволит создавать стандартные условия зарядки для каждого из них, существенно упрощает коммутацию режима зарядки и рабочего режима.

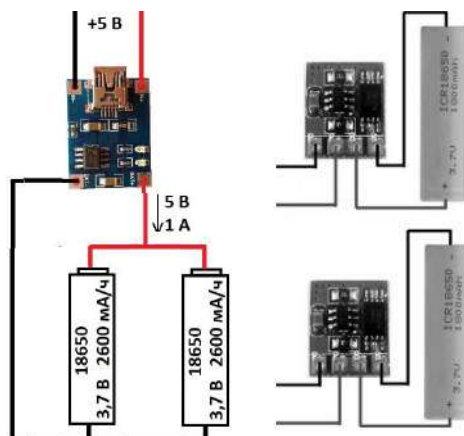


Рис. 11. Зарядка аккумулятора: слева – параллельное соединение, справа - индивидуально

Для работы такой схемы нужно использовать два источника зарядного напряжения. Попытка использовать один источник (рис. 11) приведет к короткому замыканию одного из аккумуляторов (из-за схемных особенностей модуля зарядки).

Во время зарядки стандартным током аккумулятора не должен нагреваться.

Литиевые аккумуляторы нуждаются не только в обеспечении правильного режима зарядки, но они также очень чувствительны к неправильной эксплуатации в режиме разрядки.

При разрядке важно не допускать продолжение использования аккумулятора при падении на нем напряжения ниже трех вольт, а также нельзя допускать превышения установленного для используемого типа аккумуляторов разрядного тока. Особенно чувствительны литиевые аккумуляторы к коротким замыканиям.

Напряжение от аккумуляторов через делитель напряжения подается на аналоговый вход A0. Максимальное напряжение на этом входе не должно превышать 5В, поэтому используется делитель напряжения, уменьшающий подводимое напряжение в два раза. Для этого используются резисторы R1 и R2 по 10 кОм каждый. Кроме того, нелишним будет добавить конденсатор емкостью 100 нФ между контактами A0 и GND, чтобы избавиться от шумов и уменьшить нестабильность измерений.

Для визуального контроля используется двухцветный светодиод. При включении питания он светится зеленым цветом. При уменьшении напряжения аккумуляторов до 6-ти вольт подается напряжение на светодиод, и он светится красным цветом, что свидетельствует о недопустимости дальнейшей разрядки аккумулятора и требует постановки аккумуляторов на зарядку.

Для предотвращения негативных последствий при коротком замыкании и чрезмерном превышении разрядного тока, установлен плавкий предохранитель.

Работа устройства обеспечивается следующим скетчем.

```
int analogInput = A0;
float vin = 0;
int led = 2;
void setup () {
  Serial.begin (9600);
  pinMode (led,OUTPUT);
  digitalWrite (led, LOW);
}
void loop () {
  vin = float (analogRead(analogInput))/2*0,0048;
  if (vin <= 6)
  {digitalWrite (led, HIGH);}
  //Serial.print ("Volt = ");
  Serial.println (vin);
}
```

```
delay (2000);
digitalWrite (led, LOW);
}
```

Все элементы смонтированы на небольшой печатной плате (рис. 12).

Для питания Arduino можно использовать блок из четырех аккумуляторов формата АА, но целесообразнее использовать литиевый аккумулятор. Напряжение такого аккумулятора недостаточно для питания Arduino. Поэтому приходится использовать повышающий преобразователь. Общий вид такого устройства приведена на рис. 13.



Рис. 12. Плата питания: 1 – плюс аккумулятора 1; 2 – плюс аккумулятора 1; 3 – предохранитель; 4 – модуль для зарядки аккумулятора 1; 5 – модуль для зарядки аккумулятора 2; 6 – резистор; 7 – плюс аккумулятора 2; 8 – минус аккумулятора 1; 9 – минус аккумулятора 2; 10 – двухцветный светодиод; 11 – резистор; 12 – резистор; 13 – общий выключатель питания; 14 – резистор 10 к; 15 – выключатель питания двигателей; 16 – к выводу A1 Arduino.



Рис. 13. Повышающий преобразователь

Модуль датчика аварийной остановки

Ходовые испытания проводятся в помещении, в котором свободное пространство обычно ограничено. Это может приводить к тому, что при неточном управлении шасси может сталкиваться с различными предмета-

ми. Удар, сопровождающий столкновение, может привести к неприятным последствиям. Поэтому целесообразно снабдить шасси датчиком, который бы выдавал сигнал на аварийную остановку в случае подъезда к препятствию на небольшое расстояние.

В качестве такого датчика удобно использовать YL-63, рис. 14. При приближении к препятствию датчик срабатывает и на выходе выдается сигнал низкого уровня. Это расстояние может изменяться от 2-х до 30-ти сантиметров и устанавливается с помощью потенциометра, расположенного на плате модуля.



Рис. 14. Ифракрасный датчик аварийной остановки

Электрические соединения

После того, как необходимые соединения произведены, шасси опутывается множеством проводов, что неудобно в эксплуатации, да и выглядит весьма неряшливо. Поэтому нужно провода аккуратно уложить и при необходимости укрепить скобками, которые легко изготовить из подходящего подручного материала (рис. 15, 16).



Рис. 15. Электрические соединения (вид сверху)



Рис. 16. Электрические соединения (вид снизу)

Выводы

Беспилотные транспортные средства с успехом могут быть использованы для проведения работ в экстремальных условиях. Это могут быть работы на химически, биологически или радиационно зараженных территориях, работы в зонах предельно низких (Арктика, Антарктида) или высоких (зоны пожаров промышленных предприятий, нефтяных и газовых скважин) температур, работы и исследования на планетах (Марс) или спутниках планет (Луна).

1. Подготовка специалистов по проектированию беспилотных транспортных средств для работы в экстремальных условиях требует больших материальных затрат и длительного времени.

2. Для моделирования и исследований схем беспилотных транспортных средств для обучения студентов навыкам проектирования рекомендуется транспортное средство на базе четырехколесного полноприводного шасси, управляемое платой Arduino.

3. Приведенные схемы управления двигателями, блоков питания и модуля датчика аварийной остановки робота, а также скетчи для проверки их работоспособности и правильности подключения могут быть использованы при моделировании и дальнейших исследованиях беспилотных автомобилей.

Литература

1. Беспилотный автомобиль – Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_автомобиль (дата обращения 16.12.2018).
2. Gurney Jeffrey K. «Sue My Car Not Me: Products Liability and Accidents Involving Autonomous Vehicles», 2013 U. Ill. J. L. Tech. & Pol'y, Fall 2013.

3. Habits Tell a Different Story. PR Newswire. Retrived from: <https://www.prnewswire.com/news-releases/new-allstate-survey-shows-americans-think-they-are-great-drivers---habits-tell-a-different-story-126563103.html> (accessed: 22.12.2018).
4. David Shepardson. (2013). Study: Self-driving cars to jolt market by 2035. The Detroit News. Retrived from: <https://archive.is/20140124203427/http://www.detroitnews.com/article/20131231/AUTO01/312310086/-1/rss23#selection-1985.0-1985.47> (accessed: 21.12.2018).
5. Davies, Alex. (2016). Every Wants a Level 5 Self-Driving Car. Here's What That Means Retrived from: <https://www.wired.com/2016/08/self-driving-car-levels-sae-nhtsa/> (accessed: 10.12.2018).
6. The Arduino Playground (2019) <http://arduino.cc/playground/Interfacing/Matlab>. МК платформа Arduino и MatLAB как конфигуратор ядра (accessed: 03.02.2019) [in USA].
7. David Kushner (2011), The Making of Arduino. IEEE Spectrum Retrived from: <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino> (accessed: 8.12.2018) [in USA].
8. Петин В. А. (2014). Проекты с использованием контроллера Arduino [Projects using the Arduino controller]. BHV- Peterburg 400 p. [in Russian].
9. Бокселл Дж. Изучаем Arduino. Петербург, 2017. 398 с.
10. Sommer Улли. Arduino. Freeduino. БХВ- Петербург, 2010. 244 с.
11. Карвинен Теро и др. Делаем сенсоры. Изд. дом Вильямс, 2015. 432 с.
- com/2016/08/self-driving-car-levels-sae-nhtsa/ (accessed: 10.12.2018) [in USA].
6. The Arduino Playground (2019) <http://arduino.cc/playground/Interfacing/Matlab>. МК платформа Arduino и MatLAB как конфигуратор ядра (accessed: 03.02.2019) [in USA].
7. David Kushner (2011), The Making of Arduino. IEEE Spectrum Retrived from: <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino> (accessed: 8.12.2018) [in USA].
8. Petin V. A. (2014). Proektyi s ispolzovaniem kontrollera Arduino [Projects using the Arduino controller]. BHV- Peterburg 400 p. [in Russian].
9. Boxcell J. (2017). Izuchaem Arduino [Studying the Arduino]. Peterburg 398 p. [in Russian].
10. Sommer Ulli (2010). Arduino. Freeduino [Arduino. Freeduino]. BHV- Peterburg 244 p. [in Russian].
11. Karvinen Tero (2015). Delaem sensoryi [Making sensors] Ed. Williams House. 432 p. [in Russian].

Програмно - апаратний комплекс для моделювання безпілотних транспортних засобів (робомобіль) з використанням контролера Arduino

Анотація. *Постановка проблеми.* Безпілотні транспортні засоби з успіхом можуть бути використані для проведення робіт в екстремальних умовах. Це можуть бути роботи хімічно, біологічно або радіаційно уражених територіях, роботи у зонах гранично низьких (Арктика, Антарктида) або високих (зони пожеж промислових підприємств, нафтових и газових свердловин) температур, роботи та дослідження на планетах (Марс) або супутниках планет (Місяць). Підготовка фахівців по проектуванню безпілотних транспортних засобів для роботи екстремальних умовах. Вимагає значних матеріальних витрат та часу. Тому розробка програмно-апаратного комплексу для моделювання безпілотних транспортних засобів з використанням контролера Arduino є актуальною проблемою сучасного напрямку розвитку транспортних засобів, які можуть бути використані як у економіці України, так і у інших галузях промисловості, та у цілях підготовки спеціалістів зазначеного напрямку.

Мета: наукове обґрунтування створення програмно-апаратного комплексу для моделювання безпілотних транспортних засобів для використання у екстремальних умовах з використанням контролера Arduino.

Методика: методологічна основа теоретичних досліджень базується на використанні системного, науково обґрунтованого аналізу в галузі створення програмно-апаратного комплексу для моделювання безпілотних транспортних засобів (робомобілів).

Результати: Створено програмно-апаратний комплекс для моделювання безпілотних транспортних засобів для роботи у екстремальних умовах з використанням контролера Arduino. Комплекс

References

1. Беспилотный автомобиль – Wikipedia [Unmanned vehicle – Wikipedia]. Retrived from: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_автомобиль (accessed: 16.12.2018). [in Russian]
2. Sue My Car Not Me: Products Liability and Accidents Involving Autonomous Vehicles Retrived from: https://works.bepress.com/jefrey_gurney/1/ (accessed: 10.12.2018). [in USA].
3. Habits Tell a Different Story. PR Newswire. Retrived from: <https://www.prnewswire.com/news-releases/new-allstate-survey-shows-americans-think-they-are-great-drivers---habits-tell-a-different-story-126563103.html> (accessed: 22.12.2018) [in USA].
4. David Shepardson. (2013). Study: Self-driving cars to jolt market by 2035. The Detroit News. Retrived from: <https://archive.is/20140124203427/http://www.detroitnews.com/article/20131231/AUTO01/312310086/-1/rss23#selection-1985.0-1985.47> (accessed: 21.12.2018) [in USA].
5. Davies, Alex. (2016). Every Wants a Level 5 Self-Driving Car. Here's What That Means Retrived from: <https://www.wired.com/2016/08/self-driving-car-levels-sae-nhtsa/>

може бути використаний для підготовки спеціалістів відповідного напрямку. Методики моделювання безпілотних транспортних засобів було відпрацьовано на чотирьохколісному повнопривідному шасі. **Наукова новизна:** Набула подальшого розвитку математична модель керування двигунами (розробка скетчів) в екстремальних умовах для робомобіля на базі чотирьохколісного повнопривідного шасі з використанням контролера Arduino. **Практична значимість:** Розроблено, виготовлено й практично апробовано в моделюваних умовах транспортний засіб на базі чотирьохколісного повнопривідного шасі з використанням контролера Arduino, який може бути використаний для робіт у екстремальних умовах. Розроблений програмно-апаратний комплекс дозволяє створювати безпілотні транспортні засоби з використанням контролера Arduino і дає можливість оперативно оцінювати ефективність рішень створення безпілотних транспортних засобів.

Ключові слова: моделювання, безпілотне транспортний засіб, екстремальні умови, контролер Arduino, чотириколісний повнопривідне шасі, управління двигунами, датчик аварійної зупинки робота.

Кобріна Наталія Віталіївна¹, к.т.н., доц, доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, тел. +380507330357, n.kobrina@khai.edu

¹Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний університет», вулиця Чкалова, 17, Харків, Харківська область, 61000

Кобріна Наталья Витальевна¹, к.т.н., доц, доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, тел. +380507330357, n.kobrina@khai.edu

¹Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского «Харьковский авиационный университет», улица Чкалова, 17, Харьков, Харьковская область, 61000

Software and hardware complex for modeling unmanned vehicles (robocar) with the Arduino controller

Abstract. Problem. Self-driving cars have some advantages over the cars that are controlled by people. These advantages include reduction of cost for transportation of cargoes and passengers, fuel economy, less need for individual cars, smaller number of traffic accidents, environmental safety, etc. When using unmanned vehicles, the human factor in road-transport accidents is eliminated. Therefore, development of software and hardware complex for simulation of self-driving cars (robocars) using the Arduino controller is an urgent problem for development of transportation, which can be used for the economy of Ukraine and for other industries. **Goal.** The aim is scientific substantiation of creating a software-hardware complex for simulation of self-driving cars (robocars) using the Arduino controller. **Methodology.** Methodological basis of theoretical research is based on the use of systematic, scientifically grounded analysis in the field of software and hardware complex to simulate self-driving cars (ro-bocars). **Results.** Software-hardware complex for simulation of self-driving cars (robocars) using Arduino controller has been created. Methods of simulation of self-driving cars were investigated on a four-wheeled full-gear chassis. **Originality.** The mathematical model for engine control was further developed (the development of a sketch) on the basis of a four-wheeled full-drive chassis using Arduino controller. **Practical value.** The self-driving car was designed, produced and practically tested in simulated conditions on the basis of four-wheeled full-gear chassis using Arduino controller. The developed software and hardware complex allows creating self-driving cars using Arduino controller and operative estimation of the efficiency of self-driving cars.

Key words: simulation, unmanned vehicle, robocar, Arduino controller, four-wheel full drive chassis, engine control, robot emergency stop sensor.

Kobrina Nataliya Vitaliivna¹, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Automobiles and Transport Infrastructure, tel. + 380507330357, n.kobrina@khai.edu

¹National Aerocosmic University im. M.E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation University", Chkalov Street 17, Kharkiv, Kharkiv region, 61000.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

Шуляков В. М.¹, Фастовець В. І.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** В статті наведено огляд існуючих методів взаємодії з доповненою реальністю за допомогою смартфона, розглянуті перспективи використання доповненої реальності в автомобільній галузі. Проаналізовані практичні інструменти створення та розробки контенту для доповненої реальності та запропоновано найбільш доцільні сфери використання.*

***Ключові слова:** Автомобільна галузь, доповнена реальність, багатoshарова модель, смартфон, контент, додаток.*

Вступ

За останні п'ять років віртуальна реальність (VR) і доповнена реальність (DR) яка з неї вийшла, привернули увагу інвесторів і широкого загалу. Однак історія технології VR довше, ніж може здатися: концепція VR була сформульована ще в 1960-х роках, а перші комерційні інструменти VR з'явилися в кінці 1980-х.

В даний час багато компаній, такі як Sony, Samsung, HTC і Google, роблять величезні інвестиції в VR і DR. Однак, якщо віртуальна реальність використовувалася в дослідженнях більше 25 років, DR має значно меншу історію застосування.

Доповнена реальність є більш новою технологією, ніж VR, і демонструє міждисциплінарну прикладну середу, яка в даний час найбільш активно використовується в освіті.

Аналіз публікацій

Загальна концепція доповненої реальності наступна, вона повинна: об'єднувати реальні і віртуальні об'єкти в реальному середовищі; працювати в інтерактивному режимі і в режимі реального часу; записувати реальні і віртуальні об'єкти разом один з одним. Крім того, навіть якщо досвід роботи з DR може здатися таким, що відрізняється від VR, якість досвіду DR можна розглядати аналогічно. Як і в VR, почуття присутності, рівень реалізму і ступінь реальності представляють основні характеристики, які можна вважати показниками якості досвіду DR [1-4].

Технологічно система DR, складається з трьох загальних компонентів, таких як геопросторові дані для віртуального об'єкта, візуальний маркер або поверхня для проектування віртуальних елементів і адекватна обчислювальна потужність для графіки, анімації та

об'єднання зображень. Для просунутих графічних рішень необхідний потужний ПК, для прикладних задач достатньо потужності смартфона.

Незважаючи на відносну новизну, на даний момент, технологія DR вже отримала застосування в таких областях, як архітектура, технічне обслуговування, освіта, розваги та медицина.

На сьогодні доповнена реальність (DR) вже впливає на процес навчання спеціалістів в автомобільній галузі. У DR є можливість змінити місце і час навчання, впровадити нові і додаткові способи і методи. Можливості технології доповненої реальності дозволяють зробити інформацію більш зрозумілою.

Мета та постановка задачі

Зараз майже 80% працюючих людей володіють смартфонами. Більшість з них є активними користувачами, які використовують ці гаджети для доступу до соціальних платформ, ігор і спілкування з друзями і родичами. Тим часом, значно менша частина людей використовує смартфони для роботи чи навчання, або пошуку інформації про предмет і т.п.

Потенціал об'єднання смартфонів і доповненої реальності для автомобільної галузі дуже великий, хоча його ще належить повністю розкрити. DR різними способами може надати додаткову інформацію з будь-якого предмету і спростити розуміння складної інформації.

Мета роботи. Сформулювати пропозиції щодо використання технології доповненої реальності в автомобільній галузі з використанням смартфонів.

Постановка задачі. Провести огляд та запропонувати сфери використання систем доповненої реальності в автомобільній галузі.

В даний час можна знайти чудові приклади доповненої реальності в різноманітних галузях по всьому світу. Здатність з'єднувати реальність і цифровий контент постійно вдосконалюється, відкриваючи нові можливості для користувачів.

Останні тенденції доповненої реальності

Доповнений досвід стає все більш поширеним для бізнесу. Такі технічні галузі, як телекомунікації, виробництво і енергетика, де робоча сила, як правило, розкидана по віддалених районах, використовують ДР для зв'язку і навчання.

Комплекти для розробників роблять ДР більш доступною. Apple та Google зробили серйозні кроки, щоб надати своїм користувачам більше додатків ДР. Apple 2018 року випустила ARKit 2, вже другу версію платформи, яка дозволяє розробникам інтегрувати ДР, зв'язати з конкретним місцем розташування, виявленням об'єктів і відстеженням зображень, щоб зробити програми ДР ще більш динамічними.

Причиною тривалих інвестицій мобільних гігантів в ДР є величезна база вже проданих пристроїв, що можуть працювати з додатками ДР.

Щоб не відставати, в першому кварталі 2018 року Google почав розробку власної системи ARCore для створення досвіду доповненої реальності. Використовуючи різні API, ARCore дозволяє смартфону користувача відчувати навколишнє середовище, розуміти світ і взаємодіяти з інформацією.

ARCore використовує три ключові можливості для інтеграції віртуального контенту з реальним світом, видимим через камеру смартфона Android:

- відстеження руху, яке дозволяє смартфону зрозуміти його положення щодо реального світу;
- позиціонування в навколишньому середовищі, яке дозволяє мобільному пристрою визначати розміри і розташування горизонтальних, вертикальних і похилих поверхонь;
- оцінка освітленості, яка дозволяє мобільному пристрою оцінювати умови освітлення для більш реалістичного ефекту.

З урахуванням того, що число потенційних користувачів в найближчі роки буде

тільки збільшуватися, ДР представляє ідеальну платформу не тільки для освіти, маркетингу та розваг, а й для технологічних галузей.

Розглянемо можливі варіанти та способи впровадження досвіду ДР в автомобільну галузь.

Доповнена реальність в автомобільній галузі

Використання доповненої реальності при навчанні технічним дисциплінам. Медіа контент в сукупності з доповненою реальністю на практичних заняттях може привернути увагу студентів в наш динамічний час, а також спонукати їх до навчання. Додавання додаткових даних, наприклад технічні характеристики деталей, відео-прошарки, що пояснюють принципи роботи, візуальні 3D-моделі дозволять краще зрозуміти практичні аспекти.

Виконуючи практичні завдання, спеціалісти можуть сканувати певні елементи фізичного середовища і отримувати текстові, аудіо- чи відео-підказки.

ДР допомагає пояснити абстрактні і складні поняття. ДР-технологія здатна візуалізувати об'єкти, які важко уявити, і перетворювати їх в 3D-моделі, що полегшує сприйняття абстрактного і складного контенту. Це особливо корисно для візуалізації теоретичного матеріалу в реальну концепцію [5-7].

Взаємодія і залучення. Включаючи доповнену реальність в роботу, автомобільні компанії можуть спростити роботу своїм авторизованим центрам. Це може здійснюватися за допомогою використання тривимірних моделей сканованих вузлів та агрегатів.

Відвідувачі автосалонів можуть отримати доступ до ДР через спеціалізовані додатки на смартфоні і дізнаватися додатковий контент, пов'язаний з експонатами.

Моделювання об'єктів. Доповнена реальність дає можливість взаємодіяти з 3D-моделями, що дозволяє отримати саме прикладні знання для найрізноманітніших предметів. Існує можливість обертати моделі, встановлювати стилі кольору, прошарки відображення.

Практика. У багатьох випадках теоретичних знань недостатньо для отримання належних навичок в професійних областях. Студенти не повинні бути просто слухачами і пасивними спостерігачами. Студенти технічних факультетів особливо потребують практики і практичного досвіду в своїх областях.

Завдяки взаємодії, на відміну від віртуальної реальності, функції ДР можуть допомогти виконати віртуальну практику - з розширеними навчальними посібниками, цифровим моделюванням і симуляціями, а також отримати певний досвід в кінці навчання [8-10].

Використання ДР у автомобільній галузі можливе в різний спосіб. При навчанні спеціалісти отримують практичні навички, при збірці автомобільних агрегатів можливе використання багат шарових 3д моделей, а при ремонті та обслуговуванні можливо отримувати повну інформацію про конкретну деталь на свій смартфон (I-Mechanic). При використанні автомобіля, в сфері навігації, нічного бачення та захисту пішоходів широку популярність отримала технологія проектування віртуального зображення на вітрове скло автомобіля HUD.

Огляд додатків доповненої реальності

Серед найбільш значущих тенденцій доповнена реальність по праву займає лідируючі позиції.

Як очікується, ця високотехнологічна інноваційна індустрія, до 2020 року досягне об'ємів в 250 мільярдів доларів.

Очікується, що за рік до цієї тенденції приєднаються понад 1 мільярд користувачів, що відкриває безліч можливостей для підприємств. Тож дослідимо існуючі додатки, що дозволяють самостійно почати використання ДР без розробки своєї програмної платформи.

В рамках доповненої реальності можна виділити 2 категорії додатків: спеціалізовані, у яких використовується запропонований розробниками контент та додатки, які дозволяють користувачу самостійно генерувати доповнений контент.

Додатки доповненої реальності від компанії Daqri Studio дозволяють самостійно створювати проекти з прикладами на основі освітніх програм, таких як Anatomy 4D, Elements 4D.

Ці додатки дозволяють комбінувати різні елементи в симуляції, щоб побачити, як вони будуть реагувати в реальності. Для запуску використовуються спеціальні тригери на друківаних картках. Скануючи віддруковані тригери, додаток показує тривимірні моделі і дозволяє взаємодіяти з ними.

Додаток Augment підходить для освітніх цілей в університетах. Платформа надає можливості для створення 3D-моделей, а та-

кож інтегрування їх в реальному часі в середовище.

Додаток Vlippar – це інструмент для візуалізації надрукованих зображень, що перетворює їх в тривимірні інтерактивні моделі.

Додаток I-Mechanic - це додаток доповненої реальності призначений для підтримки людей у звичайному обслуговуванні свого автомобіля.

Додаток HP Reveal – засіб для самостійного створення та використання шарів доповненої реальності на основі графічного контенту (рис. 1).



Рис. 1. Інтерфейс сканування фізичної моделі для накладання шарів доповненої реальності

Для коректного створення, накладення і перегляду прошарків за допомогою HP Reveal знадобиться смартфон не менше чим з 1 гігабайтом оперативної пам'яті, камерою від 8 мегапікселів та стабільним виходом в інтернет 3G. На поточний момент в програмі відсутня монетизація. Встановлення додатку здійснюється з Google Play Market. Орієнтовний час створення одного об'єкту доповненої реальності складає 3-5 хвилин.

Додаток дозволяє сканувати та записувати до онлайн бази даних будь-які фізичні об'єкти, що виділяє його поряд з додатками, що працюють лише з заготовленими та роздрукованими заздалегідь тригерами.



Рис. 2. Накладання шару доповненої реальності в режимі сканування навколишнього середовища

В HP Reveal існує можливість створювати відкриті канали з об'єктами доповненої реальності, так звані "аури", а це означає, що маючи лише посилання на канал, користувач може отримувати всю потрібну інформацію через інтернет. І коли ви завантажите нові об'єкти, то користувач отримує їх автоматично (рис. 2).

Висновки

Проведено огляд використання технології доповненої реальності в автомобільній галузі з використанням смартфонів. Визначено, що використання ДР доцільно в наступних сферах: при навчанні спеціалістів, що полегшує отримання практичних навичок; при збірці автомобільних агрегатів (можливе використання багат шарових 3д моделей); при ремонті та обслуговуванні, що надає можливість отримувати повну інформацію про конкретну відскановану деталь. Це відкриває безліч можливостей для підприємств та навчальних закладів автомобільної галузі.

Література

1. Слюсар В. І. Концепція стандартизації тактичних засобів доповненої реальності. *Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ»*. (Львів, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 17 – 18 травня 2018). Львів, 2018. С. 63–64.
2. Шуляков В. М., Фастовець В. І. Доповнена реальність в освіті. *Тези доповідей XVII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»*. (Харків, НТУ «ХПІ», 15-17 травня 2019). Харків, 2019. С. 77.
3. Akçayır M., Akçayır G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: a systematic review of the literature. *Educ. Res. Rev.*, 2017. №20. P. 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.

4. Alexander T., Westhoven M., Conradi J. "Virtual environments for competency-oriented education and training," in *Advances in Human Factors, Business Management, Training and Education*, (Berlin: Springer International Publishing;), 2017. P. 23–29. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42070-7_3.
5. Azuma R., Bailiot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. Recent advances in augmented reality. *IEEE Comp. Graph. Appl.*, 2001. №21. P. 34–47. doi: <https://doi.org/10.1109/38.963459>.
6. Bacca J., Baldiris S., Fabregat R., Graf S. Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. *J. Educ. Technol. Soc.*, 2014. №17. P. 133.
7. Chen Y. C., Chi H. L., Hung W. H., Kang S. C. Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, 2011. №137. P. 267–276. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000078](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000078).
8. Choi S., Jung K., Noh S. D. Virtual reality applications in manufacturing industries: past research, present findings, and future directions. *Concurr. Eng.*, 2015. №23. P. 40–63. doi: <https://doi.org/10.1177/1063293X14568814>.
9. Feiner S., MacIntyre B., Hollerer T., Webster A. "A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment," in *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers*, (Cambridge, MA: IEEE;), 1997. P. 74–81. doi: <https://doi.org/10.1109/ISWC.1997.629922>.
10. Nincarean D., Alia M. B., Halim N. D. A., Rahman M. H. A. (2013). Mobile augmented reality: the potential for education. *Procedia Soc. Behav. Sci.*, 2013. № 103, P. 657–664.

References

1. Slyusar V. I. (2018) Kontseptsiya standartizatsiyi taktichnih zasobiv dopovnenoyi realnosti. [The concept of standardization tactical means of augmented reality]. *Tezi dopovidey Mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoyi konferentsiyi «Perspektivi rozvitku ozbroennya ta viyskovoyi tehniky Suhoputnih viysk»*. (Lviv, Natsionalna akademiya suhoputnih viysk imeni getmana Petra Sagaydachnogo, 17 – 18 May 2018), 63–64. [In Ukrainian]
2. Shuliakov V. M., Fastovets V. I. (2019) Dopovnena realnist v osviti. [Augmented reality in education]. *Tezi dopovidey HVII mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi «Informatsiyi tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya»*. (Kharkiv, NTU «HPI», 15-17 May 2019), 77. [In Ukrainian]
3. Akçayır M., Akçayır G. (2017) Advantages and challenges associated with augmented reality for education: a systematic review of the literature.

- Educ. Res. Rev., 20, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
4. Alexander T., Westhoven M., Conradi J. (2017) “Virtual environments for competency-oriented education and training” in *Advances in Human Factors, Business Management, Training and Education*, (Berlin: Springer International Publishing;), 23–29. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42070-7_3.
 5. Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. (2001) Recent advances in augmented reality. *IEEE Comp. Graph. Appl.*, 21, 34–47. doi: <https://doi.org/10.1109/38.963459>.
 6. Bacca J., Baldiris S., Fabregat R., Graf S. (2014) Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. *J. Educ. Technol. Soc.*, 17, 133.
 7. Chen Y. C., Chi H. L., Hung W. H., Kang S. C. (2011) Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, 137, 267–276. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000078](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000078).
 8. Choi S., Jung K., Noh S. D. (2015) Virtual reality applications in manufacturing industries: past research, present findings, and future directions. *Concurr. Eng.*, 23, 40–63. doi: <https://doi.org/10.1177/1063293X14568814>.
 9. Feiner S., MacIntyre B., Hollerer T., Webster A. (1997) A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment, in *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers*, (Cambridge, MA: IEEE;), 74–81. doi: <https://doi.org/10.1109/ISWC.1997.629922>.
 10. Nincarean D., Alia M. B., Halim N. D. A., Rahman M. H. A. (2013) Mobile augmented reality: the potential for education. *Procedia Soc. Behav. Sci.*, 103, 657–664.

Шуляков Владислав Миколайович¹, асистент, тел. +380931857595, jason07@ukr.net,

Фастовець Валентина Іванівна¹, к.т.н., доц., тел. +380632840672, tinafast2013@gmail.com,

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

Prospects of the augmented reality use in automobile transport

Abstract: Problem. *The problem is the necessity to facilitate the technical analysis of the car. The potential of smartphone integration and augmented reality for the automotive industry is very large. AR can provide additional information on any subject in various ways, and simplify the understanding of complex information. At present, we can find great examples of the augmented reality in different industries all over the world. The ability to connect reality and digital content is constantly improved, opening up new opportunities for users. Goal.* *It is necessary to determine in what way it is better to use AR in auto-*

mobile transport together with the smartphone. Methodology. *Using the augmented reality, automobile companies can improve the work of their authorized centers. This can be done by using three-dimensional models of scanned nodes and aggregates. Due to the interaction, unlike virtual reality, AR functions can help get virtual practice - with expanded tutorials, digital modeling, and simulations, as well as gaining some experience at the end. In many cases, theoretical knowledge is not enough to get the right skills in professional areas. Students should not just be listeners and passive observers. Students of technical faculties especially need practice and practical experience in their fields. Results.* *The analysis of existing methods of interaction with the augmented reality with the help of a smartphone is given in the article, the prospects of the use of augmented reality in the automobile industry are considered. Originality.* *The original possibility of using the potential of smartphones in the field of technical analysis of cars is described. Practical value.* *The practical tools of creation and development of content for the augmented reality are analyzed and the best fields of application are proposed.*

Keywords: *automobile transport, augmented reality, multi-layered model, smartphone, content, application.*

Shuliakov Vladislav Mikolayovytch¹, assistant lecturer, tel. +380931857595, e-mail. jason07@ukr.net, **Fastovec Valentyna Ivanivna**¹, assistant professor, cand. eng. sc., tel. +380632840672, e-mail. tinafast2013@gmail.com,

¹Harkov National Automobile and Road University, 61002, Ukraine, Kharkov, str. Yaroslav Mudruy, 25.

Перспективи використання доповненої реальності в автомобільній отрасли

Анотація. *В статті приведено аналіз існуючих методів взаємодії з доповненою реальністю з допомогою смартфона, розглянуті перспективи використання доповненої реальності в автомобільній отрасли. Описана оригінальна можливість застосування потенціала смартфонів в області технічного аналізу автомобілів. Проаналізовані практичні інструменти створення і розробки контенту для доповненої реальності і пропозиції найбільш цілесобразних сфер застосування.*

Ключеві слова: *Автомобільна отрасль, доповнена реальність, многослойная модель, смартфон, контент, приложение.*

Шуляков Владислав Николаевич¹, асистент, тел. +380931857595, jason07@ukr.net,

Фастовець Валентина Іванівна¹, к.т.н., доц., тел. +380632840672, tinafast2013@gmail.com,

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

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ АВТОМОБИЛЯ «NISSAN LEAF»

Данков В. В.¹, Паникарский А. С.¹

Харьковский государственный автомобильно-дорожный колледж

***Аннотация** Работоспособность АБ электромобиля определяется в полной зависимости от уровня качества наиболее слабого модуля в её составе. На примере опыта, установлено, что при прочих равных условиях, при проведении контрольного разряда Li-ion АКБ, когда со стороны (+) вывода батареи был установлен наиболее сильный модуль, а остальные в порядке убывания их емкости, батарея отдала большую емкость на 10% чем в обратном порядке. Модули расставляют в цепи по приоритетам от (+) к (-). Приоритет №1 – зарядная емкость, №2 – внутреннее сопротивление, №3 – производная наклона разрядной характеристики. Комплектация модулей аккумуляторной батареи с минимальным разбросом параметров и правильным их расположением в цепи позволяет увеличить отдаваемую емкость на 10% и соответственно километраж пробега, а также увеличить срок службы батареи.*

***Ключевые слова:** электромобиль, аккумуляторная батарея, электрическая емкость.*

Введение

В настоящее время всё больше на дорогах Украины можно встретить электромобили «Nissan Leaf». Эти автомобили преимущественно ввезены из США как бывшие в эксплуатации. Следовательно, они требуют предпродажной подготовки аккумуляторной батареи (АКБ), а также своевременного технического обслуживания. Ранее авторы этой статьи указывали, что своевременное техническое обслуживание свинцово-кислотных батарей может продлить срок их эксплуатации почти в 2 раза [1]. Вероятно, что своевременное и грамотное обслуживание литий-ионных батарей также приведет к улучшению их эксплуатационных свойств.

Анализ публикаций

В текущих изданиях, посвященных ремонту (Li-ion) автомобильных аккумуляторов указывается о необходимости замены изношенных ячеек на однотипные, где ёмкость не менее 80% в долях номинальной. без рассмотрения предварительной детальной диагностики ячеек аккумуляторной батареи [2-9]. В статье [2] даны важные рекомендации: не держать АКБ 100 % заряженной если при этом не следует поездка, а также разряжать АКБ до минимума для продле-

ния срока эксплуатации. При ремонте важна диагностика всех модулей, в том числе и которые заменяют, так как замененные модули могут вторично быть использованы на солнечных или ветровых электростанциях. Эту идею уже воплощает в жизнь компания BMW [3].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является: разработка методики диагностики электрических параметров ячеек аккумуляторной батареи автомобиля «Nissan Leaf» и информировать специалистов о параметрах батареи, которые необходимо учитывать при её ремонте с целью увеличения емкости и продления срока эксплуатации.

Исследование эксплуатационных параметров аккумуляторной батареи электромобиля в процессе её ремонта

Обеспечение высоконадёжной работы литиевых аккумуляторных батарей на электромобилях – обострившаяся проблема. Производство литиевых модулей типа Li-ion в Украине до настоящего времени не организовано, однако уже в течение не менее 3-4 лет в нашей стране эксплуатируются десятки тысяч электромобилей (машин) типа

Nissan-Leaf. Как правило, эти машины завезены к нам с не новыми аккумуляторными батареями.

Из опыта работы известно, что в условиях производства невозможно изготавливать новые литиевые модули с абсолютно одинаковыми их техническими характеристиками.

Известно также, что с наработкой ресурса службы разбегность показателей величины характеристик Li-ion модулей в составе 48-ми модульной АКБ электромобиля нарастает, что неотвратно происходит, даже при самых правильных режимах заряда батареи.

Как свидетельствует опыт интенсивной эксплуатации электромобилей (например, в системе taxi) после первых 2,5...3-х лет пробега этих машин между полными зарядами, по сравнению с начальными показателями, сокращается в 1,5...2 раза.

При этом отмечается прогрессивное снижение уровня мощности электроэнергии, потребляемой при заряде АКБ, а также уменьшение километража пробега.

Основная причина этого – образовавшийся высокий уровень разбегности величин характеристик среди аккумуляторов в составе АКБ электромобиля. При этом наиболее прогрессирующее снижение уровня качества работы АКБ электромобиля происходит, если со стороны «-» выхода батареи находятся наиболее сильные модули.

В системе защиты АКБ Li-ion заложены условия прекращения заряда батареи на момент достижения одной из ячеек какого-либо одного двухъячеечного модуля заданного верхнего предела величины напряжения заряда. При этом завершение разряда происходит при достижении программно установленного нижнего предела величины напряжения разряда на какой-либо ячейке одного из Li-ion модулей.

Таким образом, работоспособность АКБ электромобиля определяется в полной зависимости от уровня качества наиболее слабого модуля в её составе.

Из опыта работы установлено, что при снижении ёмкости наиболее слабого модуля в составе АКБ электромобиля до уровня 0,5 в долях номинальной однотипного нового, от половины до 2/3 модулей в составе батареи имеют (сохраняют) отдаваемую ёмкость на уровне от 80% и более в долях номинальной (Сном).

С целью восстановления работоспособности АКБ электромобиля Li-ion модули со сниженным уровнем ёмкости заменяют на

однотипные, где ёмкость не менее 80% в долях номинальной.

При этом какая-либо сравнительная оценка каждого модуля, устанавливаемого в состав восстановленной АКБ электромобиля не проводится. Авторы считают необходимым производить комплексную диагностику модулей АКБ в режимах близких к эксплуатационным в городских условиях. Из этих соображений выбран ток нагрузки при разряде – 25 А. Время диагностики эквивалентно среднему времени разгона автомобиля на перекрестке от 0 до 50 км/час.

По данным исследований, проведенных в 2018 г. в лаборатории кафедры автомобильной электроники ХНАДУ, максимально возможный уровень отдаваемой ёмкости Li-ion АКБ может быть достигаемым, если со стороны «+» вывода батареи будет установлен модуль с наибольшей ёмкостью, а остальные в порядке её уменьшения.

На примере опыта, проведенного в лаборатории кафедры автомобильной электроники ХНАДУ, установлено, что при прочих равных условиях, при проведении контрольного разряда Li-ion АКБ, когда со стороны «+» вывода батареи был установлен наиболее сильный модуль, а остальные в порядке убывания их силы, – батарея отдала ёмкость на 10% больше

А при установке со стороны «+» вывода АКБ наиболее слабого модуля, а остальных – в порядке возрастания ёмкости при контрольном разряде эта же батарея отдала меньшую ёмкость.

С целью обеспечения возможности проведения объективной оценки состояния каждого Li-ion модуля, устанавливаемого в состав АКБ электромобиля может быть использована методика контроля состояния Li-ion модулей, которую разработал инженер-изобретатель Данков В.В. (далее методика).

Эта методика, реализованная в виде алгоритма работы автоматического зарядно-разрядного устройства типа «БЗВМ-4/12-4», в 2018 году прошла успешные испытания в условиях лаборатории кафедры Автомобильной электроники ХНАДУ, рис. 1.

Блок «БЗВМ 4/12-4» предназначен для проведения контрольно-тренировочных циклов одновременно 4-х 7,6-ти вольтовых Li-ION аккумуляторных батарей номинальной ёмкости от 28 до 150 А·ч.



Рис. 1. Блок «БЗВМ 4/12-4»

Блок позволяет производить 3 различных контрольно-тренировочных цикла.

1. «F3» - заряд. Этот режим используется для зарядки АКБ с неизвестным предыдущим состоянием (заряжен или разряжен).

2. «F2» - восстановительный цикл. В этом режиме разряд производится токами не более 0,1С до 6,2 В на модуль, затем идет пауза и заряд. Этот режим используется для тренировки АБ и выравнивания характеристик элементов, составляющих батарею.

3 «F1» - контрольный. В этом режиме разряд ведется постоянным током. Блок позволяет установить ток контрольного разряда от 5,0 до 25,0 А.

Данные измерений хранятся в энергонезависимой памяти, поэтому можно произвести работу, выключить блок, перенести в другое место и подключить к компьютеру и считать данные протокола.

В отличие от прочих известных способов диагностики состояния Li-ion модулей согласно методике Данкова, при использовании блока «БЗВМ-4/12-4» каждому обслуживаемому модулю проводят цикл разряда и заряда и тестовый контроль. При этом стабилизированную силу тока разряда устанавливают на уровне не более 0,08 в долях $S_{ном}$, где $S_{ном}$ емкость ячейки) Разряд модуля автоматически завершается при достижении уровня нижнего предела величины напряжения разряда 6,2 В. После завершения разряда происходит автоматический переход на заряд.

При этом заряд проходит при ступенчатом повышении величины силы тока заряда по специальному алгоритму, рис. 2.

По ходу заряда изменяется сила зарядного тока по алгоритму, а динамика зарядного напряжения зависит от данного состояния обслуживаемого модуля. При этом верхний

предел уровня зарядного напряжения – максимально допустимый для данного типа аккумуляторов. Таким образом, каждый модуль разряжают до одинакового уровня напряжения разряда, а количество электричества, наблюдаемое при заряде, зависит от данного состояния обслуживаемого модуля.

После завершения заряда проводят тест-контроль при воздействии стабилизированного тока разряда на уровне 25 А в течение 8 с.

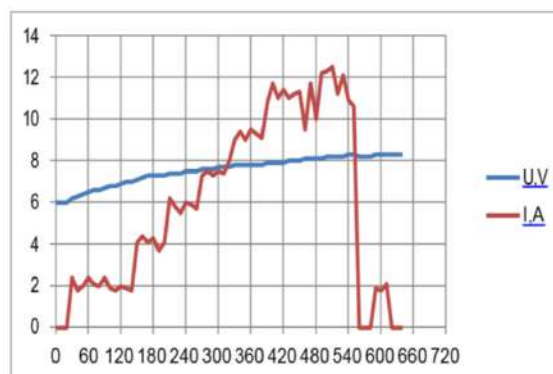


Рис. 2. Графики зависимости зарядного тока и напряжения во времени для одного модуля

На дисплей выводятся следующие результаты тестирования:

1. Количество электричества, сообщенного при заряде, А·ч.

2. Внутреннее сопротивление - частное от деления разности электродвижущей силы и напряжения в конце 20 секундного разряда на силу тока:

$$R_0 = \frac{E - U_H}{I_H}. \quad (1)$$

3. Напряжение разряда на момент завершения воздействия тестового тока ($U_{рк}$, В).

4. Разница между величиной электродвижущей силы, замеренной через 20 секунд после прекращения воздействия тестового тока (E_{20} , В) и величиной напряжения разряда $U_{рк}$ на момент завершения воздействия тестовой нагрузки ($E_{20} - U_{рк}$).

На основании полученных данных проводят сравнительную оценку модулей для определения места их установки в состав АКБ электромобиля.

При этом: приоритет № 1 – есть показатель Q_3 количества электричества, сообщенного при заряде (А·ч). Чем больше величина

Q_3 , тем выше уровень качества модуля.

Эмпирическим путем установлено, что величины количества электричества, сообщенного при заряде наиболее сильному и наиболее слабому модулю в составе АБ должны быть $Q_{3\max} = 1,1 Q_{3\min}$.

При наличии одинаковых величин Q_3 приоритет № 2 – величина напряжения на момент завершения воздействия тестовой нагрузки ($U_{рк}$, В). Чем больше величина $U_{рк}$, тем качество модуля выше.

При наличии одинаковых показателей Q_3 и $U_{рк}$ приоритет № 3 – показатель производной наклона напряжения за первые 8 секунд разряда:

$$(U_n - U_k,) \quad (2)$$

Чем меньше внутреннее сопротивление, тем качество модуля выше.

При наличии одинаковых показателей величин Q_3 , $U_{рк}$, приоритет № 4 – уровень разницы между величиной электродвижущей силы (E_{20}), замеренной через 20 секунд от момента прекращения тестовой нагрузки и величиной $U_{рк}$ ($E_{20} - U_{рк}$) в милливольтках. Чем меньше величина ($E_{20} - U_{рк}$), тем качество модуля выше.

Правильный выбор места установки, допущенных к дальнейшему использованию Li-ion модулей позволит достичь максимально возможной для данной батареи отдаваемой емкости.

Выводы

Комплектация модулей аккумуляторной батареи с минимальным разбросом параметров и правильным их расположением в цепи позволяет увеличить отдаваемую емкость на 10% и соответственно километраж пробега. А также увеличить срок службы батареи. Комплексная диагностика позволяет сразу определить пригодность отбракованных модулей для дальнейшей эксплуатации в системах альтернативной энергетики.

Литература

1. Данков В. В., Панікарський О. С. Вдосконалення метода відновлення тягових свинцево-кислотних акумуляторів великої ємності. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології ХНАДУ, Харків, вип. 12. 2017. С. 187-192.
2. Сараева И. Ю., Стародубцев А. А. Применение

современных литий-ионных аккумуляторных батарей на электромобилях. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, № 13. 2018. С. 28-35 ХНАДУ Харків. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2018.14.0.22> (дата обращения 15.08.2018).

3. Аккумуляторные батареи для электромобилей – все, что вы хотели знать/ (2017) URL: <https://hevcars.com.ua/reviews/akkumulyatornyie-batarei-dlya-elektromobiley/> (дата обращения 15.08.2018).
4. Мельниченко Р. Ремонт Nissan Leaf АКБ за \$3-6 тыс. и замена масла (2018) URL: <https://itc.ua/articles/remont-nissan-leaf-akb-za-3-6-tyis-i-zamena-masla/> (дата обращения 12.04.2019).
5. Ремонт высоковольтной батареи Nissan Leaf – CarVizor (2017) URL: <https://carvizor.ru/article/reviews/repair-the-high-voltage-battery-of-the-nissan-leaf/> (дата обращения 12.04.2019)
6. Диагностика и ремонт высоковольтных батарей электромобилей URL: https://sto.astar.ua/services/remont_elektromobiley/remont_gibridnykh_silovykh_ustanovok/ (дата обращения 12.04.2019)
7. Аккумулятор Nissan Leaf: ТОП-5 вопросов и ответы на них. URL: <https://pronissanleaf.ru/akkumulyator> (дата обращения 12.04.2019).
8. Аккумуляторные батареи для электромобилей. Вопросы и ответы. URL: <https://ecotechnica.com.ua/stati/1718-akkumulyatornye-batarei-dlya-elektromobilej-voprosy-i-otvety.html> (дата обращения 12.04.2019).
9. Батарея Ниссан Лиф – вскрываем электрические «консервы». URL: <https://erazborka.com.ua/articles/batareya-nissan-lif-raskryvaem-elektricheskie-konservy/> (дата обращения 12.04.2019).

References

1. Dankov V. V., Panicarsky O. S. (2017) Vdoskonalennia metoda vidnovlennia tiahovykh svyntsevo-kyslotnykh akumuliatoriv velykoi yemnosti. [Improvement of the method of recovery of traction lead-acid batteries of large capacity] Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii, Kharkiv, 12. 187-192 [in Ukrainian].
2. Sarayeva I. Yu., Starodubtsev A. A. (2018) Primenenie sovremennykh litiy-ionnykh akkumulyatornykh batarey na elektromobilyah. [Application of modern lithium-ion rechargeable batteries on electric vehicles]. Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii, 13. 28-35.

- DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2018.14.0.22> (accessed: 15.08.2018). [in Russian]
3. Akkumulyatornyie batarei dlya elektromobiley – vse, chto vii hoteli znat [Electric vehicle batteries - everything you wanted to know] (2017). URL: <https://hev cars.com.ua/reviews/akkumulyatornyie-batarei-dlya-elektromobiley/> (accessed: 15.08.2018). [in Russian].
 4. Melnichenko R. Remont Nissan Leaf AKB za \$3-6 tyis. i zamena masla [Repair Nissan Leaf battery for \$ 3-6 thousand and oil change] (2018) URL: <https://itc.ua/articles/remont-nissan-leaf-akb-za-3-6-tyis-i-zamena-masla/> (accessed: 12.04.2019) [in Russian].
 5. Remont vysokovoltnoy batarei Nissan Leaf – CarVizor [Repair of high-voltage battery Nissan Leaf – CarVizor] (2017) URL: <https://carvizor.ru/article/reviews/repair-the-high-voltage-battery-of-the-nissan-leaf/> (accessed: 04.12.2019) [in Russian].
 6. Diagnostika i remont vysokovoltnyih batarey elektromobiley [Diagnostics and repair of high-voltage batteries of electric vehicles] (2019) URL: https://sto.astar.ua/services/remont_elektromobiley/remont_gibridnykh_silovykh_ustanovok/ (accessed: 04.12.2019). [in Russian].
 7. Akkumulyator Nissan Leaf: TOP-5 voprosov i otvety na nih [Nissan Leaf Battery: TOP-5 questions and answers to these] URL: <https://pronissanleaf.ru/akkumulyator> (accessed: 12.04.2019). [in Russian].
 8. Akkumulyatornyie batarei dlya elektromobiley. Voprosy i otvety. [Accumulator batteries for electric cars. Questions and Answers.] URL: <https://ecotechnica.com.ua/stati/1718-akkumulyatornye-batarei-dlya-elektromobiley-voprosy-i-otvety.html> (accessed: 12.04.2019). [in Russian].
 9. Batarea Nissan Lif – vskryvaem elektricheskie «konservyi». [Nissan Lif-Battery open electric "canned"] URL: <https://erazborka.com.ua/articles/batareya-nissan-lif-raskryvaem-elektricheskie-konservyi/> (accessed: 12.04.2019) [in Russian].

Паникарский Александр Сергеевич¹, к.т.н., преподаватель, тел +380960760825, panikarski@gmail.com

Данков Владимир Васильевич¹, инженер, тел. +380966701735, mastersonrust@mail.ru

¹Харьковский государственный автомобильно-дорожный колледж, 61051, г. Харьков, ул. Котельниковская 3.

Деякі особливості обслуговування та ремонту акумуляторної батареї автомобіля «NISSAN LEAF»

Анотація: Своєчасне і грамотне обслуговування літій-іонних батарей приведе до покращенню їх експлуатаційних властивостей. **Аналіз публікацій.** В виданнях, які присвячені ремонту Li-іон акумуляторів вказується на необхідність заміни зношених комірок на відповідні з ємністю 80% в долях від номіналу без попередньої детальної діагностики комірок акумуляторної батареї. **Метою** цієї роботи є розробка методики діагностики електричних параметрів модулів акумуляторної батареї автомобіля «Nissan Leaf», які необхідно враховувати при ремонті з метою збільшення ємності і продовження строку експлуатації. **Дослідження** експлуатаційних параметрів акумуляторної батареї електрообілля під час її ремонту. В умовах виробництва неможливо виробляти нові (Li-іон) модулі з абсолютно однаковими технічними характеристиками. Відомо також, що з напрацюванням ресурсу слугування розбіжність показників величин характеристик модулів АКБ електрообілля збільшується. При цьому розбіжність характеристик впливає на знос найбільш слабких по енергоємності комірок в більшій частині чим на інші. Працездатність АКБ електрообілля визначається в повній мірі від рівня якості найбільш слабого модуля в її складі. При цьому порівняльна характеристика кожного модуля, який встановлений в склад відновленої АКБ електрообілля не проводиться. На прикладі досліду проведеного на кафедрі автомобільної електроніки ХНАДУ встановлено, що при проведенні контрольного розряду батареї, коли зі сторони «+» контакту був встановлений найбільш енергоємний елемент, а послідовно з меншою енергоємністю, то батарея віддала на 10% ємності більше чим навпаки. Після завершення заряду проводять тест -контроль. Далі модулі розміщують в колі по пріоритетам від (+) до (-). Правильний вибір місця встановлення Li-іон модулів дозволить одержати максимальну можливість для даної батареї ємність. **Висновки.** Комплектація модулів акумуляторної батареї з мінімальною різницею параметрів і правильне їх розміщення в колі дозволяє підвищити одержану ємність більшу на 10 % і відповідно пробіг.

Ключові слова: електрообілля, акумуляторна батарея, електрична ємність.

Панікарський Олександр Сергійович¹, к.т.н., викладач, тел +380960760825, panikarski@gmail.com

Данков Володимир Васильович¹, інженер,
тел. +380966701735 mastersonrust@mail.ru

¹Харківський державний автомобільно-дорожній
коледж. 61051, м. Харків, вул. Котельниківська,
3.

Some issues of diagnostics and repair of car batteries "Nissan Leaf"

*Timely and competent maintenance of lithium-ion batteries as well as lead-acid ones will lead to an improvement in their performance properties. **Analysis of publications.** Current publications on the repair of (Li-ion) car batteries indicated the necessity to replace worn cells with the same type batteries, where the capacity is at least 80% in nominal fractions without prior detailed diagnosis of the battery cells. **The purpose and setting of the problem.** The purpose of this work is: to develop a method for diagnosing the electrical parameters of the battery cells of the Nissan Leaf. **Investigation** of operational parameters of the battery of the electric car in the process of its repair. The efficiency of an electric vehicle's battery is determined in full dependence on the quality level of the weakest module in its composition. In this case, a comparative assessment of each module installed in the restored electric car is not carried out. On the basis of the experiments carried*

*out in the laboratory of the Automobile Electronics Department of KhNAHU it was established that, all other things being equal, when conducting the test discharge of Li-ion battery it gave the most capacity when the "strongest" module was installed from the "+" side of the battery, and the rest were in descending order of their capacity. And when installing the "weakest" module from the "+" side of the output of the battery, and the rest – in the order of increasing their capacity, the same battery gave up 10% less capacity in the control discharge. Proper selection of the installation site of Li-ion modules approved for further use will allow for achieving the maximum available capacity for a given battery. **Conclusions.** Completion of battery modules with a minimum dispersion of parameters and their correct location in the circuit allows for increasing the output capacity by 10% and, accordingly, the kilometer run.*

Key words: electric cars, accumulator battery, electric capacity.

Panikarski Aleksandr¹, Ph.D., lecturer
+380960760825, panikarski@gmail.com.

Dankov Vladimir¹, engineer, tel. ..+380966701735
mastersonrust@mail.ru

¹Kharkiv State Automobile and Highway College,
61051 Kharkov, ul. Kotelnikovskaya 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З ПЕРЕМІННОЮ МАСОЮ ПРИ ВИКОНАННІ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ

Кожушко А. П.¹

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

***Анотація.** Наведено результати моделювання пов'язаних коливань машинно-тракторного агрегату з напівпричіп-цистерною та з причіп-цистерною в ході прямолінійного руху при виконанні транспортної роботи. Встановлено вплив значення радіальної жорсткості шин колісного трактора на горизонтальні, вертикальні прискорення та переміщення сидіння тракториста при виконанні транспортної роботи з цистерною.*

***Ключові слова:** колісний трактор, транспортна робота, цистерна, коливання, перерозподіл мас.*

Вступ

Транспорт – одна з головних галузей держави, яка впливає на економічний добробут суспільства. Особливої ціни набуває ця галузь в агропромисловому комплексі, адже своєчасне виконання транспортних робіт призводить до якісної роботи сільськогосподарських угідь. Транспортна робота в агропромисловому комплексі зводиться до перевезення твердих або рідких вантажів, а зважаючи на те, що її можуть виконувати, як вантажні автомобілі, так і трактори, то це викликає великий інтерес. При дослідженні транспортної роботи машинно-тракторним агрегатом завжди актуально дослідження плавності руху, керованості, маневреності, тощо.

Дослідження плавності руху є системоутворюючим процесом, який впливає на ергономічні властивості, динамічну складову руху, тощо. Особливої актуальності набуває дослідження плавності руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою (перевезення рідких вантажів) за рахунок нехтування перерозподілом мас в причіпному пристрої відбувається зменшення експлуатаційних та техніко-економічних показників, а також створюється негативний вплив на надійність транспортного засобу.

Аналіз результатів досліджень

Існує низька наукових робіт, присвячених розгляду питань пов'язаних з дослідженням плавності руху машинно-тракторних агрега-

тів [1–9]. Залежно від поставлених задач досліджень, прийнятої розрахункової схеми математичної моделі, а також при застосовуванні відповідного методу дослідження, в цих роботах приймався ряд припущень, які потребують узагальнення або подальшого розвитку та аналізу.

Оскільки дослідження плавності руху невід'ємно пов'язано з мікропрофілем земної поверхні, то доцільно провести, відповідний аналіз робіт. Визначенню мікропрофіля дорожньої поверхні присвячені роботи [10 – 12], в яких наведено декілька варіантів реалізації кривих кореляційних функцій та спектральних щільностей, а також сформовано математичні моделі, які визначають випадкову функцію мікропрофіля поверхні. Дані підходи доцільно використовувати в залежності від поставлених задач, адже вони вимагають додаткових розрахунків.

Постановка проблеми

Метою роботи є дослідження плавності руху машинно-транспортного агрегату з перемінною масою (напівпричіп- та причіп-цистернами) за рахунок моделювання коливальної системи транспортного засобу.

Для вирішення окресленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- навести результати моделювання руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою, при дослідженні впливу вимушених коливань на прямолінійний рух з напівпричіп- та причіп-цистернами;

- проаналізувати значення переміщення сидіння при варіюванні жорсткістю шин колісного трактора при виконанні транспортної роботи з напівпричіпним та причіпним агрегатом.

Основний матеріал дослідження

При перевезенні рідких вантажів в агропромисловому секторі використовуються причіп- та напівпричіп-цистерни, які мають однакову платформу. Основні їх конструктивні особливості складаються в функціональності. Сьогодні, відомо декілька різновидів тракторних цистерн (ємностей), які будуються на базі напівпричепа: одновісні (2 – 16 м³), двовісні (Tandem axle) (6 – 34 м³), трьохвісні (Tridem) (17 – 36 м³), чотирьохвісні (моделі: Jamesway Maxx-Trac Dura-Tech (15 – 38,6 м³), Garant Kotte Quadro (30 – 32 м³), «Завод Кобзаренка» ВНЦ-36 (36 м³) і т.д.), а також причепа: двовісні (10 – 16 м³), тривісні (18 – 30 м³). Ходова система напівпричіп- та причіп-цистерни схожа з тракторними напівпричепами (балансирна – в випадку з двовісними та чотирьохвісними) та причепами – ресорна. Для трьохвісних причіп-цистерн використовується комбінована підвіска.

В даній роботі досліджується двовісні причіп- та напівпричіп-цистерни з об'ємом 20 м³. Разом з тим, цистерни експлуатуються з колісним трактором ХТЗ-242К. На рис. 1 наведено розрахункові схеми машинно-тракторного агрегату, що досліджується, де $y_T, y_1^m, y_2^m, y_K, y_C$ – вертикальне переміщення остову (рами), переднього та заднього мостів, кабіни, сидіння трактора; φ_T, φ_K – кут нахилу остову трактора та кабіни; y_{II}, y_3^m, y_4^m – вертикальне переміщення платформи, першого та другого мостів причіпного агрегату; φ_{II} – кут нахилу причіпного агрегату; x_k^p – рух рідини, яка приймає участь в коливальному процесі; x_T, x_{II} – поздовжній рух трактора та причіпного агрегату; x_K – поздовжній рух кабіни з сидінням; m_T – маса остову трактора (разом з двигуном та, для агрегату із причепом, половиною дишла); m_K – маса кабіни; m_C – маса сидіння (разом із трактористом), m_{II} – маса рами та оболонки цистерни (разом з дишлом або, для причепу, його половиною); m_k^p – маси поверх-

невих шарів рідини, де відбуваються низькочастотні коливання [13]; m_1, \dots, m_4 – маси мостів (разом із колесами); J_T^k – момент інерції моста трактора; J_m^{ob} – момент інерції маховика і валів двигуна; i_{tr} – передавальне відношення трансмісії від валу двигуна до осі колеса; r_k – радіус колеса трактора; J_T, J_K, J_{II} – моменти інерції при обертанні трактора (разом із мостами), кабіни (разом з трактористом) та цистерни (разом із рамою, мостами і рідиною) на кути $\varphi_T, \varphi_K, \varphi_{II}$ відносно їх центрів мас; $c_1^a, c_2^a, \dots, c_7^a$ – це жорсткість у вертикальному напрямку амортизаторів чи ресор мостів трактора і цистерни, опор кабіни, сидіння водія, відповідно; $c_1^u, c_2^u, \dots, c_4^u$ – сумарна радіальна жорсткість шин на відповідному мосту трактора або цистерни; c_x^o, c_y^o – жорсткість дишла у горизонтальному та вертикальному напрямках; c_k^p – коефіцієнти жорсткості зв'язку між шаром рідини та оболонкою цистерни, саме ці коефіцієнти використовуються у рівняннях низькочастотних коливань рідини [13]; $l_1 - l_6$ – це відстань від центру мас трактора або цистерни до їх мостів, опор кабіни, сидіння, відповідно; l_5^*, l_6^*, l_7^* – від центру мас кабіни до її опор і сидіння; l_T, l_{II} – від точок з'єднання дишла до центру мас трактора та цистерни (для напівпричіп-цистерни точкою з'єднання є гак трактора; для причіп-цистерни – гак трактора і шарнір дишла на рамі причепу); l_o – довжина дишла; R_x, R_y – поздовжня та вертикальна складова сили, яка прикладена до дишла з боку гаку трактора; $f_1 - f_7$ – коефіцієнти демпфірування; $f_1^u - f_4^u$ – сумарні коефіцієнти демпфірування шин на відповідному мосту трактора або цистерни.

Для подальшого дослідження необхідно навести початкові дані та математичний апарат, який описує пов'язані коливання машинно-тракторного агрегату та цистерни, але, оскільки матеріали даної статті є дослідницьким (адже вона є продовженням роботи [14]), то достатнім вважається наведення функції зміни мікропрофілю.

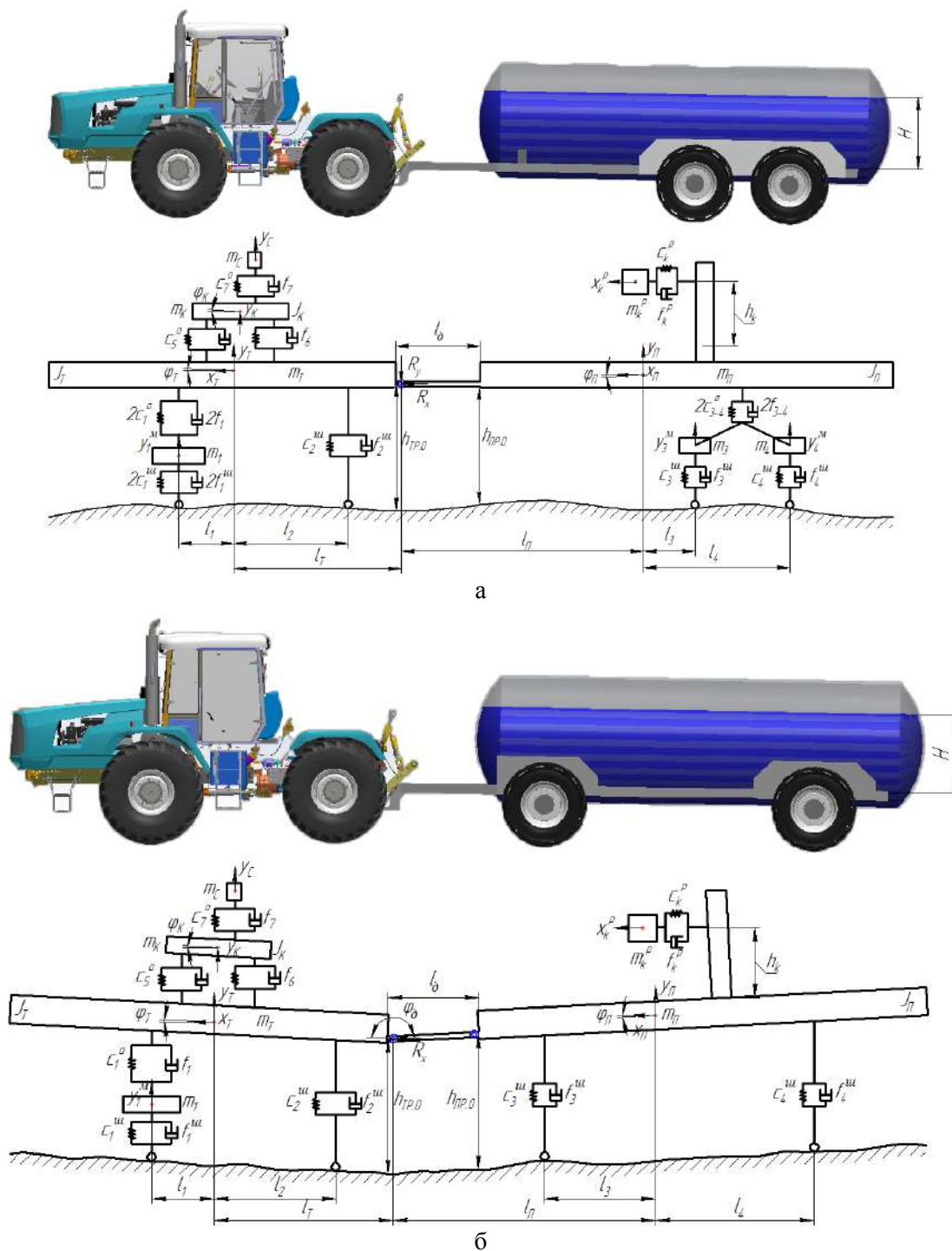


Рис. 1. Кінематична схема машинно-тракторного агрегату, що досліджується:
а – з напівпричіп-цистерною; б – з причіп-цистерною

Мікропрофіль земної поверхні достатньо описати за допомогою синусоїдального закону, а саме:

$$y_{ГР1} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi x_{ГР1}}{\Delta A}\right); \quad (1)$$

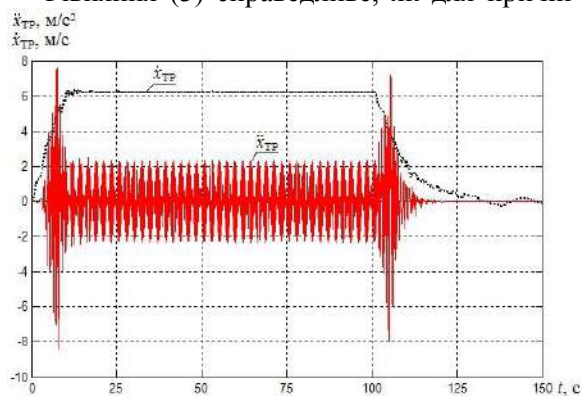
$$y_{ГР2} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(x_{ГР2} - (l_1 + l_2))}{\Delta A}\right); \quad (2)$$

$$y_{ГР3} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi\left(x_{ГР3} - \left(l_1 + l_{ГР} + l_{\delta} + l_{ПР} - l_3\right)\right)}{\Delta A}\right); \quad (3)$$

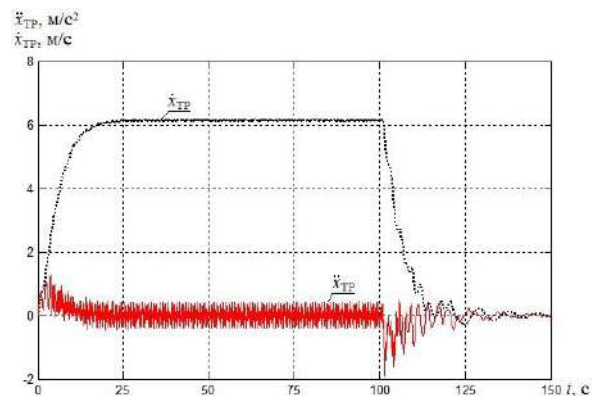
$$y_{ГР4} = A \cdot \sin \left(\frac{2\pi \left(x_{ГР} - \left(l_1 + l_{ГР} + l_0 + \begin{matrix} + \\ +l_{ГР} + l_4 \end{matrix} \right) \right)}{\Delta\lambda} \right), \quad (4)$$

де A – амплітуда мікроколивень нерівностей;
 $x_{ГР}$ – переміщення машинно-тракторного агрегату;
 $\Delta\lambda$ – довжина хвилі мікроколивень.

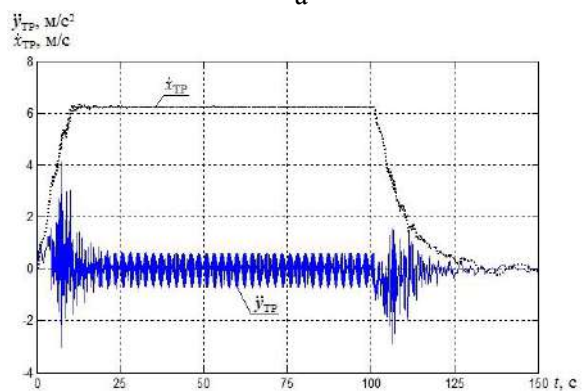
Рівняння (3) справедливе, як для причіп-



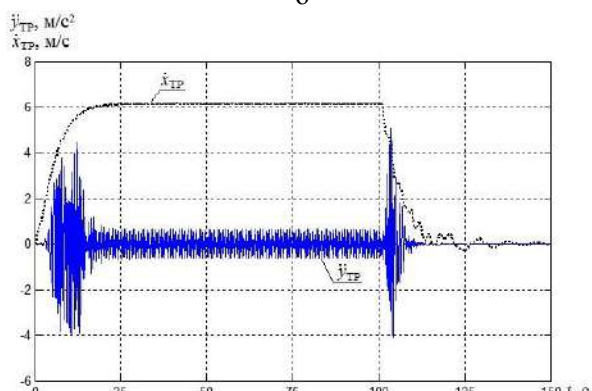
а



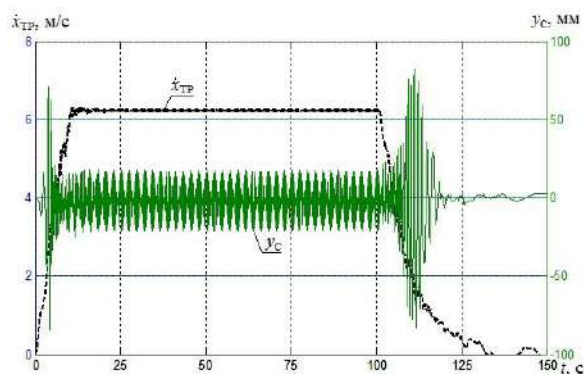
б



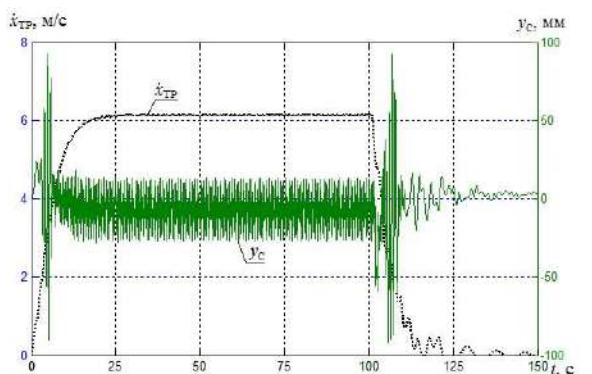
в



г



д



е

Рис. 3. Результати моделювання руху машинно-тракторного агрегату з напівпричіп- (а, в, д) та причіп-цистерною (б, г, е): а, б – горизонтальні прискорення; в, г – вертикальні прискорення; д, е – переміщення сидіння тракториста

На рис. 3 наведено результати моделювання вертикальних та горизонтальних прискорень трактора та переміщення сидіння з

цистерни, так і для напівпричіп-цистерни. Проте для напівпричіп-цистерни значення l_3 використовується зі знаком «+» (рис. 1), а для причіп-цистерни – зі знаком «-» (рис. 2).

Задля дослідження плавності руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою доцільно проводити оцінку по таким параметрам, як вертикальні та горизонтальні прискорення трактора та переміщення сидіння трактора.

урахуванням всіх етапів руху машинно-тракторного агрегату.

Машинно-тракторний агрегат прямолі-

нійно рухається по асфальтобетонній поверхні, цистерна заповнена на висоту 1,6 м (дана величина обумовлена тим, що при ній спостерігаються найбільший вплив на коливальну систему машинно-тракторного агрегату [14] з урахуванням максимального заповнення на висоту 1,9 м). При моделюванні в математичну модель закладався однаковий тиск в шинах трактора ($p_{ш} = 140$ кПа), тобто жорсткість передніх та задніх шин 23,1R-26 дорівнювала 414 кН/м.

Аналізуючи отримані значення, можна зробити висновок, що на горизонтальні прискорення машинно-тракторного агрегату (рис. 3, а та б) коливання рідини в цистерні мають більший вплив при транспортуванні напівпричіпного агрегату, ніж причіпного. Дане спостереження свідчить про те, що виконання транспортної роботи машинно-тракторним агрегатом з напівпричіп-цистерною має більші енергетичні витрати, а з причіп-цистерною на динамічні складові

руху. Даний факт також підтверджується і при дослідженні вертикальних коливань (рис. 3, в та г).

Переміщення сидіння тракториста при сталому русі, як при виконанні транспортної роботи з напівпричіп-цистерною, так і з причіп-цистерною, має однакове максимальне значення коливань, різниця складається лише в їх частотних характеристиках.

Актуальним є дослідження при варіюванні параметром жорсткості шин колісного трактора. Так в роботі виконано аналіз показника переміщення сидіння тракториста при однаковому тиску передніх та задніх коліс трактора. При дослідженні трактор прямолінійно рухається по асфальтобетонній поверхні; цистерна заповнена на висоту 1,6 м; тиск в шинах варіювався від $p_{ш} = 60$ кПа до $p_{ш} = 160$ кПа, при цьому жорсткість шин дорівнювала 280 – 447 кН/м. Результати моделювання при сталому русі наведено на рис. 4.

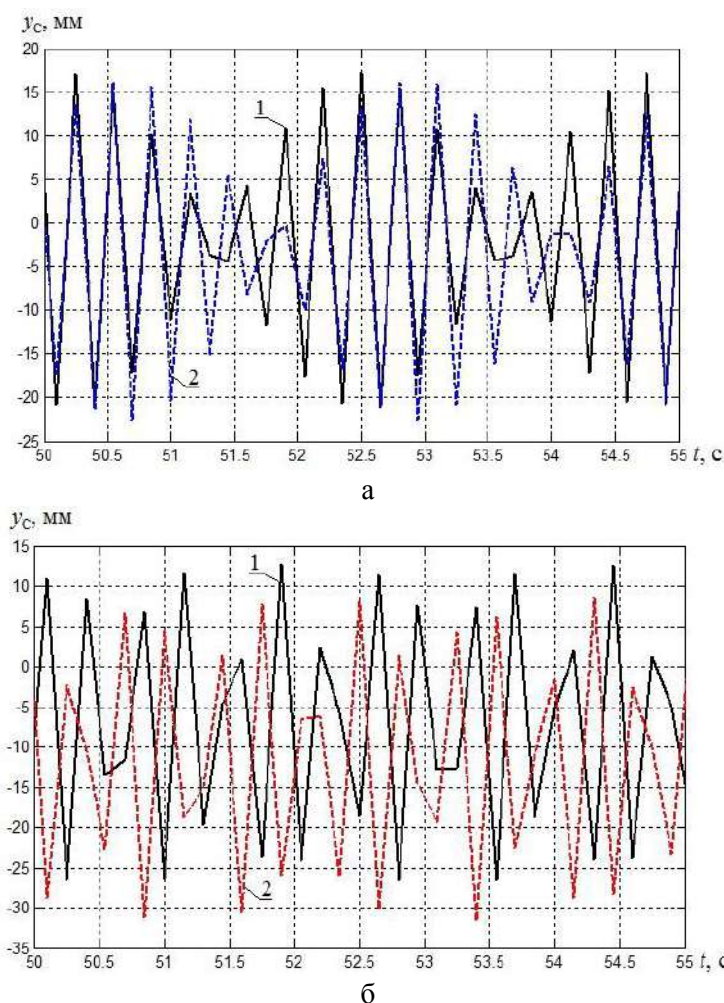


Рис. 4. Результати моделювання при сталому русі машинно-тракторного агрегату: а – з напівпричіп-цистерною; б – з причіп-цистерною; 1 – при жорсткості шин трактора 280 кН/м; 2 – при жорсткості шин трактора 447 кН/м

Як видно з результатів, при транспортуванні напівпричіп-цистерни варіювання жорсткістю коліс не значним чином впливає на показник переміщення сидіння тракториста, адже співпадає частотна характеристика, тому при порівнянні по значенням максимальних амплітуд різниця складає 5%. В випадку з причіп-цистерною частотна характеристика не співпадає, а різниця значень максимальних амплітуди коливань досягає 15%.

Висновки

В матеріалах даної роботи окреслено вплив на машинно-тракторний агрегат з перемінною масою вимушених коливань при прямолінійному русі. Встановлено, що при виконанні транспортної роботи з напівпричіп-цистерною дія коливань має істотний вплив на енергетичну складову, а з причіп-цистерною – на динамічні складові руху. Також визначено, що при варіюванні радіальною жорсткістю шин колісного трактора вплив на значення переміщення сидіння тракториста при транспортуванні з напівпричіп-цистерною, здійснено не суттєво, а з причіп-цистерною – різниця величини амплітуди коливань досягає 15%.

Література

1. Scarlett A.J., Price J.S., Stayner R.M. Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of terramechanics*. 2007. № 44 (1). P. 65 – 73.
2. Muzammil M., Siddiqui S.S., Hasan F. Physiological effect of vibrations on tractor drivers under variable ploughing conditions. *Journal of occupational health*. 2004. № 46 (5). P. 403 – 409.
3. Fornaciari L., Pochi D., Vassalini G., Gallucci F. Investigation of the vibrations transmitted by agricultural tractor to the driver under operative conditions. *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems*. 2008.
4. Gomez-Gil J., Gomez-Gil F., Martin-de-Leon R. The influence of tractor-seat height above the ground on lateral vibrations. *Sensors*. 2014. № 14 (10). P. 19713 – 19730.
5. Singh G.K. Effect of whole-body vibration on vehicle operators: a review. *International Journal of Science and Research*. 2014. Т. 3. № 7. P. 320 – 323.
6. Оберемок В.А., Аванесян А.М., Демьяновский

К.Н., Меликов И.М. Анализ влияния характеристик подвески и шин на нагруженность колес автомобиля при движении по стерневому фону. *Научный журнал КубГАУ*. Краснодар, 2015. № 109. С. 971 – 980.

7. Сазонов И.С., Ким В.А., Амельченко Н.П., Билык О.В., Билык С.Ю. Гашение низкочастотных колебаний на сиденье водителя колесного трактора. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2014. № 4 (45). С. 60 – 70.
8. Кальченко Б.І., Чернявський І.С., Кожушко А.П. Підхід до визначення завантаженості трансмісії колісного трактора при впливі нерівностей поверхні. *Науковий журнал технічний сервіс, агропромислового, лісового та транспортного комплексу*. Харків, 2017. № 8. С. 49 – 54.
9. Кальченко Б.І., Ребров О.Ю., Кожушко А.П., Мамонтов А.Г. Плавність руху як складова динаміки трактора: монографія. Харків, 2018. 164 с.
10. Александрова Т.Е., Александрова И.Е., Беляев С.Н. Имитационное моделирование внешних возмущений, действующих на танковую пушку. *Механика та машинобудування*. 2011. № 1. С. 43 – 50.
11. Кальченко Б.І., Кожушко А.П., Кісельов А.Р. Оцінка плавності руху самохідної машини при впливі нерівностей поверхні. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2017. № 30 (1252). С. 56 – 63.
12. Белецкий А.В. Моделирование профиля дорожного основания в задаче анализа динамики трансмиссии колесной машины, 2010. URL: <http://sdm.str-t.ru/insertfiles/5.pdf> (дата звернення 02.04.2019).
13. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Математичне моделювання низькочастотних коливань в'язкої рідини в горизонтальній ємності з вільною поверхнею. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2018. № 3 (1279). С. 41 – 51.
14. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Моделювання пов'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямому шляху зі складним рельєфом. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2018. № 27 (1303). С. 34 – 61.

References

1. Scarlett A.J., Price J.S., Stayner R.M. (2007) Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of terramechanics*, 44(1), 65 – 73.
2. Muzammil M., Siddiqui S.S., Hasan F. (2004) Physiological effect of vibrations on tractor driv-

- ers under variable ploughing conditions. *Journal of occupational health*, 46(5), 403 – 409.
3. Fornaciari L., Pochi D., Vassalini G., Gallucci F. (2008) Investigation of the vibrations transmitted by agricultural tractor to the driver under operative conditions. *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems*.
 4. Gomez-Gil J., Gomez-Gil F., Martin-de-Leon R. (2014) The influence of tractor-seat height above the ground on lateral vibrations. *Sensors*, 14(10), 19713 – 19730.
 5. Singh G.K. (2014) Effect of whole-body vibration on vehicle operators: a review. *International Journal of Science and Research*, 3(7), 320 – 323.
 6. Oberemok V.A., Avanesyan A.M., Demyanovskiy K.N., Melikov I.M. (2015) Analiz vliyaniya harakteristik podveski i shin na nagruzhennost koles avtomobilya pri dvizhenii po sternevomu fonu [Analysis of the influence of the characteristics of the suspension and tires on the loading of the wheels of the car when driving on a stubble background]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU. Krasnodar*, 109, 971 – 980 [in Russian].
 7. Sazonov I.S., Kim V.A., Amelchenko N.P., Bilyik O.V., Bilyik S.Yu. (2014) Gashenie nizkochastotnykh kolebaniy na sidene voditelya kolesnogo traktora [Suppression of low-frequency vibrations in the seat of a wheeled tractor driver]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta [Bulletin of the Belarusian-Russian University]*, 4 (45), 60 – 70 [in Russian].
 8. Kal'chenko B.I., Chernyavs'kyu I.S., Kozhushko A.P. (2017) Pidkhid do vyznachennya zavantazhenosti transmissiyi kolisnogo traktora pry vplyvi nerivnostey poverkhni [Approach to determination of load of transmission of a wheeled tractor under the influence of surface irregularities]. *Naukovyy zhurnal tekhnichnyy servis, ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnogo kompleksu, Kharkiv*, 8, 49 – 54 [in Ukrainian].
 9. Kalchenko B.I., Rebrov A.Y., Kozhushko A.P., Mamontov A.G. (2018) Plavnist rukhu yak skladova dynamiky traktora [Smoothness of motion as a component of tractor dynamics]. *Monohrafiya*, 164 p [in Ukrainian].
 10. Aleksandrova T.E., Aleksandrova I.E., Beljaev S.N. (2011) Imitacionnoe modelirovanie vneshnih vozmushhenij, dejstvujushchih na tankovuju pushku [Simulation modeling of external perturbations acting on a tank gun]. *Mehanika ta mashinobuduvannja*, 1, 43 – 50 [in Russian].
 11. Kalchenko B.I., Kozhushko A.P., Kiselev A.R. (2017) Otsinka plavnosti rukhu samokhidnoi mashyny pry vplyvi nerivnostei poverkhni [Evaluation smooth movement of transport machinery when exposed irregularities]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 30 (1252), 56 – 63 [in Ukrainian].
 12. Beleckij A.V. (2010) Modelirovanie profilja dorozhnogo osnovanija v zadache analiza dinamiki transmissii kolesnoj mashyny [Modeling of the road foundation profile in the task of analyzing the dynamics of the transmission of a wheeled vehicle]. Retrieved from: <http://sdm.str-t.ru/insertfiles/5.pdf> (accessed: 02.04.2019).
 13. Kozhushko A.P., Grigoriev A.L. (2018) Matematyчне modeliuвання nyzkochastotnykh kolyvan viazkoi ridyny v horyzontalnii yemnosti z vilnoiu poverkhneiu [Mathematical modelling of low-frequency oscillations of viscous fluid in horizontal container with free surface]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 3 (1279), 41 – 51 [in Ukrainian].
 14. Kozhushko A.P., Grygoriev A.L. (2018) Modeliuвання poviazanykh kolyvan kolisnogo traktora ta tsystemy z ridynoiu na priamomu shliakhu zi skladnym reliefom [Modeling of coupled oscillations of wheeled tractors and tanks with liquid on a straight road with difficult terrain]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 27 (1303), 34 – 61 [in Ukrainian].

Кожушко Андрій Павлович¹, к.т.н., доц. кафедри автомобіле- та тракторобудування, e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com, тел.: (057) 707 – 64 – 64,

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, Харків, 61002, вул. Кирпичова, 2

Investigating ride quality of the machine-tractor unit with a variable mass during transport work

Abstract. *The disclosure of issues related to solving problems of transport work has always been relevant. Today, in the study of types of transport works used in agriculture, there is a problem in the study of the movement of machine-tractor unit with trailed or semi-trailer tanks, which are filled with liquid. Since the transportation of liquid cargo causes significant internal oscillations, the impact on the operation of the wheeled tractor and tank is significant. This process causes longitudinal and transverse instability, which contributes to the increase of both energy costs and emergency situations (there is an effect on vibrations of motion, controllability and stability of the vehicle, increasing the dynamic loading of the running system, etc.). The*

goal of the work is to study the smoothness of the machine-transport unit with variable weight (semitrailer-tank and tank-trailer) by simulating the vibrational system of the vehicle. Namely, to study the effect of forced oscillations on the movement of a semi-trailer tank and a trailer tank, as well as when varying the rigidity of the tires of the wheeled tractor. In solving the set goal, a methodology was used which included the analysis of the results of mathematical modeling of the vibration of the wheeled tractor and the tank with a liquid containing a free surface in the dynamic solution of the problem. The model used takes into account the redistribution of liquid in the tank, which is caused by fluctuations of the shell, using the characteristics of the Rayleigh surface waves. As a result, the data of theoretical research, which take into account the variable weight of the semi-trailer and trailer unit during the performance of the machine-tractor unit of transport work with varying rigidity of tires, is obtained. The originality is in determining the dependence of the rigidity index of the wheels of the wheeled tractor on the smoothness of the machine-tractor unit with a semi-trailer and trailer tanker. The practical value of the work is in the recommendations on the use of one or another pressure in the tires of the wheeled tractor during operation.

Key words: *wheeled tractor, transport work, tank, vibrations, mass redistribution.*

Kozhushko Andriy¹, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associated Professor at the Department of Car and Tractor Industry, Andreykozhushko7@gmail.com
tel. (057) 707 - 64 - 64,

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Исследование плавности движения машинно-тракторного агрегата с переменной массой при выполнении транспортной работы

Аннотация. *Приведены результаты моделирования связанных колебаний машинно-тракторного агрегата с полуприцеп- и с прицеп-цистерной в процессе прямолинейного движения при выполнении транспортной работы. Установлено влияние значения радиальной жесткости шин колесного трактора на горизонтальные, вертикальные ускорения и перемещения сиденья тракториста при выполнении транспортной работы с цистерной.*

Ключевые слова: *колесный трактор, транспортная работа, цистерна, колебания, перераспределение масс.*

Кожушко Андрей Павлович¹, к.т.н., доц. каф. автомобиле- и тракторостроения, e-mail:

Andreykozhushko7@gmail.com,

тел.: (057) 707 - 64 - 64,

¹Харьковский национальный университет «Харьковский политехнический институт», Украина, Харьков, 61002, ул. Кирпичева, 2

РАЦІОНАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ РОЗГОНОМ ПОВНОПРИВІДНОГО ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Подригало М. А.¹, Кайдалов Р. О.², Кудімов С. А.², Єфімчук В. М.³

¹Харківський Національний автомобільно-дорожній університет

²Національна академія Національної гвардії України

³Кременчуцька автошкола №1

Анотація. Виконано дослідження раціональних законів управління тяговими моментами на колесах повнопривідного електромобіля. Отримані аналітичні вирази управління тяговими моментами електродвигунів, що забезпечують стійкість машини при розгоні з найменшими витратами потужності та з максимально можливою інтенсивністю.

Ключові слова: електромобіль, стійкість руху, прискорення, витрати потужності, тягові моменти.

Вступ

Застосування автомобілів з електроприводом ведучих коліс дозволяє не тільки знизити витрати енергії на рух [1], але й підвищує стійкість машини при розгоні за рахунок регулювання розподілу тягових зусиль (моментів) між колесами передньої і задньої осей автомобіля [2].

У цій статті наведені результати дослідження раціональних законів управління тяговими моментами на колесах повнопривідного електромобіля, що забезпечують стійкість машини як при розгоні з найменшими витратами потужності, так і при розгоні з максимально можливою інтенсивністю.

Отримані результати можуть бути використані також при створенні автомобілів з комбінованою енергетичною установкою (гібридних автомобілів).

Аналіз публікацій

Дослідженню раціональних характеристик автомобіля при розгоні присвячені роботи [3, 4]. В роботі [3] визначено раціональний закон зміни лінійного прискорення автомобіля \dot{V}_a при розгоні, що забезпечує максимальне збільшення лінійної швидкості V_a при найменших витратах потужності двигуна. Зазначений закон має такий вигляд:

$$(\dot{V}_a)_{\text{рац}} = \frac{8gf}{\delta_{\text{сп}}} \frac{\frac{2}{3} \frac{m_a g f}{C_x \rho F} + V_a^2}{\left(\frac{2}{3} \frac{m_a g f}{C_x \rho F} - V_a^2 \right)^2} V_a^2, \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння;

f – коефіцієнт опору коченню коліс;

δ_{ob} – коефіцієнт обліку обертових мас трансмісії і двигуна;

m_a – маса автомобіля;

C_x – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;

ρ – щільність повітря;

F – площа лобового перетину (мідель) автомобіля;

V_a – лінійна швидкість автомобіля.

Для повнопривідного автомобіля при реалізації граничних сил по зчепленню ведучих коліс з дорогою отриманий вираз [1]:

$$(\dot{V}_a)_{\text{гран}} = \frac{g\varphi - \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2}{\delta_{\text{сп}}}, \quad (2)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс з дорогою.

В роботі [4] визначено, що, за умови забезпечення курсової стійкості автомобіля при розгоні, його прискорення не повинно перевищувати $(\dot{V}_{act})_{\text{max}}$ яке може бути визначене з виразу (3).

В роботі [4] визначено коефіцієнт розподілу сумарної дотичної реакції на передню вісь, ідеальний з точки зору забезпечення стійкості автомобіля при розгоні (4).

$$(\dot{V}_{acm})_{max} = \varphi g \frac{\frac{b}{a} \frac{h-r_d}{L}}{0,5 \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \left[K_R^2 - \left(\varphi \frac{h-r_d}{L} \right)^2 \right] - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2, \quad (3)$$

$$K_R^{i0} = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right) - \frac{a^2}{b^2}} \left\{ 1 - \varphi^2 \frac{h-r_d}{b} \left[\frac{2g \frac{a}{L}}{\dot{V}_a + \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2} - \frac{h-r_d}{L} \left(1 - \frac{a}{b} \right) \right] \right\}}{1 - \frac{a^2}{b^2}}, \quad (4)$$

де r_d – динамічний радіус ведучих коліс;

a, b – відстань від передньої і задньої осей автомобіля до проекції центра мас на горизонтальну площину, що проходить через ці вісі (горизонтальні координати центру мас автомобіля);

h – висота центру мас автомобіля;

K_R – коефіцієнт розподілу сумарної дотичної реакції на колеса передньої осі автомобіля [5];

$$K_R = \frac{R_{\kappa_1}}{R_{\kappa_1} + R_{\kappa_2}}, \quad (5)$$

де $R_{\kappa_1}, R_{\kappa_2}$ – сумарні дотичні реакції дороги на колесах передньої і задньої осей автомобіля відповідно [6];

L – повздовжня колісна база автомобіля [7];

$$L = a + b. \quad (6)$$

В роботі [4] також визначено сумарні крутні моменти на колесах передньої і задньої осей, ідеальні з точки зору забезпечення курсової стійкості автомобіля при розгоні, які при прийнятті $r_k = r_d$ визначаються:

$$M_{\kappa_1}^{i0} = m_a r_d \left[\left((\dot{V}_a)_{pauc} + \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2 \right) K_R^{i0} + fg \left(\frac{b}{L} - \frac{R_K}{m_a g} \frac{h-r_d}{L} \right) + \frac{J_{\kappa_1}}{m_a r_d^2} (\dot{V}_a)_{pauc} \right], \quad (7)$$

$$M_{\kappa_2}^{i0} = m_a r_d \left[\left((\dot{V}_a)_{pauc} + \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2 \right) (1 - K_R^{i0}) + \right.$$

$$\left. + fg \left(\frac{a}{L} + \frac{R_K}{m_a g} \frac{h-r_d}{L} \right) + \frac{J_{\kappa_2}}{m_a r_d^2} (\dot{V}_a)_{pauc} \right], \quad (8)$$

де $J_{\kappa_1}, J_{\kappa_2}$ – моменти інерції обертових мас трансмісії та двигуна, приведені до коліс передньої і задньої осей автомобіля відповідно;

R_K – сумарна дотична реакція дороги на всіх колесах автомобіля:

$$R_K = R_{\kappa_1} + R_{\kappa_2}. \quad (9)$$

Однак у відомих дослідженнях [3,4] не визначені закони управління тяговими моментами електродвигунів передніх і задніх коліс, ідеальні за умовою як розгону з мінімальними витратами потужності, так і за умови забезпечення курсової стійкості автомобіля. Також не розглянуто закони управління тяговими моментами при розгоні на межі втрати зчеплення ведучих коліс з дорогою.

Ціль та постановка завдання

Метою дослідження є підвищення курсової стійкості і енергетичної ефективності при розгоні повнопривідних електромобілів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити закон управління тяговими моментами на колесах, що забезпечує стійкість електромобіля при розгоні з найменшими витратами потужності;

- визначити закони управління тяговими моментами на колесах, які забезпечують стійкість електромобіля при розгоні на межі зчеплення коліс з дорогою.

Визначення крутних моментів на колесах автомобіля для розгону

Визначимо ідеальний сумарний крутний момент на всіх колесах автомобіля при розгоні з найменшими витратами потужності. Для цього підсумуємо ліві і праві частини рівнянь (7) і (8):

$$\sum M_K^{i0} = M_{K_1}^{i0} + M_{K_2}^{i0} = m_a r_d [(\dot{V}_a)_{\text{paц}} \times \left(1 + \frac{J_{k_1} + J_{k_2}}{m_a r_d^2} \right) + fg + \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2]. \quad (10)$$

Підставляючи вираз (1) в рівняння (10) і враховуючи, що:

$$1 + \frac{J_{k_1} + J_{k_2}}{m_a r_d^2} = \delta_{o\delta}, \quad (11)$$

з рештою отримаємо :

$$\sum M_K^{i0} = m_a r_d \left\{ fg + \left[\frac{\frac{2 m_a g f}{3 C_x \rho F} + V_a^2}{\left(\frac{2 m_a g f}{3 C_x \rho F} - V_a^2 \right)^2} + \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2 \right] \right\} \quad (12)$$

Вираз (12) дозволяє визначити сумарний крутний момент на всіх колесах автомобіля, ідеальний за умовою розгону з мінімальними витратами потужності.

Перетворивши вирази (7) і (8), і, нехтуючи величиною вищого порядку малості [8]:

$$fg \frac{R_K}{m_a g} \frac{h - r_d}{L} \cong 0, \quad (13)$$

отримаємо:

$$M_{K_1}^{i0} = m_a r_d [(\dot{V}_a)_{\text{paц}} \left(K_R^{i0} + \frac{J_{k_1}}{m_a r_d^2} \right) + \frac{C_x \rho F}{2m_a} K_R^{i0} V_a^2 + fg \frac{b}{L}], \quad (14)$$

$$M_{K_2}^{i0} = m_a r_d [(\dot{V}_a)_{\text{paц}} \left(1 - K_R^{i0} + \frac{J_{k_2}}{m_a r_d^2} \right) + \frac{C_x \rho F}{2m_a} (1 - K_R^{i0}) V_a^2 + fg \frac{a}{L}]. \quad (15)$$

Підставляючи рівняння (1) у вирази (14) і (15) отримаємо після перетворень:

$$M_{K_1}^{i0} = m_a r_d \left\{ fg \frac{b}{L} + \left[\frac{8gf \left(K_R^{i0} + \frac{J_{k_1}}{m_a r_d^2} \right)}{\delta_{o\delta}} \times \frac{\frac{2 m_a g f}{3 C_x \rho F} + V_a^2}{\left(\frac{2 m_a g f}{3 C_x \rho F} - V_a^2 \right)^2} + \frac{C_x \rho F}{2m_a} K_R^{i0} V_a^2 \right] \right\}, \quad (16)$$

$$M_{K_2}^{i0} = m_a r_d \left\{ fg \frac{a}{L} + \left[\frac{8gf \left(1 - K_R^{i0} + \frac{J_{k_2}}{m_a r_d^2} \right)}{\delta_{o\delta}} \times \frac{\frac{2 m_a g f}{3 C_x \rho F} + V_a^2}{\left(\frac{2 m_a g f}{3 C_x \rho F} - V_a^2 \right)^2} + \frac{C_x \rho F}{2m_a} (1 - K_R^{i0}) V_a^2 \right] \right\}. \quad (17)$$

Беручи в рівнянні (5) $\dot{V}_a = (\dot{V}_a)_{\text{paц}}$ визначимо K_R^{i0} для розгону автомобіля з найменшими додатковими витратами потужності двигуна (18).

При реалізації граничних сил по зчепленню ведучих коліс з дорогою ідеальний коефіцієнт розподілу сумарної дотичної реакції на передню вісь буде визначено після підстановки виразу (2) в рівняння (5). В результаті отримаємо рівняння (19)

$$K_R^{i\theta} = \frac{1 - \left[1 - \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right) \left\{ 1 - \varphi^2 \frac{h-r_d}{b} \left[\frac{2g \frac{a}{L}}{\frac{C_x \rho F}{2m_a} + \frac{8gf}{\delta_{ob}} \frac{\frac{2m_a g f}{3 C_x \rho F} + V_a^2}{\left(\frac{2m_a g f}{3 C_x \rho F} - V_a^2 \right)^2} V_a^2} - \frac{h-r_d}{L} \left(1 - \frac{a}{b} \right) \right] \right\}}{1 - \frac{a^2}{b^2}}. \quad (18)$$

$$K_R^{i\theta} = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right) \left\{ 1 - \varphi \frac{h-r_d}{b} \left[2 \frac{a}{L} - \varphi \frac{h-r_d}{L} \left(1 - \frac{a}{b} \right) \right] \right\}}}{1 - \frac{a^2}{b^2}}. \quad (19)$$

Сумарні крутний момент на колесах передньої і задньої осей при дотичних реакціях і рівних граничних силам зчеплення

$$R_{K_1} = \varphi R_{z_1}, \quad (20)$$

$$R_{K_2} = \varphi R_{z_2}, \quad (21)$$

будуть дорівнювати:

$$\left(M_{K_1}^{i\theta} \right)_{cy} = r_d \varphi R_{z_1} + M_{f_1} + J_{K_1} \dot{\omega}_{K_1}, \quad (22)$$

$$\left(M_{K_2}^{i\theta} \right)_{cy} = r_d \varphi R_{z_2} + M_{f_2} + J_{K_2} \dot{\omega}_{K_2}, \quad (23)$$

де $R_{z_1}; R_{z_2}$ – сумарні нормальні реакції дороги на колесах передньої і задньої осей автомобіля;

$M_{f_1}; M_{f_2}$ – сумарні моменти опору каченню передніх і задніх їх коліс відповідно;

$\dot{\omega}_{K_1}; \dot{\omega}_{K_2}$ – кутові прискорення передніх і задніх коліс автомобіля.

Враховуючи, що

$$M_{f_1} = f R_{z_1} r_d, \quad (24)$$

$$M_{f_2} = f R_{z_2} r_d, \quad (25)$$

перетворимо (22) та (23) до вигляду:

$$\begin{aligned} \left(M_{K_1}^{i\theta} \right)_{3y} &= R_{z_1} r_d (\varphi + f) + J_{K_1} \dot{\omega}_{K_1} = \\ &= R_{z_1} r_d (\varphi + f) + J_{K_1} \frac{\dot{V}_a}{r_d}, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \left(M_{K_2}^{i\theta} \right)_{3y} &= R_{z_2} r_d (\varphi + f) + J_{K_2} \dot{\omega}_{K_2} = \\ &= R_{z_2} r_d (\varphi + f) + J_{K_2} \frac{\dot{V}_a}{r_d}. \end{aligned} \quad (27)$$

Сумарний крутний момент на всіх колесах автомобіля в зазначеному випадку буде визначатися

$$\begin{aligned} \sum \left(M_K^{i\theta} \right)_{3y} &= \left(M_{K_1}^{i\theta} \right)_{3y} + \left(M_{K_2}^{i\theta} \right)_{3y} = \\ &= m_a g r_d (\varphi + f) + \frac{J_{K_1} + J_{K_2}}{r_d} \dot{V}_a = \\ &= m_a r_d \left[g (\varphi + f) + \frac{J_{K_1} + J_{K_2}}{m_a r_d^2} \dot{V}_a \right] = \\ &= m_a r_d [g (\varphi + f) + (\delta_{ob} - 1) \dot{V}_a] = \\ &= m_a g r_d \left[\varphi + f + (\delta_{ob} - 1) \frac{\dot{V}_a}{g} \right]. \end{aligned} \quad (28)$$

Висновки

Отримані аналітичні вирази дозволяють скласти алгоритм управління електродвигунами передніх і задніх коліс автомобіля при розгоні з мінімальними додатковими витратами потужності двигуна при розгоні з максимальною інтенсивністю.

Література

1. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Гнатов А. В., Колесніков А. В. Гібридні автомобілі. Х.: ХНАДУ, 2008. 327 с.
2. Баулина Е. Е., Круташов А. А., Серебряков В. В., Филонов А. И. Влияние межосевого

- перераспределения мощности на управляемость и устойчивость полноприводного автомобиля с комбинированной энергетической установкой. Журнал автомобильных инженеров. Москва, 2015. № 3. С. 34–37.
3. Кайдалов Р. О., Подригало М. А. Рациональна динамічна характеристика автомобіля. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця, 2017. № 2. С. 78–85.
 4. Подригало М. А., Бажинов О. В., Кайдалов Р. О., Глущенко В. В., Кудімов С. А. Синтез раціональних законів управління розподілом крутних моментів між осями при розгоні автомобіля. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця, 2018. №2. С. 85–95.
 5. Абрамов Д. В., Подригало Н. М., Подригало М. А., Полянський О. С., Файст В. Л. Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів: монографія. Харків, ХНАДУ, 2014. 204 с.
 6. Сахно В. П., Поляков В. М., Костенко А. В., Сакно О. П., Лукічов О. В., Петров О. В., Мойся Д. Л. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів: навчальний посібник в 3 ч. Донецьк. Вид-во «Ноулідж», 2015. ч. 3. 400 с.
 7. Фалькевич Б. С. Теория автомобиля. М.: ГНТИМЛ, 1963. 241 с.
 8. Дубовик В. П., Юрик І. І. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч.закл, 4-те вид. К.: Ігнатекс-Україна., 2013. 648 с.
- References**
1. Bazhynov O. V., Smyrnov O. P., Sierikov S. A., Hnatov A. V., Koliesnikov A. V. (2008) Hibrydni avtomobili [Hybrid cars]. Kh.: KhNADU. [in Ukrainian]
 2. Baulina E. E., Krutashov A. A., Serebryakov V. V., Filonov A. I. (2015) Vliyanie mezhozovogo pereraspredeleniya moshnosti na upravlyaemost i ustojchivost polnoprivodnogo avtomobilya s kombinirovannoj energeticheskoy ustanovkoj. [Influence of inter-axial redistribution of power on the handling and stability of a four-wheel drive vehicle with a combined power plant]. Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov. Moskva, 3. 34-37. [in Russian]
 3. Kaidalov R. O., Podryhalo M. A. (2017) Ratsionalna dynamichna kharakterystyka avtomobilya. [Rational dynamic performance of the car]. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. Vinnytsia, 2. 78–85. [in Ukrainian]
 4. Podryhalo M. A., Bazhynov O. V., Kaidalov R. O., Hlushchenko V. V., Kudimov S. A. (2018) Syntez ratsionalnykh zakoniv upravlinnia rozpodilom krutnykh momentiv mizh osiamy pry rozghoni avtomobilya [Synthesis of rational laws governing the distribution of torque between axles when driving a car]. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. Vinnytsia, 2. 85–95. [in Ukrainian]
 5. Abramov D. V., Podryhalo N. M., Podryhalo M. A., Polianskyi O. S., Faist V. L. (2014) Dynamichni vlastyivosti i stabilnist funktsionuvannia avtotransportnykh zasobiv: monohrafiia. [Dynamic properties and stability of the functioning of vehicles: monograph]. Kharkiv, KhNADU. [in Ukrainian]
 6. Sakhno V. P., Poliakov V. M., Kostenko A. V., Sakno O. P., Lukichov O. V., Petrov O. V., Moisia D. L. (2015) Ekspluatatsiini vlastyivosti avtotransportnykh zasobiv: navchalnyi posibnyk v 3 ch. [Operational properties of motor vehicles: a manual at 3]. Donetsk. Vyd-vo «Noulidzh», 3. [in Ukrainian]
 7. Falkevich B. S. (1963) Teoriya avtomobilya. [Car theory]. M.: GNTIML. [in Russian]
 8. Dubovyk V. P., Yuryk I. I. (2013) Vyshcha matematika. [Higher mathematics]. Navch. posib. dlia stud. vyshch. na-vch.zakl, 4-te vyd. K.: Ihnateks-Ukraina. [in Ukrainian]
- Подригало Михайло Абович**¹, д.т.н., професор, тел. +380503011658, e-mail: pmikhab@gmail.com
Кайдалов Руслан Олегович², доктор технічних наук, доцент, полковник, тел. +380676823984, e-mail: kaidalov.76@ukr.net
Кудімов Сергій Анатолійович², ад'юнк, підполковник, тел.+380500459531, e-mail: kudimov81@ukr.net
Єфімчук Валентин Михайлович³, викладач, тел.+380507253616, e-mail: valya.efimchuk@gmail.com
- ¹Харківський Національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого 25,
²Національна академія Національної гвардії України, 61001, Україна, м. Харків, майдан Захисників України, б.3,
³Кременчуцька автошкола № 1, 36900, Полтавська область, м. Кременчук, вул. Халаменюка 8.
- Рациональное управление разгоном полноприводного электрообомобиля**
Аннотация. *Выполнены исследования рациональных законов управления тяговыми моментами на колесах полноприводного электрообомобиля. Полученные аналитические выражения управления тяговыми моментами электродвигателей, обеспечивающих устойчивость машины при разгоне с наименьшими затратами мощности и с максимально возможной интенсивностью.*
Ключевые слова *электрообомобиль, устойчивость движения, ускорение, потери мощности, тяговые моменты.*
- Подригало Михаил Абович**¹, доктор технических наук, профессор, тел. +380503011658, e-mail: pmikhab@gmail.com.
Кайдалов Руслан Олегович², доктор техничес-

ких наук, доцент, полковник, тел. +380676823984, e-mail: kaidalov.76@ukr.net.

Кудимов Сергей Анатолієвич², ад'юнкт, підполковник, тел. +380500459531, e-mail: kudimov81@ukr.net.

Ефимчук Валентин Михайлович³, преподаватель, тел. +380507253616, e-mail: valya.efimchuk@gmail.com

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

²Национальная академия Национальной гвардии Украины, Украина, 61001, г. Харьков, площадь Защитников Украины, д.3.

³Кременчуцкая автошкола № 1, 36900, Полтавская область, г. Кременчук, ул. Халаменюка 8.

Rational acceleration control of an all-wheel drive vehicle.

Abstract. Problem. The improvement of ability rating of vehicles is a topical task which provides the promptness of transportation, improves the performance efficiency of vehicles by means of increasing the vehicle average speed. High dynamic characteristics are provided by mounting the powerful power units and by using the combined propulsion systems and powering cars recently. Using cars with driving wheels' electric drive helps not only decrease energy consumption, but also increases car stability by regulating distribution of traction moments between the front and rear axles. **Goal.** The goal is to increase the course-keeping ability and power efficiency during the acceleration of all-wheel drive electric cars. **Methodology.** The provision of stability of vehicle movement is reached by the redistribution of total tangential reaction of a vehicle wheels. The power consumption of a power unit is determined with the

help of rational law of the acceleration ramp changing during the acceleration that provides the most possible increase of line speed. **Results.** The relations allow to create the algorithm of control of vehicle front and rear wheels' electric motors during the acceleration with the minimum of additional engine power consumption while accelerating with the maximum intensity that can be implemented both for electric cars and for cars with combined propulsion systems. **Originality.** The laws of driveline engine tractive effort torque control during the acceleration are obtained at the limit of a clutch fade of drive wheels with the road that determines the performance of maximum acceleration by cars. **Practical value.** Increasing of vehicle energy efficiency and providing of safety of traffic.

Key words: electric car, stability of movement, power consumption, tractive effort torque.

Podrigalo Mikhail¹, Doctor of Technical science, Professor, tel. +380503011658, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Kaidalov Ruslan², Doctor of Technical science, associate professor, colonel, tel. +380676823984, e-mail: kaidalov.76@ukr.net.

Kudimov Serhii², associate doctor, lieutenant colonel, tel.+380500459531, e-mail:kudimov81@ukr.net.

Yefimchuk Valentyn³, teacher, tel. +380507253616, e-mail: valya.efimchuk@gmail.com

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

²National Academy of National Guard of Ukraine, colonel, Ukraine, 61001, Kharkiv, maidan zakhystnykiv Ukrainy 3,

³Kremenchug driving school No. 1, Ukraine 36900, Kremenchuk. ul. Khalameniuka 8.

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ НАЯВНОСТІ В НІЙ МІНІМАЛЬНОГО МОМЕНТУ

Бакуменко В. Б.¹, Тарасова В. В.¹, Ручка О. О.¹,
Гнатів А. В.², Аргун Ш. В.², Тарасов К. С.²

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба,
Інститут цивільної авіації

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Асинхронний двигун (АД) має переваги над іншими типами електродвигунів, тому є найпоширенішим. Розглянуто метод розрахунку механічної характеристики АД при наявності в ній ділянки з явно вираженим мінімальним моментом. Проведено аналіз роботи АД базуючись на його Г-подібній схемі заміщення. Докладно розглянуті та проаналізовані механічні характеристики АД в різних режимах роботи. Розраховано механічну характеристику АД при наявності в ній мінімального моменту.*

***Ключові слова:** асинхронний двигун, механічна характеристика, мінімальний момент, формула Клосса, тяговий електропривод, електромобіль, система керування електроприводом.*

Вступ

Асинхронні електродвигуни (АД) є найпоширенішими серед існуючих. Це обумовлено простотою їх конструкції, високою надійністю, порівняно низькою вартістю, кращими масогабаритними показниками.

АД, як і двигуни постійного струму, мають властивість оборотності (робота і у режимі двигуна, і у генераторному режимі), можуть реалізовувати усі три відомі способи електричного гальмування: рекуперативне, противовмиканням і динамічне. Тому часто в якості основного двигуна у тяговому електроприводі електромобілів використовуються саме двигуни змінного струму (як асинхронні, такі синхронні) [1, 2].

Прикладом найвідоміших електромобілів, що використовують у якості тягових двигунів двигуни змінного струму є Tesla Model S та Tesla Model X (АД з короткозамкненим ротором); Nissan Leaf та Mitsubishi i-MiEV (синхронний двигуном (СД) з постійними магнітами) [3].

Зараз особливо широкого розповсюдження набуває асинхронний електропривод, що має векторне керування на базі сучасних статичних перетворювачів з мікропроцесорними контролерами [1, 2]. Однією з найважливіших характеристик двигуна є його механічна характеристика. Отже, базуючись на знаннях залежності моменту на валу електродвигуна від його швидкості обертання в різних режимах роботи, можна виконати якісне і ефекти-

вне (з точки зору витрат енергії та технічних можливостей двигуна) керування.

Аналіз публікацій

Через те, що електропривод використовується в різних галузях, застосовуються різні типи електродвигунів, наприклад, двигуни постійного струму, різноманітні асинхронні і синхронні двигуни, вентильні двигуни з постійними магнітами, реактивно-вентильні електродвигуни з самозбудженням і з незалежним збудженням, крокові двигуни тощо [4]. Але, як зазначалося вище, завдяки своїм перевагам, АД є найпоширенішими. Вони складають майже 90 % серед існуючих [5], хоча і мають гірші масогабаритні показники, ніж СД з постійними магнітами чи реактивні ВД [7].

У багатьох розробках в якості тягового електродвигуна для електромобілів, рекомендується використовувати АД [6-12]. Тим паче, що при наявності сучасних систем управління, вже навіть за регулюючими властивостями АД не поступаються двигунам постійного струму. В роботі [1] представлено імітаційне дослідження нової стратегії векторного управління АД, що живиться імпульсами постійного струму. Це дослідження підтверджує дієвість такої стратегії при суттєвому спрощенні схеми управління.

У статті [2] авторами представлена реалізація управління так званим просторово-векторним гістерезисом. Така реалізація век-

торного управління оцінюються для використання в електромобілях з асинхронною машиною або СД з постійним магнітом. Автори зазначають, що регулятор обертового просторового вектору гістерезису дозволяє знизити втрати потужності за рахунок зменшення процесів перемикання.

Отже, детальний аналіз роботи АД, а також розрахунок його механічної характеристики є досить актуальним завданням. Основним методом аналізу усталених статичних режимів роботи АД є використання еквівалентних схем [4, 13, 14].

Мета та постановка задачі

Метою роботи є проведення аналізу режимів роботи асинхронного двигуна з розрахунком його механічної характеристики при наявності в ній мінімального моменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз роботи АД, базуючись на його Г-подібній схемі заміщення;
- провести аналіз роботи АД за його механічною характеристикою;
- розрахувати механічну характеристику АД при наявності в ній мінімального моменту.

Аналіз електромеханічних процесів АД

Для одержання аналітичного виразу механічної характеристики АД з певним наближенням слід скористатися спрощеною Г-подібною схемою заміщення однієї фази АД (рис. 1).

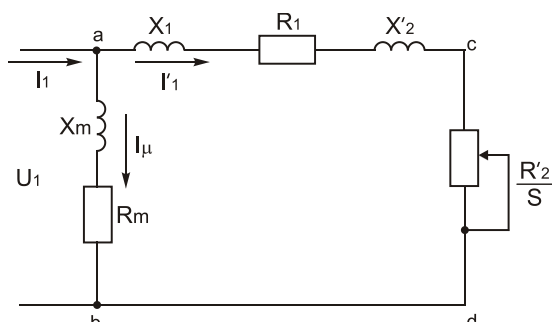


Рис. 1. Розрахункова Г-подібна схема АД

На схемі позначено:

U_1 – первинна фазна напруга (живлення фази статора), В;

I_1 – фазний струм статора, А;

I_2' – зведений фазний струм ротора, А;

X_1 – первинний реактивний опір розсіювання, Ом;

X_2' – зведений вторинний реактивний опір розсіювання, Ом;

R_1 – первинний активний опір, Ом;

R_2' – зведений вторинний активний опір, Ом;

I_μ – струм намагнічування, А;

X_m – реактивний опір контуру намагнічування, Ом;

R_m – активний опір контуру намагнічування, Ом;

$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ – ковзання АД, в.о.,

$\omega_0 = \frac{2 \cdot p}{60} \cdot n_0$ – синхронна кутова швидкість двигуна (у системі СИ), 1/с;

n_0 – синхронна частота обертання двигуна, об/хв.

R_m, X_m, I_μ – магнітна система – контур намагнічування схеми;

R_2'/S – механічна енергія двигуна і характер її зміни еквівалентні електричним втратам енергії на нелінійному опорі схеми.

У цьому випадку нема необхідності виконувати складні розрахунки (електричних, магнітних і механічних процесів), а досить виконати розрахунки на його моделі (схемі заміщення), тобто тільки розрахувати електричне коло, користуючись тільки законами електричних кіл (Кірхгофа) [15].

Розглянемо отримання аналітичного виразу механічної статичної характеристики АД. У відповідності до схеми (рис.1), значення вторинного струму буде дорівнювати:

$$I_2' = \frac{U_1}{Z},$$

де Z – загальний опір обмоток статора й ротора (коло acdb, рис. 1);

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}. \quad (1)$$

Потужність двигуна (для значення ковзання S) дорівнює:

$$P = M \cdot \omega_0 \cdot S. \quad (2)$$

З другого боку ця потужність є електричними втратами енергії кола схеми acdb:

$$P = (I_2')^2 \cdot R_2' \quad (3)$$

Це на одну фазу, а на весь двигун ($m=3$) втрати енергії будуть дорівнювати:

$$P = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2' \quad (4)$$

Після прирівнювання виразів (2) і (4), отримуємо рівняння:

$$M \cdot \omega_0 \cdot S = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2',$$

Звідки можна визначити величину моменту АД:

$$M = \frac{3 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S} \quad (5)$$

У рівнянні (5) замість вторинного струму I_2' підставимо його значення з виразу (1), отримаємо вираз електромагнітного моменту для АД:

$$M = \frac{3 \cdot U^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right] \cdot S} \quad (6)$$

У рівнянні (6), у правій його частині усі параметри для даного двигуна і даного статичного режиму є сталими, а незалежною змінною (аргументом) є ковзання S , тому рівняння (6) можна подати в узагальненому вигляді (функції):

$$M = f(S). \quad (7)$$

Рівняння (6) і (7) є механічна характеристика АД, виражена через ковзання S . Електромагнітний момент є складною функцією ковзання, крива має два екстремуми – один у режимі двигуна, другий – у генераторному. Для знаходження цих максимумів достатньо дослідити криву (6) на екстремум звичайним способом, тобто взяти першу похідну від M за ковзанням S й зрівняти її з нулем:

$$\frac{dM}{dS} = 0. \quad (8)$$

Вирішуючи рівняння (6) за умов (8), одержимо ковзання ($S_{кр}$), при якому двигун роз-

виває максимальний момент:

$$S_{кр} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (9)$$

Підставляючи значення $S_{кр}$ із виразу (9) у рівняння (6), одержимо вираз максимального моменту:

$$M_{\max} = \pm \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]} \quad (10)$$

Знак „+” у рівняннях (9) та (10) відноситься до режиму двигуна (або гальмівного режиму протитовмикування), а знак „-” – до генераторного режиму рекуперативного гальмування.

Якщо рівняння (6) поділити на рівняння (10) та провести відповідні перетворення, то отримаємо:

$$M = \frac{2M_{\max} \cdot (1 + a \cdot S_{кр})}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} + 2a \cdot S_{кр}}, \quad (11)$$

де $a = R_1 / R_2'$.

Із рівнянь (6) й (10) видно, що при заданому ковзанні момент, який розвиває АД, пропорційний квадрату підведеної напруги. Більше того, решта параметрів, що входять до складу рівнянь (6) й (10) для конкретного двигуна є величинами сталими, отже момент АД визначається тільки напругою живлення, хоча такий параметр, як вторинний опір, для конкретного двигуна легко змінювати, вводячи у коло ротора додатковий опір (якщо АД є двигуном з фазним ротором).

З вищевикладеного випливає дуже важливий наслідок: квадратична залежність моменту АД від напруги живлення спричиняє значну чутливість АД до коливань напруги мережі (зменшення напруги, наприклад, в два рази, призводить до зниження моменту, що розвиває двигун, у чотири рази). Така квадратична залежність притаманна усім двигунам і іншим електромеханічним системам індукційного типу, а оскільки у реальних умовах використовується тільки один двигун індукційного типу – АД, то на практиці з усіх двигунів, що використовуються, єдиний двигун, що дуже чутливий до коливань напруги – це АД.

З цих причин величина напруги мережі змінного струму суворо регламентується. Так стандартом забороняється експлуатація асинхронних електродвигунів, якщо падіння напруги в мережі перевищує 10%.

Механічна статична характеристика АД у координатах S й M ($M = f(S)$) добре відома [4, 14]. Нагадаємо деякі її особливості (рис. 2).

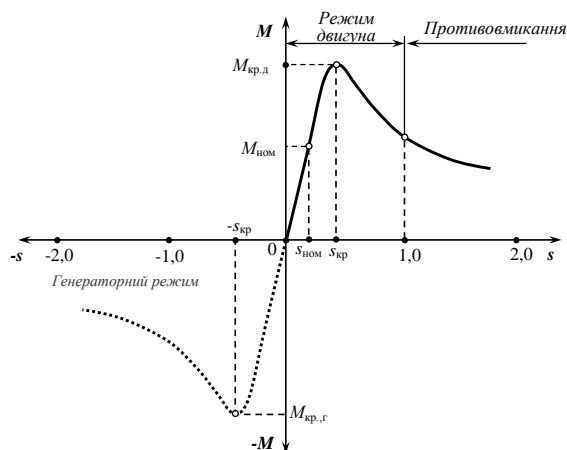


Рис. 2. Механічна характеристика АД

Крива має чотири характерні точки:

- синхронний режим, при цьому $S=0$, $M=0$;

- номінальний режим, при цьому $S=S_{ном}$, $M=M_{ном}$;

- критичний режим, при цьому момент, який розвиває двигун у режимі двигуна, максимальний $M=M_{макс\delta}$, а ковзання – критичне $S=S_{кр}$;

- режим початкового пуску, при цьому ковзання $S_n=1$, а момент – пусковий $M=M_{пуск}$.

На числовій осі (числа змінюються від $-\infty$ до $+\infty$) слід відзначити межі змінювання ковзання: при $1 > S > 0$ – режим двигуна; при $+\infty > S > 1$ – режим гальмування противовмиканням; при $0 > S > -\infty$ – генераторний режим рекуперативного гальмування.

Із рівняння (12) видно, що максимальний момент для режиму двигуна (за абсолютним значенням) менше, ніж максимального моменту генераторного режиму:

$$|M_{макс\delta}| < |M_{максз}|.$$

На це впливають знаки „ \pm ” у знаменнику рівняння (9), оскільки опір:

$$R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} > R_1 - \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

Величина критичного ковзання для режи-

му двигуна і генераторного режиму (за абсолютним значенням) одна і та ж.

$$|S_{кр\delta}| = |S_{крз}|.$$

Рівняння механічної характеристики (11) відповідає більш-менш точним співвідношенням параметрів характеристики, тому що ураховує падіння напруги на активному опорі статора R_1 . У реальних умовах активний опір статора (особливо для АД середньої та великої потужності) незначний і ним (з достатньою для практичних розрахунків точністю) можна знехтувати:

$$R_1 = 0. \quad (12)$$

Тоді рівняння механічної характеристики (11) набере вигляду:

$$M = \frac{2M_{макс}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}. \quad (13)$$

Рівняння (13) називається спрощеною механічною характеристикою АД у координатах S та M . Однак для двигунів великої потужності (де R_1 дуже мале) це рівняння досить точно відповідає фізичним процесам АД. Рівняння (11) ще називають рівнянням Клосса, а рівняння (13) – спрощеною формулою Клосса.

Якщо у рівнянні (13) замість поточних значень S та M підставити їх номінальні значення: $S=S_{ном}$; $M=M_{ном}$, а кратність максимального моменту $M_{макс}/M_{ном}$ (перевантажувальну здатність) позначити λ ($\lambda = M_{макс}/M_{ном}$), то після перетворень рівняння (13) буде мати вигляд:

$$S_{кр} = S_{ном} \cdot \left(\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1} \right). \quad (14)$$

Значення перевантажувальної здатності АД λ має суттєве практичне значення при експлуатації електроприводів. Величина його установлюється Державним стандартом. Для трифазних АД загального використання у широкому діапазоні потужностей АД λ має такі межі: $\lambda = 1,7 \dots 2,2$, причому більше значення λ відноситься до синхронної частоти обертання АД – 3000 об/хв, а менше – для 750 об/хв.

Для спеціальних серій АД переважувальна здатність більш висока. Так для кранових та металургійних АД вона складає $\lambda = 2,3 \dots 2,8$.

Крім АД з загальновідомими механічними характеристиками (рис. 2) промисловість випускає і АД, механічна характеристика яких має чітко виражений мінімальний момент M_M . Це значення отримується при ковзанні приблизно рівному 0,8, а відносна величина моменту лежить в межах від $M_M^* = 1,9$ до $M_M^* = 0,9$ в залежності від швидкості та потужності АД. Приблизний вид такої механічної характеристики приведений на рис. 3.

Обґрунтуємо теоретичну можливість отримання мінімуму моменту M_M на ділянці механічної характеристики при ковзанні S_M . У вигляді розрахункової формули моменту використаємо формулу Клосс. З неї отримати значення мінімального моменту можливо лише тоді, коли величина q буде змінюватися по визначеному закону, зв'язуючи між собою величини M_k, M_{II}, M_M, S_M , тобто величина q повинна бути функцією п'яти аргументів: $q(M_k, M_{II}, M_M, S)$.

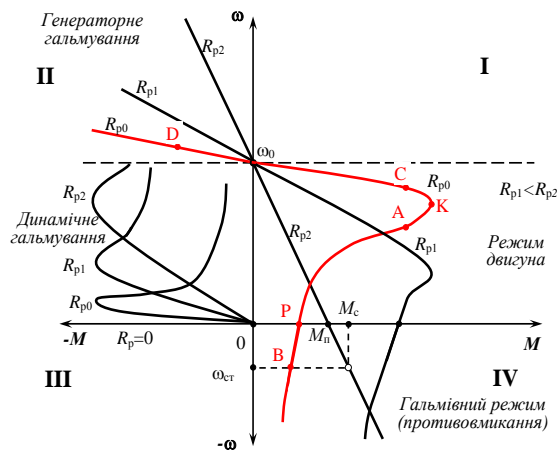


Рис. 3. Механічна характеристика АД в координатах $\omega = f(M)$

Позначимо даний коефіцієнт як q_2' . В теорії електроприводу є формула для розрахунку механічної характеристики АД з мінімумом моменту (формула Д. І. Бистрицького та В. Н. Андріанова), однак вона не дає потрібної точності. Тому при розрахунках механічної характеристики для ковзання від $S = 0$ до $S = S_k$ (ділянка АВ, рис. 3) коефіцієнт q визначається як q_1 .

Для розрахунку механічної характеристики при ковзаннях від $S = S_k$ до $S = 1$ (ділянка ВСД,

рис. 3) замість коефіцієнта q_2 , необхідно використовувати q_2' , який є змінною величиною, залежить від ковзання за деяким законом, який забезпечує необхідне значення моменту M_M при заданому ковзанні $S = S_M$ та значення пускового моменту M_{II} згідно з даними каталогу.

Вираз для коефіцієнту q_2' отриманий методом ітерацій, тобто методом послідовних наближень. Для розрахунку q_2' пропонується такий вираз:

$$q_2' = q_2 \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{1-S}}{1 - K_{S_2} \cdot S}\right), \quad (18)$$

$$M = \frac{M_n^* \left(\frac{1}{S_k} + S_k\right) - 2M_k^*}{M_k^* - M_n^*} \quad (19)$$

Крім того необхідно визначити і коефіцієнт K_{S_2} , який зв'язує між собою величини q_2 і q_{2M} :

$$K_{S_2} = \frac{(1 - q_{2M}) - \sqrt{1 - S_M}}{q_2 \cdot (1 - q_{2M}) \cdot S_M}, \quad (20)$$

$$q_{2M} = \frac{M_M^* \left(\frac{S_M}{S_k} + \frac{S_k}{S_M}\right) - 2M_k^*}{M_k^* - M_M^*} \quad (21)$$

Дані з літератури [4, 14] підтверджують, що коефіцієнт $q_2' = f(M_k, M_{II}, M_M, S)$ може забезпечити отримання механічної характеристики з мінімальним моментом M_M при заданому ковзанні $S = S_M$, а також критичного M_k та пускового моменту M_{II} у відповідності з даними каталогу.

Розрахунок механічної характеристики АД

Розглянемо приклад розрахунку механічної характеристики АД з мінімальним моментом. Нехай відомі каталожні дані:

- $P_H = 1,1$ кВт;
- $M_{II}^* = 2,0$;
- $M_M^* = 1,8$;
- $M_k^* = 2,2$;
- $S_H = 0,053$;
- $M_H = 7,38$ Нм;
- $M_k = 16,23$ Нм;
- $M_{II} = 14,76$ Нм;

– $S_M=0,8$.

Необхідно розрахувати механічну характеристику даного АД.

Проведемо розрахунок для двох ділянок характеристики.

1. Перша ділянка: ковзання від $S=0$ до $S=S_k$ (рис.4).

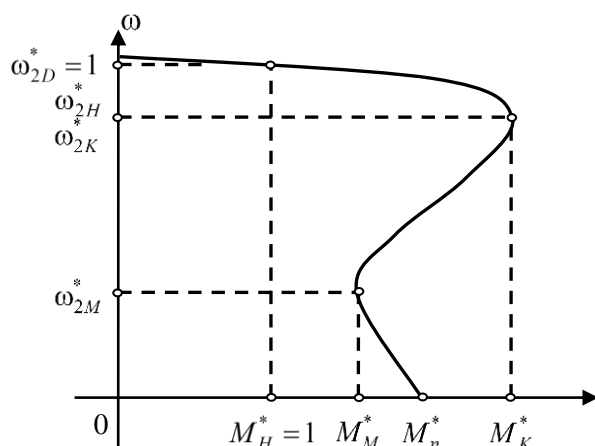


Рис. 4. Аналіз механічної характеристики АД мінімальним моментом

Визначаємо критичне ковзання S_k :

$$S_k = \sqrt{\frac{S_H(M_{II}^* - 1)}{1 - S_H(3M_{II}^* - 2)}} = \sqrt{\frac{0,053(2 - 1)}{1 - 0,053(3 \cdot 2 - 2)}} = 0,259.$$

Розраховуємо величину q_1 :

$$q_1 = \frac{\frac{S_H}{S_k} + \frac{S_k}{S_H} - 2M_k^*}{M_k^* - 1} = \frac{\frac{0,053}{0,259} + \frac{0,259}{0,053} - 2 \cdot 2,2}{2,2 - 1} = 0,572.$$

Записуємо формулу Клосса для першої ділянки:

$$M = \frac{M_k(2 + q_1)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + q_1} = \frac{16,23 \cdot (2 + 0,572)}{\frac{0,259}{0,259} + \frac{0,259}{S} + 0,572} = \frac{41,74}{\frac{0,259}{S} + \frac{0,259}{S} + 0,572}.$$

Результати розрахунків за даним виразом

для різних величин ковзання (від $S=0$ до $S=S_k$) зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків для першої ділянки

S	0	$S_H=0,053$	0,125	$S_k=0,259$
$\omega_2, \text{с}^{-1}$	157,5	149	138	117
$\eta_2, \text{об/мин}$	1500	1420	1313	1112
$M, \text{Нм}$	0	7,38	13,3	16,23
q_1	0,572	0,572	0,572	0,572
M^*	0	1	1,8	2,2

2. Друга ділянка: ковзання від $S=S_k$ до $S=1$ (рис. 4).

Для цієї ділянки використовуємо формулу Клосса, яку записуємо у вигляді:

$$M = \frac{M_k(2 + q_2')}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + q_2'}.$$

Коефіцієнт q_2' визначається для кожного значення ковзання. Знаходимо коефіцієнт q_2 :

$$M = \frac{M_n^* \left(\frac{1}{S_k} + S_k \right) - 2M_k^*}{M_k^* - M_n^*} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{0,259} + 0,259 \right) - 22,2}{2,2 - 2} = 19,2.$$

Розраховуємо коефіцієнт q_{2M} за формулою (21):

$$q_{2M} = \frac{M_M^* \left(\frac{S_M}{S_k} + \frac{S_k}{S_M} \right) - 2M_k^*}{M_k^* - M_M^*} = \frac{1,8 \cdot \left(\frac{0,8}{0,259} + \frac{0,259}{0,8} \right) - 2 \cdot 2,2}{M_k^* - M_M^*} = 4,4.$$

Розраховуємо коефіцієнт K_{S_2} за формулою (19):

$$K_{S_2} = \frac{(1 - \frac{q_{2M}}{q_2}) - \sqrt{1 - S_M}}{\frac{(1 - \frac{q_{2M}}{q_2}) \cdot S_M}{q_2}} =$$

$$= \frac{(1 - \frac{4,4}{19,2}) - \sqrt{1 - 0,8}}{(1 - \frac{4,4}{19,2}) \cdot 0,8} = 0,52.$$

Використовуючи значення ковзання $S = 0,4$, $S_M = 0,8$, $S = 1$ та деякі інші, розраховуємо механічну характеристику для другої ділянки. Результати розрахунків зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків для другої ділянки

S	0,4	0,6	$S=S_H=$ $=0,8$	0,9	$S=S_n=$ $=1$
$\omega_2, \text{с}^{-1}$	94,5	63	31,5	15,75	0
$\eta_2, \text{об/мин}$	900	600	300	150	0
q_2'	0,384	1,73	4,4	7,87	19,2
M, Нм	15	13,5	13,28	13,80	14,76
$M^* = M/M_H$	2,03	1,83	1,80	1,87	2,0

Необхідно відмітити, що в деяких випадках необхідно поділяти характеристику не на дві, а на більшу кількість ділянок [16]. Тоді і розрахунки необхідно проводити для усіх цих ділянок за зазначеною методикою.

Висновки

При використанні АД в автоматичних системах керування необхідно вміти достатньо просто та точно визначати критичне ковзання, а також механічну характеристику. Це особливо актуально для різноманітних систем керування електромобілями, в яких тяговий електропривод побудований на базі АД. Для цього існують спеціальні методики. Вони обираються в залежності від виду механічної характеристики, тобто в залежності від того, є в характеристиці ярко виражений мінімальний момент, чи він відсутній. Величина критичного ковзання залежить від величини активного опору кола ротора. Оскільки струм двигуна пропорційний напрузі у першій ступені, а момент – напрузі живлення у квадраті, отже, характеристики при зниженні напруги живлення змінюються як якісно, так і кількісно.

Поточне значення моменту АД залежить

від квадрата напруги живлення, активного та індуктивного опору обмоток ротора і статора при заданих значеннях ковзання та синхронній кутовій швидкості. Для усіх значень напруги критична швидкість $\omega_{кр}$ (критичне ковзання $s_{кр}$) не змінюється, тобто не залежать від величини напруги. Величина моменту змінюється суттєво зі зміною напруги. Так $M_{max1} = 4 \cdot M_{max4}$, оскільки напруга мережі зменшилася вдвічі. У реальних умовах у всіх промислових мережах може падати напруга, тому слід постійно контролювати наскільки істотним є зменшення максимального і пускового моментів приводів при зменшенні напруги і наскільки вони задовольняють умовам технологічного процесу. Якщо розглядається керування тягового електроприводу на базі АД для електромобілів, то також слід зважати на той факт, що напруга живлення від накопичувача енергії (акумуляторна батарея чи блок суперконденсаторів) також буде змінюватися по мірі розряду. Отже, буде спостерігатися зміна як пускового, так і максимального моменту, що здатен розвивати даний привід.

Література

1. Chen R., Zhang J., Shao Z., Liu W. Simulation study on a novel vector control strategy for asynchronous motor. *2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (Busan, 1-4 June 2016)*. Busan, 2016. P. 072-076.
2. Dost P., Schael M., Sourkounis C. Electric vehicle application of rotational space vector hysteresis control with different electric motors. *IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. (Dallas, 29 Oct.-1 Nov. 2014). Dallas, 2014. C. 549-554.
3. Du G., Cao W., Hu S., Lin Z., Yuan T. Design and Assessment of an Electric Vehicle Powertrain Model Based on Real-World Driving and Charging Cycles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2019. Vol. 68(2). P. 1178-1187.
4. Гнатів А. В., Аргун І. В., Трунова І. С. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник. Х.: ХНАДУ, 2016. 292 с.
5. Асинхронный двигатель. 2019. URL: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction/> (дата звернення 14.03.2019).
6. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 2017. №14(4). P. 4649-

4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
7. Аргун Щ. В. Розрахунок основних характеристик тягового асинхронного двигуна для електричної трансмісії міського електробуса. Автомобільний транспорт, 2018. №. 43. С. 36-46.
 8. Dost Ph., Schael M., Constantinou Sourkounis. Comparison of Control Methods for Asynchronous Motors within Electric Vehicles. *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (Coimbra, 27-30 Oct. 2014). Coimbra, 2014. P. 1-6.
 9. Chuanwei Zhang, Nuoting Wang. Research on asynchronous motor control of electric vehicle. *2017 International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC)*. (St. Petersburg, 19-21 May 2017). St. Petersburg, 2017. P. 165-1693.
 10. Lucian-Vasile E., Diana-Ramona S. Electric drive system for speed adjusting of a three-phase asynchronous motor using a PLC for propelling an electric vehicle. *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. (Bucharest, 23-25 March 2017). Bucharest, 2017. P. 597-600.
 11. Martins R. P. D. F., Sousa D. M., Pires V. F., Roque A. Reducing the power losses of a commercial electric vehicle: Analysis based on an asynchronous motor control. *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. (Istanbul, 13-17 May 2013). Istanbul, 2013. P. 1247-1252.
 12. Huang W., Wang G., & Yu M. Analysis of the effect of driving motor on electric vehicle dynamic performance. *International journal of electric and hybrid vehicles*. 2017. Vol. 9 (4). P. 350-360.
 13. Тарасова В. В., Суховій С. А., Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Використання асинхронного двигуна, як об'єкта автоматичного керування. Автомобіль і електроніка. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. X.: ХНАДУ, 2017. № 12. С. 166-174. ISSN 2226-9266. http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE17_2/4.7.pdf.
 14. Аргун Щ. В., Гнатов А. В. Электромобиль и его тяговый электропривод с асинхронным двигателем: монография. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 216 с.
 15. Bird J. *Electrical circuit theory and technology*. Routledge, 2017.
 16. Hnatov A., Arhun S., Dziubenko O., Ponikarovska S. Choice of Electric Engines Connection Circuits in Electric Machine Unit of Electric Power Generation Device. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 2018. 12(4), P. 87-95. <http://mjee.iaumajlesi.ac.ir/index/index.php/article/view/2760>

References

1. Chen R., Zhang J., Shao Z., Liu W. (2016) Simulation study on a novel vector control strategy for asynchronous motor. *2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific* (Busan, 1-4 June 2016), 072-076.
2. Dost P., Schael M., Sourkounis C. (2014) Electric vehicle application of rotational space vector hysteresis control with different electric motors. *IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. (Dallas, 29 Oct.-1 Nov. 2014), 549-554.
3. Du G., Cao W., Hu S., Lin Z., Yuan T. (2019) Design and Assessment of an Electric Vehicle Powertrain Model Based on Real-World Driving and Charging Cycles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 68(2), 1178-1187.
4. Hnatov A. V., Arhun Shch. V., Trunova I. S. (2016) Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник [The theory of electric vehicles: textbook]. Kh.: KhNADU [in Ukrainian].
5. Асинхронний двигател (2019) {Asynchronous motor}. URL: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction/> (accessed:14.03.2019) [in Russian].
6. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. (2017) Energy saving technologies for urban bus transport. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 14(4), 4649-4664 doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
7. Arhun Shch. V. (2018) Rozrakhunok osnovnykh kharakterystyk tiahovoho asynkhronnoho dvyhuna dlia elektrychnoi transmisii miskoho elektrobusa [Calculation of the main characteristics of the traction asynchronous engine for the electric transmission of the city electric bus]. *Avtomobilnyi transport*, 43, 36-46 [in Ukrainian].
8. Dost Ph., Schael M. (2014) Constantinou Sourkounis. Comparison of Control Methods for Asynchronous Motors within Electric Vehicles. *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (Coimbra, 27-30 Oct. 2014), 1-6.
9. Chuanwei Zhang, Nuoting Wang (2017) Research on asynchronous motor control of electric vehicle. *2017 International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC)*. (St. Petersburg, 19-21 May 2017), 165-1693.
10. Lucian-Vasile E., Diana-Ramona S. (2017) Electric drive system for speed adjusting of a three-phase asynchronous motor using a PLC for propelling an electric vehicle. *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. (Bucharest, 23-25 March 2017), 597-600.

11. Martins R. P. D. F., Sousa D. M., Pires V. F., Roque A. (2013) Reducing the power losses of a commercial electric vehicle: Analysis based on an asynchronous motor control. *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. (Istanbul, 13-17 May 2013), 1247-1252.
12. Huang W., Wang G., & Yu M. (2017) Analysis of the effect of driving motor on electric vehicle dynamic performance. *International journal of electric and hybrid vehicles*. 9(4), 350-360.
13. Tarasova V. V., Sukhovii S. A., Hnatov A. V., Arhun Shch. V. (2017) Vykorystannia asynkhronoho dvyhuna, yak objekta avtomatychnoho keruvannia. [Use of an asynchronous motor as an object of automatic control]. *Avtomobil y elektronika. Sovremennye tekhnolohyy: elektronnoe nauchnoe spetsyalyzovanne yzdanye*. Kh.: KhNADU.12, 166-174. ISSN 2226-9266. http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE17_2/4.7.pdf. [in Ukrainian].
14. Arhun Shch., Hnatov A. V. (2017) Elektromobil i ego tyagovyiy elektroprivod s asinhronnyim dvigatelem: monografiya. Saarbr [Electric car and its traction electric drive with asynchronous motor: monograph] Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing [in Russian].
15. Bird J. *Electrical circuit theory and technology*. Routledge, 2017.
16. Hnatov A., Arhun S., Dziubenko O., Poni-karovska S. (2018) Choice of Electric Engines Connection Circuits in Electric Machine Unit of Electric Power Generation Device. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 12(4), 87-95. <http://mjee.iaumajlesi.ac.ir/index/index.php/ee/article/view/2760>

Бакуменко Владислав Бердикулович¹, магістрант, т. +38095-89-07-225, kalifus@yandex.ru

Тарасова Валентина Всеволодівна¹, к.т.н., доц., тел. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Ручка Олександр Омелянович¹, к.т.н., доц., тел. +38 067-774-86-83, val.vs.tarasova@mail.ru,

Гнатів Андрій Вікторович², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 06674380887, kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валіковна², к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com,

Тарасов Кирило Сергійович², аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0933435082, niakros@gmail.com,

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.

Calculating the mechanical characteristics of the asynchronous motor having a minimal moment in it

Abstract. Problem Asynchronous electric motors (AEs) are the most common among all electric motors. This is due to the simplicity of design, high reliability, relatively low cost, better weight and overall performance, etc. The asynchronous electric drive, which has a vector control based on modern static converters with microprocessor controllers, is especially widespread now. One of the most important characteristics of the engine is its mechanical characteristics. Based on the knowledge of the dependence of the moment on the electric motor shaft on its speed of rotation in various modes of operation, it is possible to implement high-quality and efficient control. **Goal.** The goal is conducting the analysis of operating modes of the asynchronous motor with the calculation of its mechanical characteristics in the presence of a minimal moment in it. **Methodology.** Analytical methods of research, methods of the theory of electric machines and electric drives are used, as well as methods of calculating electric circuits. The method of calculating the mechanical characteristics of AE in the presence of a site with a clearly expressed minimum torque is considered. **Results.** The analysis of the AE is based on its G-shaped replacement scheme. The mechanical characteristics of AE in different modes of operation were considered and analyzed in details. The mechanical characteristics of the AE were calculated in the presence of a minimal moment in it. It is determined that the value of the critical slip depends on the value of the active resistance of the rotor circle. Since the current of the motor is proportional to the voltage in the first stage, and the moment is the supply voltage squared, therefore, the characteristics of the voltage drop change both qualitatively and quantitatively. **Originality.** The current value of the moment of the AE depends on the square of the supply voltage, the active and inductive resistance of the windings of the rotor and the stator with the given values of slip and synchronous angular velocity. For all values of the voltage, the critical velocity (critical slip) does not change, that is, it does not depend on the voltage value. The magnitude of the moment varies significantly with the change in voltage. **Practical value.** In real conditions, all industrial networks may be subject to voltage, therefore, it is necessary to continuously monitor how significant it is to reduce the maximum and starting moments of the drives when reducing the voltage and how much they meet the demands of the technological process. If the control of a traction electric drive based on an

electric motor is considered, the fact that the voltage from the energy storage will vary with the discharge should also be taken into account. Consequently, there will be a change in both the starting and the maximum moment that this drive can develop.

Keywords: asynchronous motor, mechanical characteristic, minimum torque, Clause formula, traction electric drive, electric car, electric drive system.

Bakumenko Vladyslav¹, graduate student, tel. +38095-89-07-225, kalifus@yandex.ru

Tarasova Valentina¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Ruchka Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 067-774-86-83, val.vs.tarasova@mail.ru,

Hnatov Andrii², professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, kalifus76@gmail.com,

Shchasyana Arhun², Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Tarasov Kyrylo², postgraduate, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0933435082, niakros@gmail.com,

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

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

Расчет механической характеристики асинхронного двигателя при наличии в ней минимального момента

Аннотация. Асинхронный двигатель (АД) имеет преимущества перед другими типами электродвигателей, и является самым распространенным – занимает почти 90% всех существующих электроприводов. Рассмотрен

метод расчета механической характеристики АД при наличии в ней участка с явно выраженным минимальным моментом. Проведен анализ работы АД основываясь на его Г-образной схеме замещения. Подробно рассмотрены и проанализированы механические характеристика АД в различных режимах работы. Рассчитана механическая характеристика АД при наличии в ней минимального момента.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, механическая характеристика, минимальный момент, формула Клосса, тяговый электропривод, электроавтомобиль, система управления электроприводом.

Бакуменко Владислав Бердикулович¹, магистрант, т. +38095-89-07-225, kalifus@yandex.ru

Тарасова Валентина Всеволодовна¹, к.т.н., доц., тел. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Ручка Александр Емельянович¹, к.т.н., доц., тел. +38 067-774-86-83, val.vs.tarasova@mail.ru,

Гнатов Андрей Викторович², д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 06674380887, kalifus76@gmail.com,

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

Тарасов Кирилл Сергеевич², аспирант кафедры автомобильной электроники, тел. +38 0933435082, niakros@gmail.com,

¹Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумс-кая 77/79.

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

Обладнання для виробництва і ремонту засобів транспорту.
Сервісне обслуговування і технічний огляд автомобілів

УДК 681.518.54

DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0.74

**АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АВТОМОБІЛЯ**

Бороденко Ю. М.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Розглянуто питання побудування діагностичної системи тягового електроприводу автомобіля. Запропоновано реалізацію вимірювального каналу на базі аналогового датчика Холла. Обрано тип аналізатору спектра. Наведено конфігурації діагностичної системи, інтегрованої в електропривод та системи зовнішнього підключення.*

***Ключові слова:** електропривод, датчик Холла, високовольтна акумуляторна батарея, аналізатор спектра, діагностична система.*

Вступ

Оперативний контроль діагностичних параметрів автомобіля дозволяє своєчасно встановити факт наявності несправності, локалізувати місце пошкодження і вплинути на систему з метою уникнення аварійної ситуації. Для реалізації цих функцій на сучасних автомобілях використовуються бортові діагностичні системи, які надаються у вигляді програмно-апаратних засобів, що інтегруються в автомобільні системи керування. Залежно від форматів інформації і режимів функціонування такі системи отримали назви бортової діагностики, самодіагностики або моніторингу технічного стану [1]. В даній статті розглянуто питання, пов'язані з розробкою апаратної частини діагностичної системи, стосовно силової частини тягового електроприводу (ТЕП) автомобіля.

Аналіз публікацій

Дослідження за даним напрямом складаються з декількох етапів: аналізу структури ТЕП як об'єкту діагностики; побудування імітаційних моделей і моделювання експлуатаційних режимів ТЕП; формування бази знань експертної системи; реалізації вимірювального каналу та аналізатору спектру поточних даних (системи моніторингу).

Результати попередніх віртуальних досліджень дозволили встановити, що найбільш детальну інформацію про технічний стан ТЕП можна отримати методом спектрального аналізу функції струму в колах його живлення.

Так в [2, 3] проведено дослідження імітаційних Matlab-моделей системи ТЕП в статусах двигуна та генератора. Вигляд спектрограм, отриманих за результатами моделювання технічних станів ТЕП в полі експлуатаційних режимів, виправдовує напрямок досліджень.

В [4] розглянуто структуру та режими функціонування гібридної силової установки з ТЕП. Визначено спосіб апаратної реалізації та сформульовано загальні правила обробки інформації системи моніторингу технічного стану силової частини ТЕП на прикладі гібридного силового агрегату типу THS II.

Питання, пов'язані з синтезом діагностичної системи ТЕП на базі експертної програми, розглянуто в [5]. Описана процедура формування бази знань експертної системи. Наведено функціональну схему інтегрованої системи самодіагностики.

Мета досліджень та постановка задачі

Метою на даному етапі досліджень є вибір електронних пристроїв і синтез конструкції інформаційно-вимірювального комплексу для моніторингу діагностичних параметрів системи ТЕП автомобіля. Інформаційно-вимірювальний комплекс складається з вимірювальної частини (датчиків вимірювальної інформації), пристрою обробки інформації та засобів відображення інформації. Апаратна реалізація вимірювального комплексу, в загальному випадку, передбачає вирішення декількох задач: вибір типу датчика струму; інтегрування датчика в конструкцію високовольт-

тної акумуляторної батареї (ВАБ); побудовання структури аналізатора спектру; вибір конфігурації системи цифрової обробки сигналу; конструктивну та електричну прив'язку комплексу до системи ТЕП. Слід зазначити, що на етапі розробки вимірювального комплексу, доречно розглядати два варіанти діагностичної системи – інтегровану в силову установку та систему, що підключається іззовні.

Реалізація вимірювального каналу

За результатами попередніх досліджень, у якості діагностичного параметру для оцінки технічного стану ТЕП обрано спектральний склад періодичної функції струму розрядження/зарядження ВАБ за певні проміжки часу при певних режимних ситуаціях [2, 3]. Цей параметр забезпечує максимальну інформативність та чутливість до зміни структурних і параметричних змін по силових колах системи ТЕП. Для вимірювання струму на етапі фізичного експерименту в колі живлення слід визначитися з типом безконтактного датчика струму.

Безконтактні датчики струму різняться за принципом дії (трансформаторні, на ефекті Холла, оптико-волоконні на ефекті Фарадея), родом вимірюваного струму (постійного, змінного), конструктивним виконанням (кільцеві, кліщові, щілинні, цангові), видом вихідного сигналу (пропорційні, нелінійні, релейні, циклічні, імпульсні) [6].

До переваг датчиків Фарадея і Холла можна віднести здатність виконання масштабованого перетворення постійної і змінної складових та можливість інтегрування у вимірювальні і інформаційні системи з використанням різних інтерфейсів (дискретних, цифрових, аналогових).

На відзнаку від оптико-волоконних датчиків, безконтактні датчики струму на ефекті Холла мають порівняно низьку ціну, більшу надійність та перелік варіантних виконаній конструкції. Оптико-волоконні датчики струму і датчики Холла, зазвичай, у структурі мають електронний перетворювач і тому потребують електроживлення. Щодо вирішення поставлених задач, найбільш придатними є датчики кільцевої і кліщової конструкції. З технологічних міркувань кільцеві конструкції датчиків доречно використовувати у вмонтованих вимірювальних каналах, кліщові – в системах, які підключаються із-

зовні.

В першому випадку, вимогам, які висуваються до конструкції та технічним характеристикам, найбільш задовольняє аналоговий датчик струму типу CSLA2DG, кільцевої конструкції [7]. Обраний датчик дозволяє вимірювати силу струму до 150 А з часом відгуку не більше 3 мкс. В структурі датчика поряд з пластиною Холла використовується електронний підсилювач потужності з лінійною характеристикою перетворення напруги сигналу в межах 0,01...4,98 В при поданій напрузі живлення 5 В. Таким чином, електронна частина датчика виконує функції схеми нормалізації сигналу і є сумісною для стандартного живлення структурних компонентів електронних блоків автомобіля.

В другому випадку, можна застосовувати універсальні вимірювачі струму промислових зразків з аналоговим, цифровим або радіочастотним виходом. Перші, поряд з первинним перетворювачем, містять схему нормалізації сигналу, у других - додатково використовується аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та USB-інтерфейс, у третіх – додатково застосовується Bluetooth-канал [8].

Що до інтегрування датчика (вимірювача) струму в конструкцію ВАБ, в роботі передбачається використовувати провідник технологічної перемички між двома блоками акумуляторних секцій АВ1.1 і АВ1.2 (рис. 1).

Таке рішення дозволяє мінімізувати витрати на конструктивну і електричну прив'язку датчика до кола живлення і підвищити технологічність проведення діагностичних операцій за допомогою приладів зовнішнього підключення. Улаштування технологічної перемички за двома принциповими варіантами показано на рис. 1, в, г. Згідно позиціям рисунків позначено: 1 – струмопровідна арматура; 2 – датчик струму; 3 – рознімання для зовнішнього підключення; 4 – ізолюючий шар; 5 – витяжне кільце; 6 – корпус ВАБ; 7 – монтажні гнізда між блоками ВАБ.

Технологічні перемички в ВАБ різного типу мають різну конструкцію, в якій передбачаються мінімальні установочні розміри, надійний спосіб підключення і достатня ізоляція струмопровідної (металевої) частини. Перший варіант компоновки вимірювального зонду (рис. 1, в) передбачає адоптацію штатної перемички ВАБ з виходом сигналу на зовнішнє рознімання.

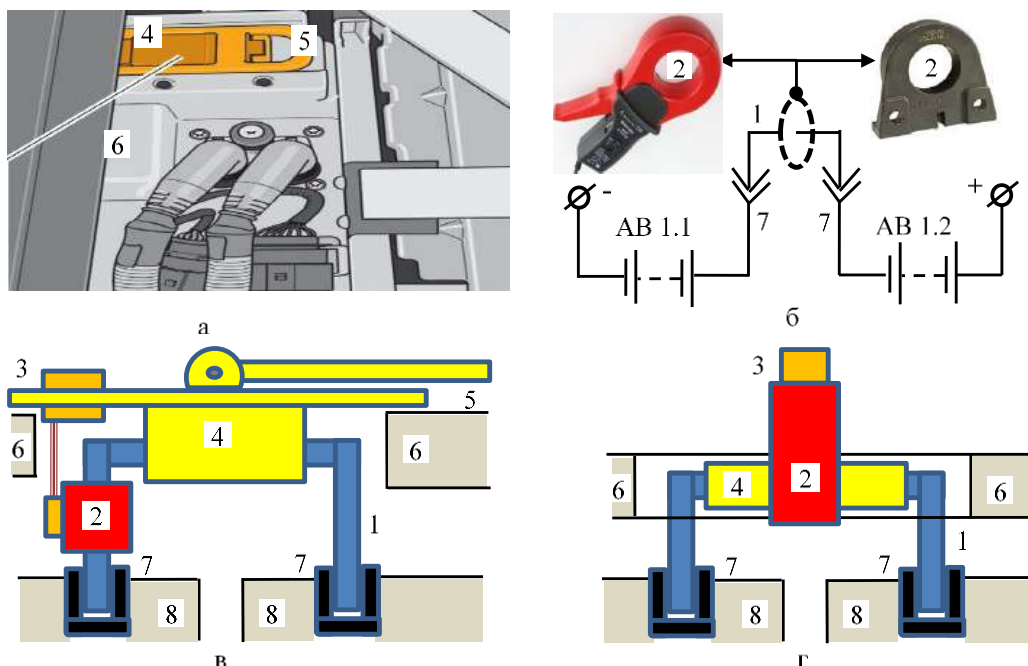


Рис. 1. Прив'язка датчика струму до кола живлення електроприводу:
а – розміщення технологічної перемички ВАБ; б – електрична прив'язка; в – конструктивна прив'язка датчика кільцевого типу; г – конструктивна прив'язка датчика кліщового типу

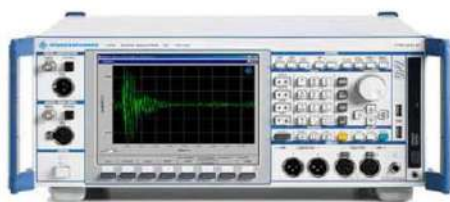
В другому варіанті (рис. 1, г) використовується оригінальна перемичка, конструкція якої пристосована під застосування обраного типу кліщового вимірювача. Обидва варіанти придатні для формування бази знань (етагонних значень) експертної системи (ЕС) на етапі її розробки [5].

Вибір типу аналізатора спектру

Враховуючи результати попередніх досліджень [2, 3] доходимо висновку, що для апаратної реалізації потрібен аналізатор спектру (АС) низьких (звукових) частот. Аналізатори

з такими характеристиками знайшли застосування у різних сферах діяльності та отримали декілька назв: еквайзери – в акустичній апаратурі; шумоміри – в екології; аналізатори вібрацій – в техніці.

На етапі формування бази знань ЕС можна застосовувати різні типи аналізаторів спектру і конфігурації системи цифрової обробки сигналу. Розглянемо варіанти виконання аналізаторів спектру промислових зразків з половою пропускання звукового діапазону (рис. 2).



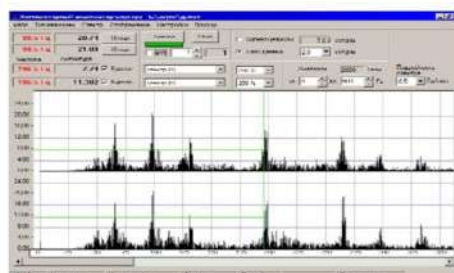
а



б



в



г

Рис. 2. Варіанти виконання аналізаторів спектру:
а – універсальний; б – модульний; в – еквайзер; г – програмний

Професійні аналізатори спектру дозволяють поряд з індикацією форми сигналу (функція осцилографа), спектральних характеристик і спектрограм забезпечують кількісну оцінку спектрального складу періодичного процесу з виводом інформації на зовнішній інтерфейс. Так, наприклад, аналізатор звукових сигналів R&S UPV (рис. 2, а) виконує практично усі можливі вимірювання на аналогових і цифрових інтерфейсах, від вимірів викривлень і зображення спектра до аналізу цифрового інтерфейсу [9]. До функціональних особливостей аналізатора R&S UPV можна віднести наступне:

- всі тестові сигнали і всі вимірювальні функції в одному приладі;
- підходить для всіх видів інтерфейсів;
- забезпечує одночасне відображення безлічі вимірювальних функцій;
- частота дискретизації до 400 кГц;
- використовуються програмовані користувачем фільтри, що адаптуються до поточної вимірювальної задачі;
- містить вбудований комп'ютер;
- має слоти для додаткових опцій;
- всі параметри налаштовуються незалежно;
- висока швидкість вимірювань у всіх компонентах системи.

Вартість приладу значна за рахунок унікальних характеристик та додаткових (надлишкових) опцій.

Модульний варіант (USB-аналізатор) промислового зразка моделі RSA306 (рис. 2, б) має приблизно однакові можливості, за виключенням функцій, які виконує комп'ютер [10].

Еквалайзери використовуються в аудіо-апаратурі та музикальних центрах, характеризуються досить вузьким переліком функцій [11]. Еквалайзери являють досить просту схему і її конструктивну реалізацію (рис. 2, в). Зазвичай такі пристрої являють АЦП з перетворювачем коду для квазі-аналогових дискретних індикаторів. Такі пристрої можна використовувати, як USB-адаптери для реалізації експертної системи в середовищі ПК.

Програмні аналізатори спектру забезпечують спектральний аналіз і обробку сигналів, що надходять з виходу АЦП звукової карти ПК або з файлу. Так, наприклад, програма «Комп'ютерний аналізатор спектру» забезпечує двоканальну обробку акустичних сигналів [12]. В програмі реалізовано більшість функцій, що необхідні для спектрального аналізу. Вирахування спектру здійснюється алгоритмом прямого перетворення

Фур'є. Програма забезпечує:

- відображення спектрів в реальному масштабі часу одночасно по двом каналам (рис. 2, г);
- роботу в режимах отримання сигналу і обробки записаного сигналу;
- усереднення спектрів та їх відображення в реальному часі;
- запуск спектрального аналізу за ознакою перевищення рівня порогового значення;
- вибір ширини частотних полос;
- вирахування взаємних спектрів, частотних характеристик, фазово-частотної характеристики і функції когерентності для двоканального сигналу;
- вибір тривалості блоку даних для спектрального аналізу і усереднення в режимі отримання сигналу;
- запис сигналу в оперативну пам'ять для наступного аналізу;
- запуск запису сигналу за перевищенням рівня порогового значення;
- запис сигналу на жорсткий диск.

Вибір типу аналізатора спектру з наведеного переліку визначається функціональною ціною приладу та обумовлюється способом його застосування (конфігурацією системи).

Варіантні виконання діагностичної системи

Діагностична система, основу якої складає ЕС, може бути виконана за двома варіантами – як бортова інтегрована в ТЕР (система самодіагностики) або як зовнішня, що підключається до ТЕР автомобіля (рис. 3).

В інтегрованій системі (рис. 3, а), датчик струму (ДХ) і контролер експертної системи (КЕС) з робочою програмою опитування і порівняння та індивідуальною для борта автомобіля базою еталонних значень (БЕД) діагностичного параметра, є штатним діагностичним обладнанням автомобіля. При цьому, ДХ підключається стаціонарно до кола ВАБ за межами технологічної перемички.

Додатково, в інтегрованій системі передбачається система аварійного відключення живлення та сигналізації аварійного стану (САВС) [5]. В такій системі БЕД формується на борту конкретного автомобіля під час його тестування на етапі адаптації системи ТЕР (період розробки ЕС) в умовах підприємства-виробника, до випуску автомобіля у продаж та експлуатацію.

Локалізація несправності (індикація факту і причини несправності) та забезпечення аварійних режимів (відключення ВАБ через

блок САВС) інтегрованою діагностичною системою за результатами моніторингу діагностичного параметра, забезпечується автоматично безпосередньо під час транспортного процесу в період експлуатації автомобіля.

До переваг інтегрованої системи самодіагностики слід віднести:

- можливість реалізації активних функцій (аварійний і адаптивний режими) бортової діагностичної системи;

- постановка діагнозу і локалізація пошкодженого модуля не потребує діагностичного устаткування;

- база еталонних даних отримана безпосередньо на борту автомобіля, який діагностується (виключення помилки розкиду значень параметрів).

- зниження витрат на технічне обслуговування автомобіля з боку власника автомобіля.

В системі, яка підключається із зовні (рис. 3, б), ЕС на програмному рівні реалізується у середовищі ПК. В пам'яті ПК зберігаються бази еталонних значень діагностичних параметрів (мультимарочні бази даних), які заздалегідь придбаються через дилерські мережі виробників автомобілів. Зв'язок ПК з колом ВАБ здійснюється через вимірювальний зонд. При цьому розглядається декілька варіантів зв'язку.

В першому варіанті застосовується аналізатор спектру модульного типу, який підключається до кола ВАБ за допомогою аналогового датчика Холла (див. рис. 1, в) або вимірювача струму кліщової конструкції (див. рис. 1, г). В цьому випадку, локалізація несправності здійснюється під час тестування системи ТЕП у стаціонарних умовах на діагностичному посту з потужнісним стендом.

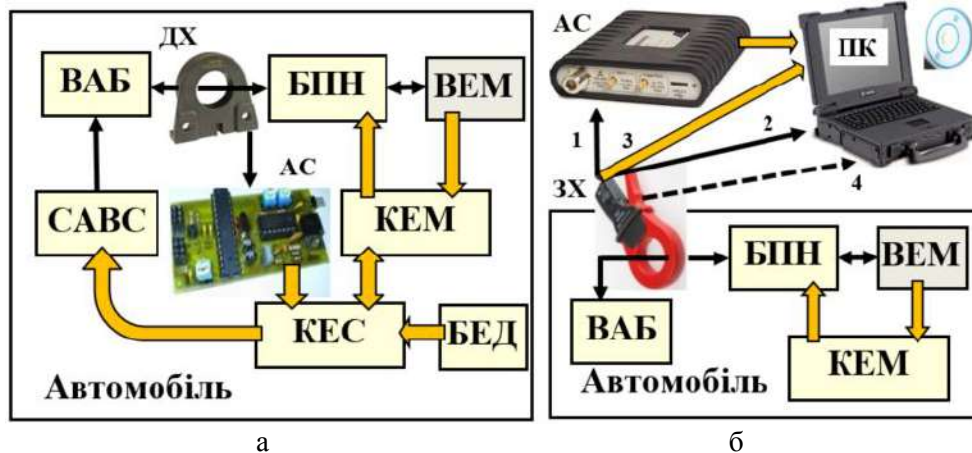


Рис. 3. Конфігурації діагностичної системи на базі ЕС:
а – інтегрованої в електропривод; б – зовнішнього підключення

Процес тестування зовнішньою діагностичною системою полягає у наступному. Автомобіль встановлюється на роликівий випробувальний стенд. Збирається вимірювальне коло діагностичної системи наступним чином:

- з ВАБ електроприводу знімається штатна технологічна перемичка;

- встановлюється перемичка, з відповідним вимірювачем струму;

- вимірювач струму через модуль АС підключається до ПК;

- система вмикається, на моніторі ПК встановлюють робочі вікна.

Далі, активізується ЕП автомобіля в наступній послідовності:

- виставляється нейтральна передача трансмісії;

- вмикається живлення борта (перший режим тестування);

- забезпечується обертання електродвигуна приводу без навантаження з заданою швидкістю (режим пуску і холостого ходу);

- передача трансмісії переводиться в положення, що забезпечує максимальний обертовий момент;

- на випробувальному стенді забезпечують задане навантаження на колесо при означеній швидкості обертання електродвигуна ЕП;

- розвантажують ролики стенда, забезпечують нейтральну передачу, вимикають живлення борта.

Після тестування оператор обробляє результати вимірювань та активізує програму ЕС. Результати тестування у вигляді виснов-

ків про причину несправності виводяться на монітор ПК.

Другий варіант передбачає використання програмного АС (рис. 2, г). В цьому випадку, аналоговий вимірювач струму типу СС65 [13] підключається безпосередньо до мікрофонного входу ПК. Аналогічним чином використовуються цифрові вимірювачі струму типу РСЕ-РСМ1 (варіант 3), які підключаються до ПК через USB-порт [14] та вимірювачі з вбудованим Bluetooth-каналом типу FLIR CM83 [15] (варіант 4).

Основною перевагою зовнішньої діагностичної системи є можливість її застосування для діагностування автомобілів, які не оснащені інтегрованою системою самодіагностики. Оскільки тестування ТЕП автомобіля системою зовнішнього підключення проводиться на приводному стенді, то для умов автосервісу найбільш доцільним є використання четвертого варіанту зв'язку, що забезпечує максимальну продуктивність обслуговування.

Висновки

За результатами досліджень виконано наступне: обрано тип датчика струму на ефекті Холла; запропоновано варіанти вимірювальних зондів з вимірювачами кільцевої та кліщової конструкції; розглянуто варіанти застосування аналізаторів спектру для модифікації параметрів діагностичного сигналу на різних етапах розробки; запропоновано дві конфігурації діагностичної системи – інтегрованої в електропривод автомобіля і з підключенням із-зовні; визначено декілька варіантів зв'язку (моделей) вимірювачів струму з експертною системою, яка реалізована в середовищі універсальних комп'ютерних засобів.

Література

1. Top 6 Car Diagnostic Software in 2017. 2018. URL: <http://www.archer-soft.com/en/blog/> (дата звернення 16.01.2019).
2. Бороденко Ю.М. Ідентифікація несправностей електроприводу автомобіля з вентильним двигуном. *Весник ХНАДУ*. Харків. 2016. Вип. № 72. С. 13 – 18.
3. Бороденко Ю.М. Ідентифікація несправностей енергетичної установки гібридного автомобіля. *Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. Харків, 2016. Вип. №9. С. 27 – 31.
4. Бороденко Ю.М. Аналіз структури електроприводу гібридного автомобіля, як об'єкту діагностики. *Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. Харків, 2016.

Вип. №10. С. 5 – 10.

5. Бороденко Ю.М. Синтез експертної діагностичної системи електроприводу автомобіля. *Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. Харків, 2018. Вип. №13. С. 108 – 114.
6. Paul Emerald. Non-Intrusive Hall-Effect Current-Sensing Techniques Provide Safe, Reliable Detection and Protection for Power Electronics. 2018. URL: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/>. (дата звернення 16.01.2019).
7. CSLA2DG - Current Sensor. 2018. URL: <http://uk.farnell.com/honeywell/csla2dg/current-sensor-150a-6v-12v/dp/> (дата звернення 06.12.18).
8. Inside Hall Effect (AC, DC) clamp meters. 2018. URL: <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/test-tools-basics/clamp-meters/>. (дата звернення 16.01.2019).
9. R&S@UPV Audio Analyzer Operating Manual. 2018. URL: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/u/upv_1/UPV_UserManual_en_13.pdf (дата звернення 06.12.18).
10. Tektronix RSA306 USB Real Time Spectrum Analyzer. 2018. URL: <https://www.testequity.com/products/24120/>. (дата звернення 16.01.2019).
11. Atmega8 spectrum analyzer. 2018. URL: <https://hackaday.com/2009/12/27/atmega8-spectrum-analyzer/> (дата звернення 16.01.2019).
12. Програма «Аналізатор спектра». Руководство оператора. 2018. URL: <https://docplayer.ru/73475610-Programma-analizator-spektra-rukovodstvo-operatora.html> (дата звернення 06.12.18).
13. Clamp Meters. 2018. URL: <https://www.industrial-needs.com/measuring-instruments/clamp-meters.htm>. (дата звернення 16.01.2019).
14. CC65 Digital AC/DC Current Clamp Meter Multimeter Oscilloscope with BNC Connector. 2018. URL: <https://www.amazon.com/Digital-Current-Multimeter-Oscilloscope-Connector/dp/B0744MP7DF> (дата звернення 06.12.18).
15. FLIR CM83 Power Clamp Meter 600A with VFD and Bluetooth. 2018. URL: <https://www.amazon.com/FLIR-CM83-Power-Clamp-Bluetooth/dp/B00FPK5DA2>. (дата звернення 16.01.2019).

References

1. Top 6 Car Diagnostic Software in 2017. Retrived from: <http://www.archer-soft.com/en/blog/> (accessed 16.01.19).
2. Borodenko Yu.M. Identifikatsiya nespravnostey elektroprivodu avtomobilya z ventyl'nyim dvyhunom. [Identification of faults of the electric

- drive of a car with a brushless motor.] *Vesnik KHNADU*. Khar'kiv. 2016. № 72. P. 13 – 18 [in Ukrainian].
3. Borodenko Yu.M. Identyfikatsiya nespravnostey enerhetychnoyi ustanovky hibrydoho avtomobilya. [Identification of malfunctions of the power unit of a hybrid vehicle]. *Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye*. Kharkiv. 2016. №9. C. 27 – 31 [in Ukrainian].
 4. Borodenko Yu.M. Analiz struktury elektropryvodu hibrydoho avtomobilya, yak ob"yektu diahnostyky [Analysis of the structure of the electric drive of a hybrid vehicle as an object of diagnostics] *Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye*. Kharkiv. 2016. №10. P. 5 – 10 [in Ukrainian].
 5. Borodenko Yu.M. Syntez ekspertnoyi diahnostychnoyi systemy elektropryvodu avtomobilya [Synthesis of the expert diagnostic system of the electric drive of the vehicle]. *Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye*. – Kharkiv. 2018. №13. P. 108 – 114.
 6. Paul Emerald. Non-Intrusive Hall-Effect Current-Sensing Techniques Provide Safe, Reliable Detection and Protection for Power Electronics. Retrieved from: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/> (accessed 06.12.18).
 7. CSLA2DG - Current Sensor. Retrieved from: <http://uk.farnell.com/honeywell/csla2dg/current-sensor-150a-6v-12v/dp/> (accessed 06.12.18).
 8. Inside Hall Effect (AC, DC) clamp meters. Retrieved from: <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/test-tools-basics/clamp-meters/> (accessed 06.12.18).
 9. R&S®UPV Audio Analyzer Operating Manual. Retrieved from: file:///C:/Users/user/Downloads/UPV_UserManual_en_13-5157.pdf (accessed 06.12.18).
 10. Tektronix RSA306 USB Real Time Spectrum Analyzer. Retrieved from: <https://www.testequity.com/products/24120/> (accessed 06.12.18).
 11. Atmega8 spectrum analyzer. Retrieved from: <https://hackaday.com/2009/12/27/atmega8-spectrum-analyzer/> (accessed 06.12.18).
 12. Programma «Analizator spektr». Rukovodstvo operatora. [Program "Analyzer spectrum". Operator's manual]. Retrieved from: <http://docplayer.ru/73475610-Programma-analizator-spektra-rukovodstvo-operatora.html>. (accessed 06.12.18).
 13. Clamp Meters. Retrieved from: <https://www.industrial-needs.com/measuring-instruments/clamp-meters.htm>. (accessed 06.12.18).
 14. Digital AC/DC Current Clamp Meter Multimeter Oscilloscope with BNC Connector. Retrieved from: <https://www.amazon.com/Digital-Current-Multimeter-Oscilloscope-Connector/dp/B0744MP7DF> (accessed 06.12.18).
 15. FLIR CM83 Power Clamp Meter 600A with VFD and Bluetooth. Retrieved from: <https://www.amazon.com/FLIR-CM83-Power-Clamp-Bluetooth/dp/B00FPK5DA2> (accessed 06.12.18).

Бороденко Юрій Миколайович¹, к.ф.м. н., доцент каф. автомобільної електроніки, 098-362-9112, docentmaster@gmail.com
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Hardware implementation of the diagnostic system of a car electric drive

Abstract. Operational monitoring of vehicle diagnostic parameters allows you to timely establish the fact of a malfunction, localize the location of damage and affect the drive system to avoid an emergency situation. The purpose of research at this stage is the selection of traction electronic devices and the synthesis of the design of an information-measuring complex for monitoring the diagnostic parameters of a car traction electric drive system. The hardware implementation of the measuring complex, in general, involves the solution of several problems: the choice of the type of current sensor; integration of the sensor into the battery; building a spectrum analyzer structure; selection of digital signal processing system configuration; constructive and electrical binding of the complex to the object of diagnosis. As a diagnostic parameter to assess the technical condition of the traction electric drive, the spectral composition of the periodic function of the battery current is considered. To measure the current at the stage of a physical experiment in the power supply circuit, it is necessary to determine the type of the non-contact current sensor. For technological reasons, annular sensor designs are appropriate to use in integrated measuring channels, the clamped ones - in external connection systems. In the first case, the requirements for the design and technical characteristics, an analog current sensor type CSLA2DG ring design was selected. In the second case, universal current meters of industrial designs with analog, digital or radio frequency output can be used. For linking the current sensor to the power supply circuit of the traction electric drive, the proposed designs of the technological jumper of the battery are proposed. The choice of the type of spectrum analyzer is determined by the method of its application (development stage, system configuration). At the stage of building the knowledge base of an expert system, several options (hardware, software, hardware and software) of low-frequency spectrum analyzers for various purposes, such as equalizers, sound level meters, vibration

analyzers, were considered. Based on the selected devices of the measuring channel, two configurations of the diagnostic system were synthesized – integrated into the traction electric drive and external connection. Several options of connection (models) of current meters with an expert system, which is implemented in the environment of universal computer facilities, are determined.

Keywords: electric drive, Hall sensor, high-voltage battery, spectrum analyzer, diagnostic system.

Yuriy Borodenko¹, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys.-Maht.), 098-362-9112, docentmaster@gmail.com

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

Аппаратная реализация диагностической системы электропривода автомобиля

Аннотация. Рассмотрены вопросы построения

диагностической системы тягового электропривода автомобиля. Предложена реализация измерительного канала на базе аналогового датчика Холла. Избран тип анализатора спектра. Приведены конфигурации диагностической системы, интегрированной в электропривод и системы внешнего подключения.

Ключевые слова: электропривод, датчик Холла, высоковольтная аккумуляторная батарея, анализатор спектра, диагностическая система.

Бороденко Юрий Николаевич¹, к. ф.-м. н., доцент каф. автомобильной электроники, 098-362-9112, docentmaster@gmail.com

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

ИНДУКТИВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО RLC-КОНТУРА ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ НАПРЯЖЕНИЯ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Батыгин Ю. В.¹, Гаврилова Т. В.¹, Шиндерук С. А.¹, Сериков Г. С.¹,
Серикова И.А.¹, Черный Е. Е.¹,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Аннотация. Определена амплитудно-временная форма тока во вторичном «выходном» контуре системы из двух индуктивно связанных последовательных резонансных контуров ангармоническими сигналами, спектр которых содержит высшие гармоники с частотами, кратными основному типу колебаний, когда «входной» контур возбуждается периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения

Ключевые слова: трансформатор Тесла, RLC-контур, резонанс напряжений, ангармонический сигнал, резонансный контур, активно-реактивный контур.

Введение

Впервые резонансный преобразователь напряжения, названный по имени изобретателя «трансформатором Тесла», был запатентован ещё в начале прошлого века. Его основные составляющие – два активно-реактивных RLC-контур с индуктивной связью между ними. В целом, первичный контур с внешним источником питания представлял собой генератор переменного напряжения, работающий в резонансе на частоте вторичного контура, с обмотки которого снималось выходное напряжение.

Основным недостатком заявленного преобразователя является весьма малый вторичный ток, который с физической точки зрения представляет собой ток смещения, замыкающий выход вторичной обмотки. В этой связи трансформатор Тесла, являющийся сверхэффективным усилителем напряжения (коэффициент усиления ≥ 1000), не может работать как усилитель электрической мощности [1-3].

Однако, если его выходной контур нагрузить сосредоточенной ёмкостью и возбудить в режиме «резонанса напряжений», то преобразователь такого типа можно рассматривать уже как усилитель мощности, который представляет особый интерес в практической электротехнике.

Анализ публикаций

Для начала анализа специальной литературы по теме настоящей статьи и ясности в дальнейшем изложении более подробно осветим основную конструктивную особенность трансформатора Тесла, состоящую в том, что его

выход не замкнут электрически. Ёмкость вторичного контура является распределённой и обеспечивается пространственной связью с окружающими объектами. Этот факт определяет практическую сложность резонансного возбуждения, ввиду существенной зависимости от внешних условий. В этой связи трансформатор Тесла – беспрецедентный усилитель напряжения не нашёл достойного практического применения. Хотя справедливости ради следует указать, что данное изобретение было задумано автором в первую очередь для беспроводной передачи электрической энергии на большие расстояния [4, 5].

Говоря о «модернизированной» схеме трансформатора Тесла с ёмкостной нагрузкой вторичной обмотки, то данное устройство в режиме «резонанса напряжений» используется для питания высокоомной нагрузки повышенным напряжением, в устройствах индукционного нагрева и др. [6-10].

Следует отметить, что в теории и приложениях условия «резонанса напряжений» сформулированы, как правило, только для синусоидального сигнала, на определенной частоте и в установившемся режиме [11].

С практической точки зрения (например, работа [8]) представляет интерес индуктивное возбуждение последовательного активно-реактивного контура ангармоническими сигналами, спектр которых наряду с основной частотой колебаний содержит, так называемые, высшие гармоники с частотами, кратными основному типу колебаний [11, 12].

Цель и постановка задачи

Целью настоящего рассмотрения является получение аналитических зависимостей для амплитудно-временной формы возбуждаемого тока при резонансе напряжений во вторичном активно-реактивном контуре. Последний возбуждается с помощью индуктивной связи с первичным активно-реактивным контуром, где входной сигнал представлен временной периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения.

Научная новизна состоит в получении аналитических зависимостей для амплитудно-временной формы возбуждаемого тока при

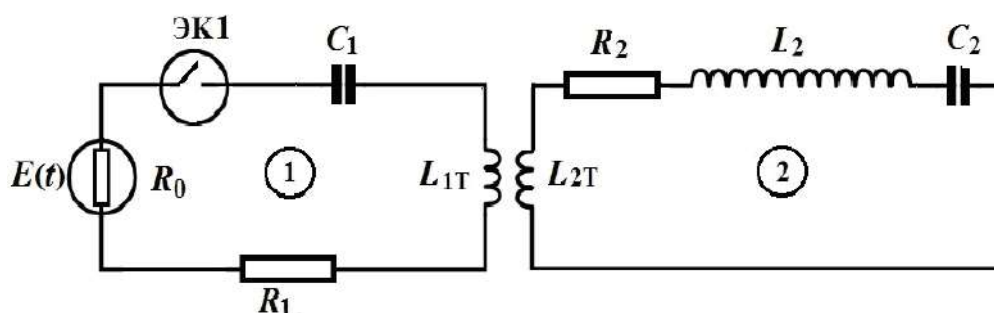


Рис. 1. Схема замещения системы из индуктивно связанных резонансных контуров: R, L, C – элементы возбуждающего контура 1, $E(t)$ – источник напряжения с внутренним сопротивлением $R_0, R_2, (L_{1T} + L_{2T}), C_2$ – элементы возбуждаемого резонансного контура 2

В соответствии с поставленной целью необходимо сделать выбор основных параметров системы:

- Контуров связаны воздушным трансформатором, индуктивность первичной обмотки которого – L_{1T} , вторичной – L_{2T} .

- Первичный контур – 1 содержит последовательно соединённые индуктивность – L_{1T} (индуктивность первичной обмотки трансформатора связи), ёмкость – C_1 , активное сопротивление всех проводов – R_1 , внутреннее активное сопротивление источника напряжения – R_0 , причём последние достаточно малы, так что их сумма много меньше реактивных сопротивлений контура $(R_0 + R_1) \ll \omega_1 \cdot L_{1T}$ и $(R_0 + R_1) \ll \frac{1}{\omega_1 \cdot C_1}$, где $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_{1T} \cdot C_1}}$ – собственная частота контура.

- Вторичный контур – 2 содержит индуктивность – L_{2T} (индуктивность вторичной обмотки трансформатора связи), отдельная «выходная» индуктивность – L_2 , ёмкость – C_2 , активное сопротивление соединительных проводов – R_2 , величина которого настолько мала, что $R_2 \ll \omega_2 \cdot (L_{2T} + L_{1T})$, где

резонансе напряжений во вторичном активно-реактивном контуре системы из двух индуктивно связанных контуров, возбуждаемой временной периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения, что, фактически, представляет собой возбуждение резонанса ангармоническими сигналами.

Постановка задачи

Расчётные модели системы из индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров и временной формы возбуждающего напряжения представлены на рис. 1.

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L_{2T} + L_2) \cdot C_2}} \text{ – собственная частота контура.}$$

Выбор достаточно малых активных сопротивлений в индуктивно связанных контурах системы обусловлен стремлением к минимуму диссипативных потерь электрической энергии.

- Частоты первичного и вторичного контуров равны, так что $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ – резонансная частота системы.

- Источник питания генерирует последовательность ангармонических импульсов напряжения с амплитудой – E_m , временной функцией – $E(t)$ и частотой следования $\omega_0 = 2\pi/T$ (T – период), равной резонансной частоте системы – ω , так что $\omega_0 = \omega$.

Отметим, что принимаемая постановка задачи позволяет сконцентрироваться на проблеме формирования резонансных квазигармонических тока и напряжения в системе из двух индуктивно связанных резонансных последовательных активно-реактивных контуров при её возбуждении произвольными ангармоническими электрическими сигналами.

Графически иллюстрирует последователь-

ность униполярных прямоугольных импульсов рис. 2.

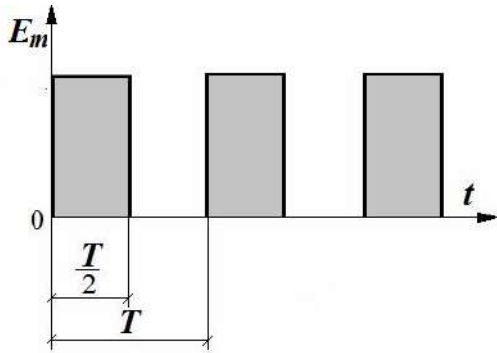


Рис. 2. Временная форма возбуждающих импульсов напряжения

Расчётные соотношения

При решении поставленной задачи воспользуемся операторным методом расчёта электрических цепей [6].

Система дифференциальных уравнений в пространстве изображений по Лапласу при нулевых начальных условиях где $U_{C_{1,2}}$ – напряжения на емкостях $\left\{ U_{C_{1,2}}(0) = \frac{dU_{C_{1,2}}(0)}{dt} = 0 \right\}$ имеет вид [6, 7]:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{pC_1} + (R_1 + R_0) + pL_{1T} \right) \cdot I_1(p) + \\ \left(\frac{1}{pC_1} + (R_1 + R_0) + pL_{1T} \right) \cdot I_1(p) + \\ + pM_{12} \cdot I_2(p) = E(p); \\ \left(\frac{1}{pC_2} + R_2 + p(L_{2T} + L_2) \right) \cdot I_2(p) + \\ + pM_{12} \cdot I_1(p) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

где p – оператор Лапласа;

$I_{1,2}(p) = L\{I_{1,2}(t)\}$ – токи в контурах;

$M_{1,2} = k \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}}$ – взаимоиндуктивность

обмоток трансформатора связи между контурами;

$k \in [0,1]$ – коэффициент электромагнитной связи.

Из системы (1) находим L – изображение тока, возбуждаемого во вторичном контуре.

$$I_2(p) = \frac{E(p)}{M_{12}} \times \frac{p^3}{p^4 - \alpha(p^2 + 2\delta_1 p + \omega_1^2)(p^2 + 2\delta_2 p + \omega_2^2)}, \quad (2)$$

где $\alpha = \left[\frac{(L_{2T} + L_2)}{k \cdot L_{2T}} \right], \alpha \in \left[\frac{1}{k}, \infty \right),$ для $k \leq 1;$

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{(R_0 + R_1)}{2L_{1T}}, \\ \delta_2 &= \frac{R_2}{2(L_{2T} + L_2)}, \end{aligned} \right\} \text{ – декременты затухания;}$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{\sqrt{L_{1T} \cdot C_1}}, \\ \omega_2 &= \frac{1}{\sqrt{(L_{2T} + L_2) \cdot C_2}} \end{aligned} \right\} \text{ – собственные частоты резонансных контуров.}$$

Как представляется из априорных феноменологических соображений, принципиальный ответ на вопрос о формировании вторичного тока можно получить в упрощающем предположении равенства электродинамических параметров резонансных контуров:

$$\left\{ \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_2 = \delta; \\ \omega_1 &= \omega_2 = \omega. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Как следствие из соотношений (3) вытекает равенство добротностей первичного и вторичного контуров.

Действительно, $Q_1 = \frac{\omega L_{1T}}{(R_0 + R_1)} = \frac{\omega}{2\delta}$ и

$Q_2 = \frac{\omega(L_{2T} + L_2)}{R_2} = \frac{1}{2\delta},$ то есть $Q_1 = Q_2 = Q.$

Выражение (2) с учётом равенств (3) принимает вид:

$$I(p) = \frac{E(p)}{M} \cdot F(p), \quad (4)$$

где $F(p) = \frac{p^3}{p^4 - \alpha \cdot (p^2 + 2\delta p + \omega^2)^2}.$

Переходя в (4) в пространство оригиналов, находим временную зависимость резонансного тока во вторичном контуре [12].

$$I_2(t) = \frac{1}{M_{12}} \cdot \int_0^t F(t-x) \cdot E(x) dx, \quad (5)$$

где $F(t) \leftrightarrow F(p)$.

Полюсы функции $F(p)$ суть величины [12]:

$$\begin{cases} p_{1,2} = -\delta_{e1} \pm i\sqrt{\omega_{e1}^2 - \delta_{e1}^2}, \\ p_{3,4} = -\delta_{e2} \pm i\sqrt{\omega_{e2}^2 - \delta_{e2}^2}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\delta_{e1} = \delta \cdot \frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}-1)}$; $\delta_{e2} = \delta \cdot \frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}+1)}$ – декременты затухания;

$$\omega_{e1} = \omega \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}-1)}}; \omega_{e2} = \omega \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}+1)}} \text{ – собственные частоты резонансных контуров.}$$

Её оригинал находим по второй теореме разложения [12].

Пренебрегая слагаемыми порядка $\left\{ \frac{\delta_{e1}}{\omega_{e1}} \ll 1, \frac{\delta_{e2}}{\omega_{e2}} \ll 1 \right\}$ согласно постановке задачи о достаточной малости активных сопротивлений, получаем, что:

$$F(t) \approx -\frac{1}{2\sqrt{\alpha}} \operatorname{Re} \left\{ e^{(-\delta_{e1} + i\omega_{e1})t} + e^{(-\delta_{e2} + i\omega_{e2})t} \right\} \quad (7)$$

Для дальнейшего использования функции $F(t)$ зависимость (7) можно упростить, если учесть, что реально, как правило, $\sqrt{\alpha} \gg 1$.

Тогда $\{\omega_{e1} \approx \omega_{e2} \approx \omega, \delta_{e1} \approx \delta_{e2} \approx \delta\}$ и окончательно функция $F(t)$ запишется в виде:

$$F(t) \approx -\frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot e^{-\delta t} \cos(\omega \cdot t). \quad (8)$$

Зависимость (8) подставим под знак интеграла (5).

После введения фазы, как произведения резонансной частоты на время, и несложных тождественных преобразований получим выражение для тока, возбуждаемого во вторичном контуре произвольным напряжением источника – $E(t)$.

$$I_2(\varphi) = k \cdot \sqrt{\frac{L_2 T}{L_1 T}} \cdot \frac{1}{\omega \cdot (L_2 T + L_2)} \times \int_0^{\varphi} e^{-\delta_0(\varphi-x)} \cos(\varphi-x) \cdot E(x) dx, \quad (9)$$

где $\varphi = \omega \cdot t$ – фаза,

$\delta_0 = \delta / \omega$ – относительный декремент затухания.

Следует отметить, что полученная зависимость для возбуждаемого тока справедлива для любой временной формы возбуждающего напряжения и может служить основой для дальнейшего теоретического анализа процессов в системе из двух индуктивно-связанных последовательных резонансных активно-реактивных контурах при их возбуждении произвольным ангармоническим напряжением. При подключении прямоугольных сигналов к входу системы в выражение (9) следует подставить соответствующую функцию – $E(t)$.

Выводы

Определены аналитические зависимости амплитудно-временной формы тока во вторичном «выходном» контуре системы из двух индуктивно связанных последовательных резонансных контуров, когда первичный «входной» контур возбуждается периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения что, фактически, представляет собой возбуждение резонанса ангармоническими сигналами.

Полученные аналитические зависимости станут базовыми для последующего анализа и численных оценок с последующим переходом к экспериментам для обоснования практической дееспособности способов возбуждения резонансных контуров ангармоническими сигналами.

Работа проводилась кафедрой физики ХНАДУ в рамках Научного исследования: «Энергоберегающие малозатратные технологии питания и ремонта транспортных средств» 08-53-19, финансируемого Министерством образования и науки Украины.

Литература

1. Tesla N. Lectures. Patents. Articles. 2019. URL: <https://ru.scribd.com/document/329266819/Nikola-Tesla-Lectures-Patents-Articles> (дата обращения 20.03.2019).
2. Tesla N. My Inventions: and Other Writings // First Edition, First edition. Mineola, New York: Dover Publ. 2016. 144 p.
3. Tesla N., Shedleski T. Inventions of Nikola Tesla: A Complete Set of Patents. Paperback Publ. 2014. 610 p.
4. Яворский В. Энергия из ниоткуда. *Наука и жизнь*. 1998. №10. С. 78–79.
5. P.H. Plesch: High Vacuum Techniques for Chemical Syntheses and Measurements. Cambridge Uni-

- versity Press. 2009. 167 p.
6. Agheb E., Hayati Soloot A., Niayesh K., Hashemi E., Jadidian J. On the Optimum Design of Air-Cored Tesla Transformers. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*. 2009. vol.115. №.6. P. 1152–1154.
 7. Резонансный усилитель мощности тока промышленной частоты. 2010. URL: <http://allpowr.su/ru/33> (дата обращения 20.03.2019).
 8. Пат. 95481 України. Спосіб індукційного нагріву металевих елементів автомобільних конструкцій Оpubл. 25.12.2014.
 9. Индуктор, индукционное оборудование. 2014. URL: [www.индуктор – авто.рф](http://www.индуктор-авто.рф) (дата обращения 25.03.2019).
 10. Craven, R. M., Smith, I. R., Novac, B. M. Optimizing the secondary coil of a Tesla transformer to improve spectral purity. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2014. vol.42, №.1, P. 143–148.
 11. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. Л: Энергия. 2006. 220с.
 12. Korn G.A. Korn T.M. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulas for Reference and Review* 2nd ed. New York: Dover Publ. Inc. 2000. 1152 p.

References

1. Tesla N. Lectures. Patents. Articles. 2019. Retrived from: <https://ru.scribd.com/document/329266819/Nikola-Tesla-Lectures-Patents-Articles> (accessed: 20.03.2019).
2. Tesla N. (2016) *My Inventions: and Other Writings*. First Edition, First edition. Mineola, New York: Dover Publ.
3. Tesla N., Shedleski T. (2014) *Inventions of Nikola Tesla: A Complete Set of Patents*. Paperback Publ.
4. Iavorskii V. (1998) Energiia iz niotkuda [Energy from nowhere] *Nauka i zhizn'*, 10, 78–79 [in Russian].
5. P.H. Plesch (2009) *High Vacuum Techniques for Chemical Syntheses and Measurements*. Cambridge University Press.
6. Agheb E., Hayati Soloot A., Niayesh K., Hashemi E., Jadidian J. (2009) On the Optimum Design of Air-Cored Tesla Transformers. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*, 115(6), 1152–1154.
7. Rezonansnyj usilitel' moshhnosti toka promyshlennoj chastoty [Resonant power amplifier current industrial frequency] Retrived from: <http://allpowr.su/ru/33> (accessed: 20.03.2019) [in Russian].
8. Pat. 95481 Ukrayiny`. Sposib indukciynogo nagrivu metalivih elementiv avtomobil'nih konstrukcij. [The method of induction heating of metal elements automotive structures]. Opubl. 25.12.2014 [in Ukrainian].
9. Индуктор, индукционное оборудование [Inductor,

induction equipment]. Retrived from: [www.индуктор – авто.рф](http://www.индуктор-авто.рф) (accessed: 25.03.2019) [in Russian].

10. Craven, R. M., Smith, I. R., Novac, B. M. (2014) Optimizing the secondary coil of a Tesla transformer to improve spectral purity. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 42(1), 143–148.
11. Atabekov G.I. (2006) *Osnovy teorii cepej*. [Fundamentals of the theory circuit]. L: Jenergija.
12. Korn G.A. Korn T.M. (2000) *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulas for Reference and Review* 2nd ed. New York: Dover Publ. Inc.

Батыгин Юрий Викторович¹, д.т.н., проф., заведующий кафедрой физики, +380577073653, yu.v.batygin@gmail.com;

Гаврилова Татьяна Владимировна¹, к.ф.-м.н., доц. кафедры физики, +380577073727, gavrilova.tatyana@i.ua

Шиндерук Светлана Александровна¹, к.т.н., доц. кафедры физики, +380577073727, s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Сериков Георгий Сергеевич¹, к.т.н., доц. кафедры автомобильной электроники, +380577003852, georgy301212@gmail.com;

Серикова Ирина Алексеевна¹, к.т.н., доц. кафедры автомобильной электроники, +380671085237, irinaserikova_ae_khadi@ukr.net;

Черный Евгений Евгеньевич¹, студент, +380674301464, e.cherniy@ukr.net.

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

Inductive excitation of a serial RLC-circuit with rectangular voltage pulses. Calculated relations

Abstract. Problem. The “voltage resonance” conditions in the well-known theories and applications, as a rule, are formulated only for a sinusoidal signal, at a certain frequency and in a steady state. Inductive excitation of a sequential active-reactive circuit with anharmonic signals from a practical point of view is of greater interest. **Goal.** The purpose of this work is to obtain design ratios for the characteristics of inductive excitation of voltage resonance in a system of two inductively coupled sequential active-reactive circuits by anharmonic signals, the spectrum of which, along with the fundamental frequency of oscillations, contains so-called higher harmonics with frequencies multiple to the main type of oscillations. **Methodology.** With the help of limiting transitions to the corresponding, the reliability of the found basic analytical dependences for the excited currents and voltages is shown. The obtained calculated relations are based on rigorous mathematical approach using the apparatus of the theory of electrical circuits. **Results.** The amplitude-time form of the excited current is found by solving the transient problem. The dependence obtained allows us to analyze the flowing processes, determine the effect

of circuit electrical parameters and establish the contribution of higher harmonics to the formation of the output signal, as well as calculate specific indicators of the effectiveness and efficiency of the system under consideration under anharmonic excitation. **Originality.** The scientific novelty consists in obtaining the calculated amplitude-time dependence for the current in the secondary circuit with inductive excitation of the voltage resonance in a system of two inductively connected successive active-reactive circuits by anharmonic signals, whose spectrum, together with the fundamental frequency of oscillations, contains the so-called highest harmonics with frequencies multiples of the main type of vibrations. **Practical value.** The results of the analysis are necessary for the design of electrical devices with resonant components. For example, to supply high-resistance loads with increased voltage, in induction heating devices, etc.

Key words: Tesla transformer, inductively coupled circuits, Q -factor, transformation ratio, voltage amplifier.

Batygin Yuriy Victorovich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Physics Chair, +380577073653, yu.v.batygin@gmail.com;

Gavrilova Tatyana Vladimirovna¹, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, +380577073727, gavrilova.tatyana@i.ua;

Shinderuk Svetlana Alexandrovna¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Physics Chair, +38(057)707-37-27, s.shinderuk.2016102@ukr.net;

Serikov Georgiy Sergeevich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the of the Vehicle Electronics Chair, +380577003852, georgiy301212@gmail.com;

Sierikova Irina Alekseevna¹, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +3806 71085237, irinaserikova_ae_khadi@ukr.net;

Cherniy Evgeniy Evgenievich¹, student, +380674301464, e.cherniy@ukr.net.

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

Індуктивне збудження послідовного RLC-контурі прямокутними імпульсами напруги. Розрахункові співвідношення

Анотація. Постановка проблеми. У відомих теорії і додатках умови «резонансу напруг» сформульовані, як правило, тільки для синусоїдального сигналу, на певній частоті і в усталеному режимі. Проте з практичної точки зору представляє інтерес індуктивне збудження послідовного активно-реактивного контуру ангармонічними сигналами. **Мета.** Метою цієї роботи є отримання розрахункових співвідношень для характеристик індуктивного збудження резонансу напруг в системі з двох індуктивно зв'язаних послідовних активно-реактивних

контурів ангармонічними сигналами, спектр яких поряд з основною частотою коливань містить, так звані, вищі гармоніки з частотами, кратними основному типу коливань. **Методика.** За допомогою граничних переходів до відповідних аналогів в авторитетних спеціальних публікаціях показана достовірність знайдених базових аналітичних залежностей для струмів, що збуджуються і напруг. Отримані розрахункові співвідношення базуються на фізично «прозорих» феноменологічних положеннях і строгому математичному підході з використанням апарату теорії електричних ланцюгів. **Результат.** Рішенням завдання про перехідний процес знайдена амплітудно-часова форма струму, що збуджується. Отримана залежність дозволяє проаналізувати процеси, що протікають, визначити вплив схемних електричних параметрів і встановити внесок вищих гармонік в формування вихідного сигналу, а також обчислити конкретні показники дієвості та ефективності розглянутої системи при ангармонічному збудженні. **Наукова новизна** полягає в отриманні розрахункових амплітудно-часових залежностей для струму у вторинному контурі при індуктивному збудженні резонансу напруг в системі з двох індуктивно зв'язаних послідовних активно-реактивних контурів ангармонічними сигналами, спектр яких поряд з основною частотою коливань містить, так звані, вищі гармоніки з частотами, що є кратними основному типу коливань. **Практична значимість.** Отримані вирази необхідні для аналізу і проектування електротехнічних пристроїв з резонансними компонентами, наприклад, для живлення високоомного навантаження підвищеною напругою, в пристроях індукційного нагріву та ін.

Ключові слова: трансформатор Тесла, RLC-контур, резонанс напруг, ангармонічний сигнал, резонансний контур, активно-реактивний контур.

Батигін Юрій Вікторович¹, д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики, +380577073653, yu.v.batygin@gmail.com;

Гаврилова Тетяна Володимирівна¹, к.ф.-м.н., доц. кафедри фізики, +380577073727, gavrilova.tatyana@i.ua

Шиндерук Світлана Олександрівна¹, к.т.н., доц. кафедри фізики, +380577073727, s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Серіков Георгій Сергійович¹, к.т.н., доц. кафедри автомобільної електроніки, +380577003852, georgiy301212@gmail.com;

Серікова Ірина Олексіївна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, irinaserikova_ae_khadi@ukr.net;

Чорний Євген Євгенович¹, студент, +380674301464, e.cherniy@ukr.net.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ «ПРЯМОГО ПРОПУСКАНИЯ ТОКА» МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Чаплыгин Е. А.¹, Ерёмкина Е. Ф.¹, Шиндерук С. А.¹, Коряк А. А.¹, Черный Е. Е.¹
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Анотация. Приведены результаты измерения распределения линейной плотности импульсного тока между точечными контактами источника мощности при различной геометрии их подключения. Показано, что степень поперечной концентрации протекающего тока относительно центра системы весьма слабо зависит от его временных характеристик и растёт в случае уменьшения расстояния между контактами подключения.

Ключевые слова: прямое пропускание тока, линейная плотность, поперечная концентрация, временные характеристики, магнитно-импульсное притяжение, электродинамические усилия.

Введение

Методы притяжения заданных участков листовых металлов с использованием энергии импульсных магнитных полей для разного рода обрабатывающих технологий приобретают всё большую актуальность в различных отраслях промышленного производства. Особое внимание привлекают разработки технологий удаления вмятин и выравнивания поверхностей листовых металлов при реставрации корпусов самолётов и автомобильных кузовов. В первом случае необходимость такой операции обусловлена нарушением аэродинамических характеристик летательного аппарата, вплоть до потери устойчивости в полёте, во втором - не только эстетическими соображениями, но зачастую и просто невозможностью дальнейшей эксплуатации транспортного средства с повреждённым кузовом. Как показывает практика, более 50 % повреждений представляют собой вмятины в зонах с затрудненным или полностью закрытым обратным доступом. Это различные корпусные элементы, крылья, фюзеляжи самолётов, двери, капоты, крыши, пороги, бампера автомобилей и т.д. [1-8].

Анализ публикаций

Существенный недостаток рихтовки с помощью механических вытяжных устройств – это крайне низкая надёжность выполняемой операции. Сохранность не гарантируется, ремонтируемый элемент может быть разрушен.

Наиболее перспективной технологией, позволяющей реставрацию с внешней стороны корпусов транспортных средств, является технология магнитно-импульсного притяжения

заданных участков листовых металлов. Следует выделить теоретически и экспериментально обоснованные предложения, сформулированные авторами работ [9, 10].

Первая из них представляет способ, основанный на экспериментально обнаруженном эффекте притяжения тонкостенных ферромагнетиков при достаточно низких рабочих частотах действующих полей [9]. Вторая посвящена инструментам магнитно-импульсного притяжения, принцип действия которых основан на силовом взаимодействии проводников с однонаправленными токами [10]. Несмотря на целый ряд неоспоримых достоинств, недостатком вышеуказанных предложений является ограниченность силовых возможностей. Величины возбуждаемых усилий обусловлены индукционными эффектами, которым, как правило, сопутствуют значительные потери электромагнитной энергии [11-13].

Цель и постановка задачи

Цель экспериментов – измерение поперечного распределения линейной плотности импульсного тока на поверхности листового металла между точечными контактами источника мощности при различной геометрии их подключения.

Для достижения поставленной цели необходимо провести измерение интегральных характеристик поперечного токораспределения по поверхности листового металла между контактами подключения реального источника мощности – низковольтной и высоковольтной магнитно-импульсной установки, что требуется для сравнения модельных и

реальных характеристик.

Интегральные характеристики поперечного токораспределения

Способом магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов, который может быть положен в основу создания эффективного инструмента внешней рихтовки автомобильных кузовов, является способ «прямого пропускания тока» через обрабатываемый металл. Его привлекательность обусловлена простотой технической реализации и довольно высокими энергетическими показателями.

Численное подтверждение выводов априорного анализа при сравнении амплитуд экспоненциально затухающей синусоиды (ток) и её производной, равной напряжению. Действительно, расхождение сравниваемых величин зависит от значения относительного декремента затухания – δ_0 . Для строго гармонических процессов, когда $\delta_0 = 0,0$ средние амплитуды и среднеквадратические отклонения совпадают между собой. При приближении временной функции тока к форме апериодического сигнала, когда $\delta_0 = 1,0$ расхождения средних амплитуд и среднеквадратических отклонений между амплитудами тока и напряжения существенно возрастают. Отклонения между первыми достигает 23 %, между вторыми – 51 %.

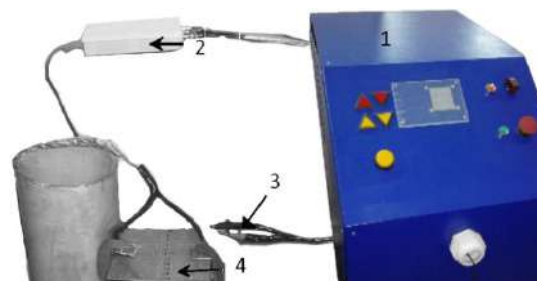
В интервале изменений относительного декремента затухания $\delta_0 \in [0,1, 0,3]$, характерного для магнитно-импульсной обработки металлов, расхождения между средними значениями амплитуд тока и напряжения не превышает ~ 2,36 %. Относительная разность между отклонениями от средних составляет ~ 8,4 %. Очевидно, что в указанном диапазоне временных функций тока имеет место вполне допустимое соответствие его амплитуд и амплитуд напряжения, равного производной его временной функции.

Расхождения между амплитудами сравниваемых величин определяются значениями относительного декремента затухания токового сигнала.

В диапазоне гармонических временных функций тока с относительным декрементом затухания, не превышающим ~ 0,3, пропорциональность между относительными амплитудами индуктивно связанных тока и напряжения сохраняется с точностью, не ниже ~ 10 %, что позволяет исследовать электромагнитные процессы с помощью нормиро-

ванных амплитуд осциллографируемых напряжений без использования аналоговых или численных методов интегрирования.

Экспериментальный комплекс для моделирования электромагнитных процессов в индукторных системах представлен на рис. 1.



1 – источник мощности; 2 – осциллограф; 3 – измерительные щупы; 4 – образец стали

Рис. 1. Экспериментальный комплекс для моделирования электромагнитных процессов в индукторных системах

Перечень оборудования, представленного на рис. 1, включает следующие компоненты: источник мощности – генератор токовых импульсов (1); цифровой осциллограф – PV6501 (2); измерительные щупы (3); образец листовой немагнитной стали ~ 150x150 мм, толщиной ~ 2 мм (4); согласующее устройство цилиндрического типа, обеспечивающее понижение рабочих частот возбуждающего тока до значений ~ 1,5...2 кГц.

Образец листовой немагнитной стали, как объект исследования в принятой схеме эксперимента, представлен на рис. 2.

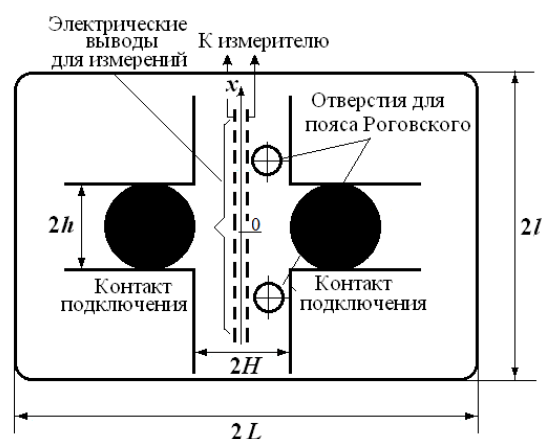


Рис. 2. Схема измерений на поверхности экспериментального образца листовой немагнитной стали, собственно образец с контактами подключения источника и электрическими выводами для измерений

Измерение поперечного распределения

линейной плотности проводилось в центральной части листового образца при вариации рабочих частот протекающего тока и различных расстояниях между контактами подключения источника.

Рабочая частота в импульсе 1,5...2 кГц. Расстояния между контактами $2H = 100$ мм и $2H = 20$ мм. Диаметр контактов подключения ~ 5 мм.

Модельные измерения линейной плотности тока на поверхности листового образца проиллюстрировали функциональные соотношения степени концентрации протекающего тока и размера зоны на поперечной оси между контактами.

Однако, конечные количественные оценки, полученные численной обработкой результатов модельных экспериментов, требуют подтверждения в реальных условиях работы инструмента магнитно-импульсного притяжения, когда рабочие величины токов составляют десятки килоампер.

Измерения проводились с помощью пояса Роговского, охватывающего проводник (листовой образец) с измеряемым током.

Основная характеристика пояса Роговского – это его постоянная (позволяет пересчитывать э.д.с., индуцируемую в витках пояса, в реальный ток, протекающий по проводнику). Она составляла в данном случае $G = 13$ кА/В.

Через интегрирующую цепочку (интегратор) пояс Роговского подключается к импульсному осциллографу. Схематически проведение измерений иллюстрируется рис. 3.



Рис. 3. Схема измерения тока в проводнике с помощью пояса Роговского

По осциллограммам измерялась э.д.с. в поясе, после чего с помощью постоянной пояса определялся ток в проводнике.

Измерения проводились в рабочем режиме магнитно-импульсной установки (МИУС) с запасаемой энергией 2 кДж – МИУС-2.

Листовой образец в поперечном направлении разделён на равные по ширине участки:

образец в целом, участки вне вмятины, участок с вмятиной. Токи в листовом металле (по участкам) – I_1 , I_2 , I_3 измерялись с помощью пояса Роговского согласно схеме на рис. 4.

Результаты измерений: $I_1 = 32$, кА; $I_2 = 14,3$ кА; $I_3 = 7,8$ кА.

Суммарный ток в листовом образце: суммирование результатов измерений $I_{1-расчет} = 2I_2 + I_3 = 36,4$ кА, непосредственное измерение $I_{1-измерение} \approx 32,5$ кА.

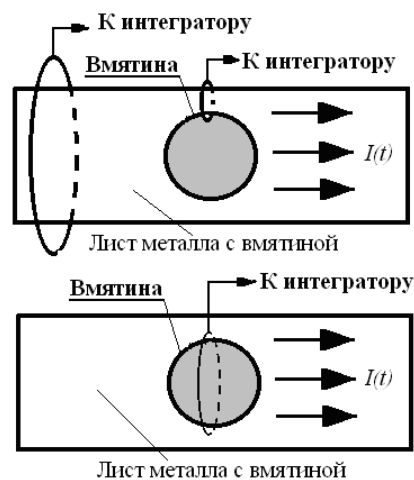


Рис. 4. Схема измерения токов в листовом металле с вмятиной

Величина относительной погрешности, определяющая уровень достоверности результатов измерений, не превышает ~ 12 %.

Отношение токов во вмятине и в заготовке: $\eta = I_3/I_1 = 7,8/32,5 = 24$ %.

Данная величина концентрации в модельных экспериментах, усреднённая по частотам, не превышает 30 %.

Измерения токораспределения на поверхности листового образца, проведенные в реальных условиях подключения высоковольтного источника мощности, не выявили существенных отклонений в оценке степени концентрации протекающего тока как функции выделенной величины участка вдоль поперечной оси между контактами от результатов модельных экспериментов.

Измеряемый сигнал снимался с электрических выводов, впаянных в металл листа соответственно геометрии на рис. 2. Результаты измерений в различных точках нормировались на центральный максимум. Конечные данные экспериментов оформлены в относительных единицах (ось аппликата) и представлены как графические зависимости по осевой линии между контактами подключения источника (ось абсцисс). Абсолютная координата

абсциссы – « x » нормируется на расстояние между контактами подключения источника, относительная координата абсциссы $x_0 = x/(2H)$. Наиболее значимые результаты измерений представлены на рис. 5, 6.

Сопоставляя результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований, выявив согласия и расхождения, обобщили и, в конечном итоге, пришли к выводам и оценкам, определяющим связь конструктивных и силовых показателей магнитно-импульсной системы «с прямым пропусканием тока» через металл деформируемого объекта.

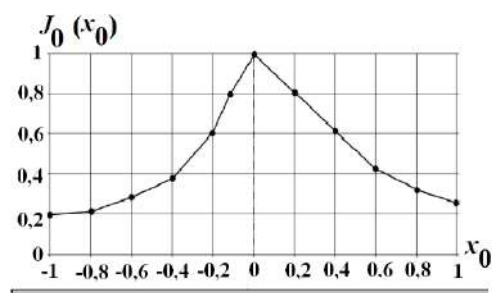


Рис. 5. Распределение линейной плотности тока в относительных единицах при $f=1,8$ кГц, $2H=100$ мм

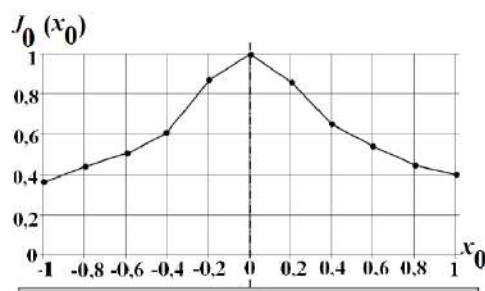


Рис. 6. Распределение линейной плотности тока в относительных единицах при $f=1,8$ кГц, $2H=20$ мм

Степень концентрации протекающего тока относительно центра системы слабо зависит от его временных характеристик и определяется, в основном, поперечными размерами зоны, где рассматривается собственно его концентрация. Вне зоны с длиной, равной расстоянию между контактами подключения источника, протекает около трети величины всего тока, поступающего в систему.

Выводы

Уровень поперечной концентрации тока в условно выделенной полосе, связывающей контакты подключения, существенным образом зависит от соотношения ширины этой полосы и поперечных размеров контактного

подключения.

Сопоставление расчётных и экспериментальных данных показывает, что наименьший ток концентрируется в полосе, ширина которой много меньше расстояния между контактами ($\leq 11...16\%$). Таким образом, оценка минимально возможных сил притяжения с помощью соотношения из закона Ампера должна осуществляться с усреднённым поправочным множителем $\sim 0,143$.

Сопоставление теории и эксперимента показывает, что в случае уменьшения расстояния между контактами подключения источника растёт степень поперечной концентрации протекающего тока. При достаточно малом расстоянии (приблизённо равным ширине собственно контактов) уровень концентрации может достигать значений $65...80\%$. В таких конструкциях систем магнитно-импульсного притяжения оценка амплитуд электродинамических усилий должна проводиться с усреднённым поправочным множителем $\sim 0,73$.

Работа проводилась кафедрой физики ХНАДУ в рамках Научного исследования: «Энергосберегающие малозатратные технологии питания и ремонта транспортных средств» 08-53-19, финансируемого Министерством образования и науки Украины.

Література

1. Eguia I., Mangas A., Iturbe R., Gutierrez M. A. Electromagnetic forming of longitudinal strengthening ribs in roll formed automotive profiles. ICHSF Proceedings of 4th International Conference on High Speed Forming (COLUMBUS 9 – 10 March 2010). 2010. pp.198-207.
2. Batygin Y., Barbashova M., Sabokar O. Electromagnetic Metal Forming for Advanced Processing Technologies. Springer International Publishing AG. 2018. 93 p.
3. Welcome to BETAG Innovation. (2012). URL: <http://www.betaginnovation.com> (дата обращения 2.05.2019).
4. Mamalis A. G., Manolakos D. E., Kladas A. G., Koumoutsos A. K. Electromagnetic forming and powder processing: trends and developments. *Applied Mechanics Reviews*. 2004. №57(4). P. 299-324.
5. Савич А. С., Ивашко В. С., Савич Е. Л. Ремонт кузовов легковых автомобилей. Учебное пособие. Инфра-М. 2014. 320 с.
6. Thaddeus M. How to restore Classic Car Bodywork: New Updated & Revised Edition. Veloce publ. 2015. 128 p.
7. Porter L. Classic Car Bodywork Manual: The complete, illustrated step-by-step guide. 5th edition. Porter Pub. Ltd. 2018. 300 p.
8. Psyk V., Risch, D., Kinsey B. L., Tekkaya A. E., Kleiner M. Electromagnetic forming – A review. *Journal of Material Process Technology*. 2011.

- №211, P. 787-829.
9. Batygin Yu.V., Golovashchenko S.F., Gnatov A.V. Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications. *Journal of Materials Processing Technology*. 2013. № 213 (3). P. 444–452.
 10. Batygin Yu. V., Golovashchenko S. F., Gnatov A. V. Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014. № 214 (2). P. 390-401.
 11. Яворский Б. М., Деглаф А. А., Лебедев А. К. Справочник по физике: для инженеров и студентов вузов. 8-е изд., переработанное и исправленное. ООО «Издательство Оникс». 2006. 1056 с.
 12. Imbert J. M., Winkler S. L., Worswick M. J., Oliveira D. A., Golovashchenko S. The effect of tool-sheet interaction on damage evolution in electromagnetic forming of aluminum alloy sheet. *Journal of Engineering Materials and Technology*. 2005. №127(1). P. 369-379.
 13. Бондаренко А. Ю., Финкельштейн В. Б., Гаврилова Т. В. Внешняя рихтовка кузовов автотранспорта с помощью электродинамических систем при прямом пропускании импульсного тока. Вісник НТУ «ХПІ». Харків. 2014. №9(1052). С. 66-72.

References

1. Eguia I., Mangas, A., Iturbe R., Gutierrez M. A. (2010). Electromagnetic forming of longitudinal strengthening ribs in roll formed automotive profiles. ICHSF Proceedings of 4th International Conference on High Speed Forming (COLUMBUS 9–10 March 2010), 198-207.
 2. Batygin Y., Barbashova M., Sabokar O. (2018) *Electromagnetic Metal Forming for Advanced Processing Technologies*. Cham: Springer International Publishing AG.
 3. Welcome to BETAG Innovation. Retrived from: <http://www.betaginnovation.com> (accessed: 02.05.2019).
 4. Mamalis A. G., Manolakos D. E., Kladas A. G., Koumoutsos A. K. (2004) Electromagnetic forming and powder processing: trends and developments. *Applied Mechanics Reviews*, 57(4), 299-324.
 5. Savich A. S., Ivashko V. S., Savich E. L. (2014) *Remont kuzovov legkovykh avtomobilej. Uchebnoe posobie [Car body repair. Tutorial.]* Kiev: Infra-M [in Russian].
 6. Thaddeus M. (2015) *How to restore Classic Car Bodywork*. New Updated & Revised Edition. Dorchester: Veloce publ.
 7. Porter L. (2018) *Classic Car Bodywork Manual*. The complete, illustrated step-by-step guide. 5th edition. London: Porter Pub. Ltd.
 8. Psyk V., Risch, D., Kinsey B.L., Tekkaya A.E., Kleiner M. (2011) Electromagnetic forming – A review. *Journal of Material Process Technology*, 211, 787-829.
 9. Batygin Yu. V., Golovashchenko S. F., Gnatov A.V. (2013) Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 213 (3), 444–452.
 10. Batygin Yu. V., Golovashchenko S. F., Gnatov A. V. (2014) Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (2), 390-401.
 11. Javorskij B. M., Detlaf A. A., Lebedev A. K. (2006) *Spravochnik po fizike: dlja inzhenerov i studentov vuzov* [Physics handbook for engineers and students of universities]. 8-e izd., pererabotannoe i ispravlennoe. Moskva: OOO «Izdatel'stvo Oniks» [in Russian].
 12. Imbert J.M., Winkler S.L., Worswick M.J., Oliveira D.A., Golovashchenko S. (2005) The effect of tool-sheet interaction on damage evolution in electromagnetic forming of aluminum alloy sheet. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 127(1), 369-379.
 13. Bondarenko A.Ju., Finkel'shtejn V.B., Gavrilova T.V. (2014) Vneshnjaja rihтовka kuzovov avtotransporta s pomoshh'ju jelektrodinamicheskikh sistem pri prjamom propuskании impul'snogo toka [External straightening basket of the motor transport by means of electro dynamic of the systems at direct drive pulsed current] *Visnik NTU «HPI»*, 9(1052), 66-72 [in Russian].
- Чаплыгин Евгений Александрович**¹, к.т.н., доц. каф. физики, тел. +38-057-707-37-27; e-mail: chaplygin.e.a@gmail.com.
- Еремина Елена Федоровна**¹, к.т.н., доц. каф. физики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: elena.yeryomina@gmail.com.
- Шиндерук Светлана Александровна**¹, к.т.н., доц. каф. физики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net.
- Коряк Александр Алексеевич**¹, к.т.н., доц. каф. деталей машин и теории механизмов и машин, тел.: +38-057-707-37-10; e-mail: alexanderalexkor@gmail.com.
- Черный Евгений Евгеньевич**¹, студент, тел. +38-067-430-14-64; e-mail: e.cherniy@ukr.net, ¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Experimental Study of “Direct Current Passage” Tools by Magnetic-Pulse Metal Processing

Abstract. Problem. Theoretical calculations of the “direct current passage” tools characteristics of the magnetic-pulse metal processing technology should be compared with actual results. To do this, it is necessary to measure the characteristics of the transverse current distribution over the surface of the sheet metal between the contacts connecting the real power source, as well as measure the integral values of this signal at a low-voltage and high-voltage magnetic-pulse installation. **Goal.** The goal is measuring the transverse distribution of the pulsed current linear density on the surface of the sheet metal between the point contacts of the power source with different geometry of their connection. **Methodology.** Measuring the transverse current distribution over the sur-

face integral characteristics of the sheet metal is carried out between the contacts of the connection of a real power source - a low-voltage and high-voltage magnetic-pulse installation; the integral values are determined by the Rogowsky belt around the area under investigation followed by integrating the received signal. **Results.** Comparison of theory and experiment shows that in the case of reducing the distance between the contacts of the source connection, the degree of transverse concentration of the flowing current increases. With a sufficiently small distance the concentration level can reach the values of 65...80%. **Originality.** The degree of transverse concentration of the flowing current relative to the center of the system in the operating frequency range of 1,8...22 kHz depends very little on its temporal characteristics. The level of the transverse current concentration in the conditionally allocated band connecting the contacts depends significantly on the ratio of the width of this band and the transverse dimensions of the contact connection. **Practical value.** Using the obtained results will make possible to create new, more efficient tools of "direct current passage".

Key words: direct current passage, linear density, transverse concentration, temporal characteristics, magnetic impulse attraction, electrodynamic forces.

Chaplygin Evgen¹, Ph.D., Assoc. Prof. of Physics Chair, tel. +38-057-707-37-27; e-mail: chaplygin.e.a@gmail.com.

Yeryomina Olena¹, Ph.D., Assoc. Prof. of Physics Chair, tel. +38-057-707-37-27, e-mail: elena.yeryomina@gmail.com.

Shinderuk Svetlana¹, Ph.D., Assoc. Prof. of Physics Chair, tel. +38-057-707-37-27, e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Koryak Olexandr¹, Ph.D., Assoc. Prof. of Machine Parts and the Theory of Mechanisms and Machines Chair, tel. +38-057-707-37-10, e-mail: alexanderalexkor@gmail.com.

Cherniy Evgeniy¹, student, +380674301464, e-mail: e.cherniy@ukr.net.

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

Експериментальне дослідження інструментів «прямого пропускання струму» магнітно-імпульсної обробки металів

Анотація. Постановка проблеми. Для порівняння теоретично отриманих результатів, модельних і реальних характеристик інструментів «прямого пропускання струму» технології магнітно-імпульсної обробки металів необхідно провести вимірювання характеристик поперечного розподілу струму по поверхні листового металу між контактами підключення реального джерела потужності, а також виміряти інтегральні величини даного сигналу на низьковольтній і високовольтній магнітно-імпульсній установці. **Мета.** Вимірювання поперечного розподілу лінійної густини імпульсного струму на поверхні листового металу між точковими контактами джерела потужності при різній геометрії їх під-

ключення. **Методика.** Вимірювання інтегральних характеристик поперечного розподілу струму по поверхні листового металу проводиться між контактами підключення реального джерела потужності - низьковольтної та високовольтної магнітно-імпульсної установки, інтегральні величини визначаються за допомогою обхвату досліджуваної зони поясом Роговського з подальшою інтеграцією отриманого сигналу. **Результати** Порівняння розрахункових і експериментальних даних показує, що найменший струм концентрується в смузі, ширина якої багато менше відстані між контактами. Таким чином, оцінка мінімально можливих сил притягання за допомогою співвідношення із закону Ампера повинна здійснюватися з усередненим поправковим множителем $\sim 0,143$. Порівняння теорії і експерименту показує, що в разі зменшення відстані між контактами підключення джерела зростає ступінь поперечної концентрації струму, що протікає. При досить малій відстані (що приблизно дорівнює ширині власне контактів) рівень концентрації може досягати значень 65...80%. **Наукова новизна.** Ступінь поперечної концентрації струму, що протікає, щодо центру системи в діапазоні робочих частот 1,8...22 кГц достатньо слабо залежить від його тимчасових характеристик. Рівень поперечної концентрації струму в умовно виділеній смузі, що зв'язує контакти підключення, істотно залежить від співвідношення ширини цієї смуги і поперечних розмірів контактного підключення. **Практична значимість.** Використання отриманих результатів дозволить створювати нові більш ефективні інструменти «прямого пропускання струму», що працюють в умовах інтенсивного проникнення діючих електромагнітних полів з металами, що мають різні магнітні властивості.

Ключові слова: пряме пропускання струму, лінійна густина, поперечна концентрація, часові характеристики, магнітно-імпульсне притягання, електродинамічні зусилля.

Чаплигін Євген Олександрович¹, к.т.н., доц. каф. фізики, тел. +380-57-707-37-27; e-mail: chaplygin.e.a@gmail.com.

Єрьоміна Олена Федорівна¹, к.т.н., доц. каф. фізики, тел. +38-057-707-37-27, e-mail: elena.yeryomina@gmail.com.

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

Коряк Олександр Олексійович¹, к.т.н., доц. каф. деталей машин і теорії механізмів і машин, тел. +38-057-707-37-10; e-mail: alexanderalexkor@gmail.com.

Чорний Євген Євгенович¹, студент, тел.: +38-067-430-14-64, e-mail: e.cherniy@ukr.net.

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

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДОПУСКУ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОБУСІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Рубан Д. П.¹, Крайник Л. В.², Рубан Г. Я.³

¹АТ «Черкаський автобус»

²Національний університет «Львівська політехніка»

³Черкаський державний бізнес-коледж

***Анотація.** Проведено аналіз європейського обов'язкового технічного контролю (TÜV) та порівняно з технічним контролем в Україні. Встановлено, що чинне законодавство щодо обов'язкового технічного контролю в Україні потребує доопрацювання. Запропоновані доопрацювання дозволять підвищити пасивну безпеку автобусів та стимулюватимуть ефективне оновлення парку автобусів громадського транспорту України.*

***Ключові слова:** автобус, експлуатація, пасивна безпека, технічний контроль, методи контролю.*

Вступ

Автобуси громадського транспорту відіграють важливу роль при перевезенні пасажирів. І відповідно безпека перевезення пасажирів повинна бути на високому рівні. З цією метою при проектуванні та виробництві автобусів фахівці звертають особливу увагу на пасивну та активну безпеку автобусів громадського транспорту і відповідно готова продукція проходить сертифікацію. В процесі експлуатації автобуси підлягають зношуванню та старінню, і як результат спостерігається поступове погіршення технічного стану. Для підтримки технічного стану автобусів проводяться щоденний огляд, регламентний технічний огляд, поточний ремонт а також, що є характерним для реалій експлуатації в нашій державі, проведення відновлювальних ремонтів. При цьому як в нашій державі, інших країнах СНД та країнах ЄС проводиться обов'язковий технічний контроль та допуск до експлуатації автобусів до перевезення пасажирів.

Аналіз публікацій

Таким чином періодично, згідно постанови [1], в нашій державі проводиться обов'язковий технічний контроль, на основі якого надається допуск до перевезення пасажирів. Номенклатура несправностей систем та агрегатів у постанові [1] споріднена з регламентованою директивами країн ЄС [2], але має суттєві відмінності при допуску до експлуатації автобуса. В Україні автобус не допущений до перевезення пасажирів за результатами обов'язкового технічного конт-

ролю [1] після усунення всіх недоліків може отримати допуск. У країнах Євросоюзу (на прикладі Німеччини) придатність до подальшої експлуатації регламентується по чотирьом категоріях:

1) OM (Ohne Mangel) – при першому огляді дефектів не виявлено.

2) GM (Geringe Mangel) – техогляд можна вважати пройденим, однак незначні дефекти потрібно усунути в найкоротший термін.

3) EM (Erhebliche Mangel) – суттєві недоліки, котрі рекомендується негайно усунути. Автобус може пересуватись своїм ходом по дорогам загального користування, однак перевезення пасажирів заборонено до наступного техогляду.

4) VU – повна заборона подальшої експлуатації.

Відповідно автобус підлягає списанню і утилізації, що є характерною відмінністю від техогляду в нашій державі. Запозичення такого підходу від країн ЄС, при інспектуванні придатності автобусів громадського транспорту до експлуатації, буде більш актуальним ніж існуючий в нашій державі.

Слід відзначити, що в Німеччині 49,7 % двадцятирічних автобусів проходять техогляд без виявлення дефектів при першому огляді (OM). 19,8 % автобусів проходять техогляд і власники отримують рекомендації щодо усунення недоліків у найкоротші терміни (GM). Тільки на 0,1 % із усіх перевірених автобусів накладається повна заборона подальшої експлуатації (VU) [3]. Це пояснюється високим рівнем обслуговування, ремонту, якістю паливо-мастильних матеріалів та

якістю автомобільних доріг. Крім того в Німеччині суттєвим чинником є висока собівартість виготовлення і, як наслідок, висока надійність та підвищений ресурс автобуса в цілому.

Важливим є те, що максимальний термін експлуатації автобуса обмежується ресурсом кузова. На зменшення ресурсу автобусних кузовів впливають такі фактори: автомобільні дороги низької якості; використання натрієво-хлоридних піщаних сумішей, якими посипаються дороги взимку; неналежний антикорозійний захист та несвоєчасне його оновлення; зберігання автобусів під відкритим небом; жорсткі умови експлуатації; низька якість проведених ремонтів. Після проведеного в Німеччині технічного огляду 50704 одиниць автобусів (вік автобусів від одного до двадцяти років) було встановлено, що несправності кузова (надмірна корозія, що впливає на жорсткість вузла, ненадійність пластин або кріплень, тріщина або деформація будь-якого повздовжнього або поперечного елемента) в середньому складало 1,2 % [3 – 5]! Це свідчить про те, що негативні чинники зведені до мінімуму. Лінійне зростання несправностей (пошкоджень) кузова починається після 8-ми років експлуатації. При термінах експлуатації 19 – 20 р. кількість відмов становить приблизно 6 %, що є недосяжним для автобусів, які експлуатуються в нашій державі. Враховуючи досвід експлуатації автобусів вітчизняного виробництва на території нашої держави [6 – 7] можна вважати, що умови експлуатації, обслуговування та ремонту поки що не відповідають європейському рівню.

Мета і постановка завдання

Враховуючи вище сказане, повністю використовувати директиву [3], що застосовується в країнах ЄС в нашій країні буде некоректним, тому що корозія кузова проявляється вже після першого року експлуатації автобусів на території нашої держави. Також утворюються тріщини, при перевантаженнях автобусів та експлуатації по дорожньому покриттю низької якості. Як показують реалії експлуатації в нашій державі, кузов автобуса потребує відновлювальних ремонтів через вісім років експлуатації. У великих містах (населення більше 1 млн.) необхідно, в більшості випадків, ставити автобуси на відновлювальний ремонт вже через 5 років експлуатації!

Таким чином **метою роботи є** розробка пропозицій по внесенню коректив до Поряд-

ку проведення обов'язкового технічного контролю, який діє на території України [1] із урахуванням європейського досвіду [2] та особливостей експлуатації автобусів у нашій державі.

Пропозиції щодо вдосконалення технічного контролю та допуску до експлуатації автобусів громадського транспорту

На основі досвіду експлуатуючих організацій нашої держави (особливу увагу приділено таким містам: Київ, Харків, Львів, Мукачеве, Черкаси та інші) а також плідну співпрацю з АТ „Черкаський автобус” та АТ „Укравтобуспром” розроблено пропозиції щодо вдосконалення технічного контролю та допуску до експлуатації враховуючи наступне. Основним чинником щодо експлуатації автобусів громадського транспорту є безпека перевезення пасажирів, що регламентується правилами ЄЕК ООН № 66. На стадії проектування та виробництва нові автобуси проходять випробування і сертифікацію, що підтверджує виконання даних правил [8]. Однак в процесі експлуатації неминує погіршуються фізико-механічні властивості матеріалів каркасу кузова. Існуючий «Порядок проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів» [1] передбачає використання тільки органолептичних засобів контролю. Тобто такий контроль передбачає наявність пошкоджень які можна побачити візуально на рамі, кузові та інших несівних елементах (злами, тріщини, наскрізні корозійні пошкодження, тріщини зварних швів, відсутність кріпильних деталей з'єднань несівних елементів тощо). Однак, як показує досвід експлуатації, кузов підлягає поступовому корозійному зношуванню (рис. 1).

Як видно із рис. 1, інтенсивність корозії автобусів залежить від того міста де він експлуатується. Наприклад у м. Київ, у якому чисельність населення складає понад один мільйон, корозія протікає десь у 2 рази інтенсивніше ніж у містах з кількістю населення менше одного мільйона жителів (наприклад у м. Черкаси проживає 0,25 млн.).

В середньому за рік експлуатації автобусів, при цілорічному перевезенні пасажирів, пробіг становить біля 100000 км. Відповідно за перші 2 роки експлуатації лонжерони практично не піддаються корозії. Це пояснюється наявністю заводського антикорозійного захисту. При подальшій експлуатації – через

два роки корозійні процеси суттєво інтенсифікуються і відповідно товщина труб зменшується за лінійною залежністю. Через п'ять років експлуатації, у містах з кількістю населення понад один млн., товщина труб каркасу зменшується з трьох до одного міліметрів. У містах, де кількість населення менша (до 1 млн.) аналогічні корозійні процеси протікають за 9 років.

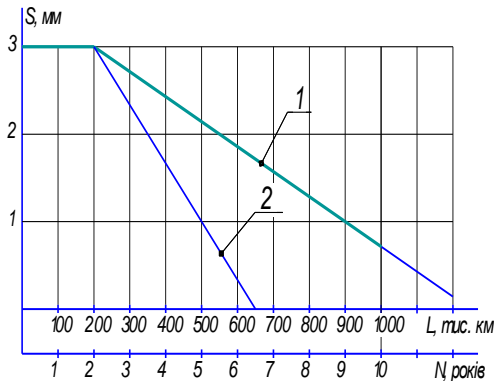


Рис. 1. Залежність середньостатистичної зміни товщини труб каркасу основи кузова автобуса від пробігу та терміну експлуатації під дією корозії: 1 – кількість жителів у цих містах до одного мільйона; 2 – кількість жителів у цих містах більше одного мільйона

Більш детальний опис корозійного зношування кузовів автобусів наведено в [9]. При цьому корозія протікає в закритих порожнинах труб каркасу кузова (рис. 2).



Рис. 2. Внутрішня корозія лонжерону каркасу основи кузова (профіль 140x60x3 мм на автобусі марки «Богдан А-092») поблизу задніх арок (розріз, що показує зменшення товщини стінок лонжерона)

Без зовнішніх пошкоджень (наскрізне руйнування лонжеронів (рис. 3) та тріщини пов'язані з зменшенням товщини металу під дією корозії) погіршення механічних властивостей каркасу кузова згідно чинного Поряд-

ку [1] залишається непоміченим. Крім того при відновлювальних ремонтах можуть частково замінюватись елементи каркасу кузова, котрі візуально (органолептичний метод контролю) мають корозійні та втомні руйнування (рис. 4). Однак можуть бути не замінені елементи каркасу, що втратили товщину під дією корозії.



Рис. 3. Наскрізне пошкодження лонжеронів каркасу основи під дією корозії на автобусі «Богдан А-092» через 9 років експлуатації



Рис. 4. Розвиток втомної тріщини лонжерона основи каркасу кузова (матеріал – Сталь 20)

Враховуючи вище викладене, доцільним буде доопрацювання таблиці додатку 5 „Обсяги перевірки технічного стану транспортного засобу та коди оцінки його невідповідності” Порядку [1]. Також необхідно ввести чотири категорії придатності до експлуатації. Таким чином слід внести додатковий пункт (код 905.070), що передбачатиме контроль товщини труб лонжеронів каркасу або рами (при наявності) з терміном експлуатації понад 5 років (табл. 1). При цьому обов'язковим буде використання ультразвукового товщиноміру металу. Ультразвукове вимірювання товщини стінок труб каркасу кузова дозволить визначати їх товщину без

порушення цілісності (не виконувати вирізанання зразків, надрізувати чи просвердлюва-

ти отвори тощо) та зменшення трудовитрат на проведення технічного контролю.

Таблиця 1 – Вдосконалення таблиці в додатку 5 «Обсяги перевірки технічного стану транспортного засобу та коди оцінки його невідповідності» [1]

Код	Об'єкт і предмет перевірки технічного стану, визначення невідповідності	Метод контролю	Оцінка невідповідності		
			нн	ін	нбн
905	Рама, кузов, інші несучі елементи:				
905.010	зломи, тріщини, наскрізні корозійні пошкодження, тріщини зварних несучих швів або непридатність їх до виконання функцій за призначенням	органолептично			X
905.060	відсутній болт або інші кріпильні деталі з'єднань несучих елементів або вони не відповідають вимогам	органолептично			X
905.070	Контроль товщини стінок труб лонжеронів каркасу основи, або рами (за наявності) при терміні експлуатації автобуса понад 5 років. Зменшення товщини стінок труб лонжеронів каркасу основи, або рами більше ніж на 15%.	засоби перевірки			X

Вдосконалена методика дозволить своєчасно виявити погіршення фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова [10, 11].

Для проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів в перелік обладнання (Додаток 2 Порядку [1]) необхідно доповнити п. 14 „Товщиномір металу ультразвуковий”. Також в п. 17 треба збільшити максимальний розрахунковий оперативний час з 65 до 80 хв., що обумовлюється більш ретельним контролем придатності автобуса. Аналогічно із німецькими нормативами (VU) [2] заборонити експлуатацію автобуса при наскрізній корозії труб каркасу кузова.

Висновки

Отже, розроблені пропозиції по вдосконаленню обов'язкового технічного контролю підвищать безпеку пасажирських перевезень та сприятимуть оновленню автобусних парків нашої держави. Такі зміни покращать попит на нові автобуси (зокрема з екологічними нормами Євро-5), що позитивно вплине екологію в нашій державі. Також державне фінансування при закупівлі нових автобусів та часткова оплата проїзду громадянам міста може вплинути на прискорення оновлення парку автобусів громадського транспорту.

Література

1. Постанова № 137 від 30.01.2012 р. про затвердження Порядку проведення обов'язкового

технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу із змінами, внесеними згідно з постановами КМ № 485 від 23.09.2014, № 1138 від 23.12.2015, № 141 від 10.03.2017. Кабінет Міністрів України. Офіц. Вид. Київ: Парламентське видавництво, 2012. 37 с.

2. Commission directive 2010/48/EU of 5 July 2010 adapting to technical progress Directive 2009/40/EC of the European Parliament and of the Council on roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers (Text with EEA relevance). 2010.
3. „Критический возраст” немецкий TÜV об автобусах. Коммерческий транспорт. Вып. 8(124), 2015. 48 с.
4. Gebrauchtbewertung. Omnibus Revue TÜV Bus-Report, 8(124), 2015. 38 с.
5. Verband der TÜV e. V. TÜV Bus-Report, 9, 2018. 19 с.
6. Шляховой В. Опыт эксплуатации: «Один на один с «Эталон»». Автоперевозчик, 2010. Вып. 6 (117). С. 5-7.
7. Киричук Ф. Опыт эксплуатации: ««Богдан» сделал свое дело...». Автоперевозчик, 2010. Вып. 1 (112). С. 12-14.
8. Горбай О. З., Голенко К. Е., Крайник Л. В. Міцність та пасивна безпека автобусних кузовів. Монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 276 с.
9. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Оцінка впливу корозії автобуса на фізичну міцність несівних елементів. Матеріали V міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції: Сучасні технології та перспективи розвитку

автомобільного транспорту. Вінниця, 2018. С. 60–64.

10. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Оцінка зміни фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова автобуса в процесі експлуатації. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця, 2017. № 1(5). С. 47–51.
11. Похмурский В. И. Коррозионная усталость металлов. М.: Металлургия. Автодата, 1985. 207 с.

References

1. Postanova № 137 vid 30.01.2012 p. pro zatverdjenja Porjadku obov'язkovogo techschnogo kontrolyu obsyagiv perevirki techschnogo stanu transportnich zasobiv, tehničnogo opisu ta zrazka protokolu tehničnogo stanu, zgidno postanovi KM № 485 від 23.09.2014, № 1138 від 23.12.2015, № 141 від 10.03.2017 [Regulation No. 137 dated January 30, 2012, approving the Procedure for carrying out mandatory technical control and volumes of checking the technical condition of vehicles, technical description and specimen of the protocol of inspection of the technical condition of the vehicle, as amended in accordance with the regulations of the Cabinet of Ministers № 485 from 23.09.2014, № 1138 from 23.12.2015, № 141 from 10.03.2017]. (2012). Ky'iv [in Ukrainian].
2. Commission directive 2010/48/EU of 5 July 2010 adapting to technical progress Directive 2009/40/EC of the European Parliament and of the Council on roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers (Text with EEA relevance). (2010).
3. „Kriticheskyj vozrast” nemezkiy TÜV ob avtobusah. (2015) [„Critical Age” German TÜV on buses.] Commercial transport. Yield 8 (124) [in Russian].
4. Gebrauchtbusbewertung. Omnibus Revue TÜV Bus-Report, 8 (124), 2015.
5. Verband der TÜV e. V. TÜV Bus-Report, 9, 2018.
6. Schljahovoj V. (2010). Experience of exploitation: "One on onewith "Etalons"" [Experience of exploitation: "One on onewith "Etalons""]. Autoferryman, Yield 6 (117), 5-7. [in Russian]
7. Kiritchuk F. (2010). Experience of exploitation: ""Bogdan"did the business". [Experience of exploitation: ""Bogdan"did the business".] Autoferryman. Yield 1 (112), 12-14. [in Russian]
8. Horbaj, O. & Holenko, K. & Kraynyk, L. (2013) Durability and passive safety of bus baskets. [Monograph. Publishing House of Lviv polytehnyc]. Lviv. [in Ukrainian]
9. Ruban, D., Kraynyk, L., Ruban, H. (2018) An estimation of influence of corrosion of bus is on physicaldurability of nesivnich elements. [Materials of V of international research and practice Internet conference: Mod-

ern technologies and prospects of rozvityku of motor transport]. Vinnytsya, 60–64 [in Ukrainian].

10. Kraynyk, L., Ruban, D., Ruban, H. (2017) Estimation of change of physical and mechanical properties of the body frame elements of the bus during operation. [Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute]. Vinnytsya, 35–40 [in Ukrainian].
11. Pokhmursky, V. (1985) Corrosion fatigue of metals. [Reference book]. Moscow, Metallurgy – Autodata [in Russian].

Рубан Дмитро Петрович¹, канд. техн. наук, доцент, +38 097-189-77-57, ruban_dimon@ukr.net

Крайник Любомир Васильович², д-р техн. наук, професор, кафедра „Автомобілебудування”, l.kraynyk@gmail.com

Рубан Ганна Яківна³, викладач-методист кафедри фундаментальних дисциплін, +38 050-732-20-88, ganna-gaivoronsk@ukr.net

¹АТ „Черкаський автобус”, вул. Різдва, 292, Черкаси, 18036, Україна,

²Національний університет „Львівська політехніка”, вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна,

³Черкаський державний бізнес-коледж, вул. В. Черновола, 243, Черкаси, 18000, Україна.

Усовершенствование системы технического контроля и допуска к эксплуатации автобусов общественного транспорта

Аннотація. Проведен анализ европейского обязательного технического контроля (TÜV) в сравнении с техническим контролем в Украине. Установлено, что действующее законодательство по обязательному техническому контролю в Украине нуждается в доработке. Предложенные доработки позволят повысить пассивную безопасность автобусов и стимулировать эффективное обновление автобусного парка Украины.

Ключевые слова: автобус, эксплуатация, пассивная безопасность, технический контроль, методы контроля.

Рубан Дмитрий Петрович¹, канд. техн. наук, доцент, +38 097-189-77-57, ruban_dimon@ukr.net

Крайнык Любомир Васильевич², д-р техн. наук, профессор, кафедра „Автомобилестроения”, l.kraynyk@gmail.com

Рубан Анна Яковлевна³, преподаватель-методист кафедры фундаментальных дисциплин, +38 050-732-20-88, ganna-gaivoronsk@ukr.net

¹АО „Черкаский автобус”, ул. Рождественская, 292, Черкасы, 18036, Украина,

²Национальный университет „Львовская политехника”, ул. Степана Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина,

³Черкаский государственный бизнес-колледж, ул. В. Черновола, 243, Черкасы, 18000, Украина.

Improving the system of technical control and permit to operation of public transport buses

Abstract. Problem. Bus traffic plays an important role in the transportation of passengers. In this case, the safety of passenger transportation should be at a high level. To this end, specialists in the design and production of buses pay particular attention to the passive and active safety of public transport buses and, accordingly, the finished products are certified. During operation, buses are worn and aging, resulting in deterioration of the technical condition. **Goal.** The purpose of the work is to develop proposals for making adjustments to the Procedure for carrying out mandatory technical control, which is in force in Ukraine, taking into account the European experience and features of the operation of buses in Ukraine. **Methodology.** 1. To introduce four categories of suitability for use. 2. To finalize the table in Annex 5 "Volumes of inspection of the technical condition of the vehicle and codes for assessing its non-conformity". 3. To add an additional item (905.070) to control the reduction of the thickness of the walls of the pipes of the spanners of the frame of the base or a frame (if any) with a lifetime of more than 5 years. **Results.** It is proposed to add sub-item 905.070 Control of the thickness of the walls of the pipes of the spanners of the frame of the base, or of the frame (if any) during the life of the bus for more than 5 years, reducing the thickness of the walls of the pipes of the spar guard of the framework of the frame, or of the frame by more than 15%, which completely prohibits the further operation of the bus. **Originality.** For the first time, a

scientifically grounded methodology for improving the mandatory technical control in Ukraine has been proposed. This methodology involves monitoring the change in the thickness of the frame of the base or a frame and the introduction of four categories of suitability for use. **Practical value.** These proposals for carrying out mandatory technical control will increase the safety of passenger transportation and will stimulate the renovation of the bus fleet. This, in turn, will increase the demand for new buses (Euro-5) and accordingly will improve the ecological situation in our country. Also, state funding for the purchase of new buses and partial payment of fares for citizens of the city will accelerate the process of updating the bus fleet of public transport.

Key words: bus, operation, passive safety, technical control, control method.

Ruban Dmytro Petrowich¹, Cand. tech Sciences, Associate Professor, +38 097-189-77-57, ruban_dimon@ukr.net

Kraynyk Lubomir Vasilewicz², Dr. Tech. Sciences, Professor, Department of Automobile Engineering, l.kraynyk@gmail.com

Ruban Hanna Jakovlevna³, teacher-methodologist of the department of fundamental disciplines, +38050-732-20-88, ganna-gaivoronsk@ukr.net

¹JSC „Tcherkasy bus”, st. Christmas Day. 292, Tcherkasy, 18036, Ukraine,

²National University „Lvivska Politehnika”, st. Stepan Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine,

³Tcherkasy state business-college, st. V. Chornovola, 243, Tcherkasy, 18000, Ukraine.

DEVELOPING COMMUNICATION SKILLS IN 21st CENTURY ELECTRIC ENGINEERING STUDENTS

Ponikarovska S. V.¹,
¹Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Problem. Communication skills are an essential component in the education of engineering students to facilitate not just students' education but also to prepare them for their future careers. Various important communication skills required of modern engineers, such as foreign language skills, are discussed in this article, as well as multiple elements of communication skills training, such as oral, listening, written, visual, interdisciplinary and intercultural. The impact of emotional intelligence is also presented. **Goal.** The goal of the article is proving the idea that the classes of foreign language can be a combination of learning language and acquiring communication skills. **Methodology.** Methods of analysis, research and development of new solution were used. **Results.** In the result of the analysis it was proven that classes of English can develop not only the language skills but add to the overall development of personality, as well as enhance various kinds of communication skills necessary for the graduate of engineering (in particular, electrical engineering) specialties. **Originality.** Suggestions for communication skills development are made, including the one that communication skills be integrated in the curriculum, so as to reinforce student learning. **Practical Value.** The practical value of the work can be the ideas for improving communication tasks as well as development of the approach which includes both language learning and integration of engineering communication in the process of learning.

Key words: communication, abilities, behavior, society, knowledge, international.

Introduction

The ability to treat people in accordance with the norms accepted in the society is one of the most important factors that determine the possibility of success in professional and social activities. Dale Carnegie once noted that the success of one or another person in his financial affairs, in technical or engineering spheres depends fifteen percent on their professional knowledge and skills and eighty-five percent on their ability to communicate with people. The high level of development of communicative abilities of a worker provides real psychological contact with colleagues, chiefs and subordinates. The ability to overcome various psychological barriers that arise in the process of interaction, determine the fruitfulness of interpersonal relationships, where the business and personal communication levels are harmoniously combined. Inadequate and ineffective communication skills reflect badly on the individual and the profession. An insufficient level of communication skills instruction in engineering education generally serves to undermine the whole profile of the professional engineer. This in turn affects recruitment and retention in engineering studies [6].

Analysis of Publications

Currently, it's hardly possible to find a field of teaching foreign languages, where a communicative approach would not be recognized. The ideas about the phenomenon of communicative competence were expressed by Yu. Zhukov, L. Petrovskaya, Yu. Yemelianov etc. L. Bim, G. Zymnia, G. Kitaigorodskaya, Ye. Passov dealt with developing the potential of a foreign language seeing it as crucial for the creation of a communicative model. A communicative approach in teaching foreign languages was considered by V. Kuzovlev, V. Slastenin, A. Verbitsky, speech activity was the object of the research by N. Zhinkin, I. Zimnya, L. Vygotsky. Foreign scientists, such as S. Beder, D. Jansen, W. Littelwood, M. Riemer, D. Zweig and others consider communication skills crucial for tertiary education, as they are the ones that employers look for. Communicative-oriented approach today is considered a methodical standard, and the creativity of those who study is one of the most characteristic features of a communicative-oriented approach. Among the ways of mastering a foreign language the preference is given now to the ones that develop the potential:

the tasks requiring discussion of different opinions, sharpening the means of their expression, enriching feelings and imaginative representations, improving the culture of communication and social behavior in general.

Purpose and Tasks

The structure of the communication abilities of a worker includes a perceptual component, which distinguishes such components as the ability to adequately assess the personality traits and emotional mood of the partners in communication, interpret the statements and nonverbal component of interaction correctly, determine the nature of the relations that are formed in the process of communication.

It is noteworthy that all these provisions are inherent in the students of the humanitarian higher schools, while the students of engineering specialties need to develop such qualities.

The purpose of the article is to consider and analyze the possibilities of practical classes in English language to solve the problem of development of communicative skills in students of higher technical educational institutions, in particular, students of electric engineering as one of the most modern and competitive specialty for the purposes of bringing up both a strong, intelligent, noble and smart generation of young people and the generation of highly-skilled engineers able to share their ideas, knowledge and emotions with other people.

Developing communicative skills in students of electric engineering specialties

In this age of globalization, international projects are increasing, and cross-cultural communication and collaboration is rising; especially in the now international practice of engineering, in particular, electrical engineering. English is accepted as the most widespread language in the world. The number of people who speak English with at least some degree of proficiency exceeds any other language. This is important for engineering students as this indicates that English may be more useful internationally than almost any other language due to its spread. English is considered the major language of international business, diplomacy, and science. English is the prime means for communication, and it can often serve as the global language between two people from two different cultures where English is not the native tongue. For example, French engineers communicated with Egyptian engineers in English during the building of the Cairo subway [8].

But learning English is not the only task to be solved.

Most graduates feel that they have gained analytical and problem-solving skills, subject-specific knowledge, research and improved decision-making abilities through their degrees. Yet despite this, much fewer feel that their graduate degree has provided oral communication skills, awareness of the social implications of their discipline's developments, management skills, understanding of other points of view and other cultures, confidence and competence to work in international environments [5].

English language classes can be much more than just teaching language. In order to make them help fill the blanks in communication skills, the teachers introduce communication methods of teaching.

Communication methods of teaching are characterized by the following features:

1. The objectives of the training are focused on the components of communicative competence, but not limited to grammatical or linguistic.
2. The organization of linguistic material is oriented not on the form, but on its function, through which the form is taught.
3. The lexical and grammatical correctness of design is secondary, since the main criterion is the transmission or perception of the message.
4. The ultimate goal is to use the language in unprepared contexts under the teacher's guidance, not the control.
5. Characteristic features are the information gap, feedback, choice, authentic and contemporary material.

All these characteristics mean the reception of a signal and an instant reaction to it, the freedom of expression, the discussion of interesting material, which is associated with different spheres of life.

At the present stage, the use of new communicative teaching methods is in keeping with the positions of those scholars who reasonably assume that the formation and development of the individual takes place in co-operation with other individuals.

In many works devoted to the psychology of communication as the main point in optimal communication a communicative situation is considered, when a person has something to say when they are interested in saying it. Therefore, the creation of a situation of communication is one of the methods that contributes to the development of communicative skills of students.

One Polish study found that engineering students displayed greater difficulties in written

communication than with oral. In this case, students require help in organizing and structuring reports and arguments.

Ineffective and poor written communication in engineering workplaces lead to misinterpretation, inefficiency and time waste, thereby adversely affecting problem resolution. Such miscommunication can contribute to mistrust and aggression, as well as appear unprofessional and unproductive [4]. This indicates that poor communicators will have trouble in the workplace, potentially contributing to problems rather than solving them.

Written communication needs to be relevant, properly implemented and of a quality standard; it should also generate feedback and provide accurate assessment, as well as make a positive and permanent impact on student learning. Examples of written communication include: engineering reports, technical writing, essays, reflective journals, peer review, and student conference papers. As the practice show, the most interesting and discussed topics at today's students' conferences are information technologies, electrical engineering, green technologies in transport etc. Thus, electric engineering students come first in this position.

For the purpose of improving written communication for future engineers a networked digital library of theses and dissertations was recently launched in Lithuania, which serves to enhance graduate education by allowing students to produce electronic documents, utilize digital libraries and understand issues in publishing. This initiative significantly increases the availability of students' research for scholars, preserving it electronically. This also makes it possible for students to convey a richer message through the use of multimedia and hypermedia technologies [7].

Communication in general is also one of the most important conditions for the development of personality, in the same student's age it becomes of special significance. Educational activity is mediated by communication in three directions – communication with a teacher, communication with classmates, further – professional communication. In addition, educational activity in higher education environment increases the burden on the psyche of a young person, hence full-fledged communication – both functional and role-based – ensures the mental health of the student. Emotional and personal communication outside the walls of the university (family, relatives, friends, friends) also requires communica-

tion skills and psychological qualities of the individual, ensuring the effectiveness of communication with other individuals.

In order to assess the significance of the foreign language as a subject in the development of communicative skills, one must be well aware what a society will acquire if its citizens speak foreign languages and what a knowledge of a foreign language gives to a person. The most important thing is to determine how learning a foreign language can contribute to the formation of important business and personal qualities.

Foreign language, as well as native, does not exist in isolation. It performs two important functions – communication and knowledge. Foreign language serves as a means of not only interpersonal, but also interethnic, interstate, international communication. With the help of a foreign language we can acquire knowledge which cannot be acquired adequately and in a timely manner in a mother tongue. In recent years, new factors have changed in various spheres of society, which radically change the status of a foreign language as a discipline. Practice has shown that society needs not just translators but also specialists who speak a foreign language.

Foreign language as a subject of study provides a general development of the student, makes a significant contribution to the culture of mental work and has a great influence on the development of creative abilities of a young person. Communicative teaching positively affects the development of all mental functions of a person. It involves organizing the learning process as a model of the communication process. Today, a foreign language is not just another subject of the program, it can promote the culture of communication. Classes of a foreign language become classes for learning communication through communication [3]. In the process of learning, students learn communication techniques, its operational side, learn language ethic, strategy and tactics of dialogue and group communication, learn to solve various communication tasks, be linguistic partners, that is, they master the ability to communicate, establish contacts with other people, learn to take initiative, activity, tact, which is one of the most professionally significant qualities of a modern specialist.

Due to the fact that the effectiveness of mastering a foreign language directly depends on the strategy of learning, an important factor in achieving the goal is to increase the effectiveness of the teacher's influence on students, their communication in a full social-psychological

compatibility. Students perceive a foreign language as something abstract when they do not see goals in their actions until they have a motive to perform each exercise or task. Motivation plays a crucial role in learning a foreign language. Formation of motivation is, first of all, the creation of conditions for the expression of internal motivation to study [2]. As a rule, when beginning to study a foreign language, a person shows increased interest in the subject. Then the interest may weaken, or disappear completely. One possible reason can be incorrect understanding by students of their responsibilities. Some students believe that the task of the teacher is to convey knowledge. But one cannot force a person to know something until he realizes and does not perceive himself as the main actor in the learning process [1]. After all, the motive is the basis of any activity, and in the process of formation of motives, the internal motives of a person and external conditions, which are aimed at achieving the final result, take part. The task of the teacher is to create conditions that are responsible for maintaining the interest in the subject. The teacher must build his activities in the way that students see the perspective in the use of the material and subsequently try to achieve linguistic competence. If the center of the learning process is not the one who is passively taught, but the one who actively learns, he feels a participant in certain communicative situations and learns to independently solve the necessary communicative tasks. Problem-setting tasks work very well when students deal with real problems that are taken from life. The most natural and productive form of free speech practice for those who are learning a foreign language is the group discussion of the problem in the process of mutual exchange of ideas, in other words, a discussion. Participation in the discussion causes the students to express their position in the most vivid and convincing form, to find such words, expressions, and arguments that would more accurately reflect their moral attitude – all in a foreign language. This determines the tremendous value of the discussion in the process of learning the language.

The ability to communicate involves a psychological factor. There are stiff students and there are their antipodes – impulsive, ready to risk. The students' stiffness is usually caused by the fear of errors, which adversely affects communication. Impulsive students, by contrast, are not afraid to make mistakes or fear to speak. An optimal solution in such situations lies in the balance of the discussion – the encouragement of

stiff and some containment of impulsive students so that they do not dominate communication.

In addition, people are divided into introverts and extroverts, and here their communicative competence may be in favor of extroverts in oral communication, and the written result may be the opposite. The main goal of the teacher is to establish such relationships in the group that would promote self-esteem, relaxation, sympathy, the desire for dialogue, attention to another thought.

Conclusion

The already crowded engineering (in particular, electrical engineering) curriculum still needs to incorporate additional competences, notably international (or intercultural) skills, especially communication. Fitting in a new subject will, in most cases, be difficult, but with regard to the competence being taught, very important. But the incorporation of language and communication improvement courses is a way out. This should facilitate advancements in engineering education through streamlining fundamental communication skills.

Learning communication requires an artistic approach to learning of a foreign language in the absence of a natural linguistic medium. The main function of the principle of communicative orientation of classes is the creation of conditions for communication: the motives, goals and objectives of communication. Interesting communication tasks increase the motivation of learning. Communicative-oriented approach is the process of learning communication through communication. The training should be organized in such a way as to prepare students for natural communication, since in technical universities foreign language lessons have the goal not only to teach the language but also to prepare students to overcome psychological barriers in communication, give them the ability to get along with people, to find the way out of any conflict situation.

Література

1. Бучацька С.М. Психологічні особливості підготовки студентів з іноземної мови Зб. наук. Праць НАДСПУ. Хмельницький: Вид-во Національної академії СПУ. 2005. №33, ч.ІІ. С. 139–42.
2. Массанов А.В. Психологічні бар'єри в самовизначеності особистості. Одеса: Видавець М.П. Черкасов, 2010. 371 с.
3. Ніколаєва С.Ю. Основи сучасної методики викладання іноземних мов. Київ: Левіт, 2008. 285 с.
4. Keane A., Gibson I. Communication trends in engineering firms: implications for undergraduate

- engineering courses. Inter. J. of Engng. Educ., Vol. 15, No. 2., 1999. 115–121 pp.
5. Polack-Wahl J. It is time to stand up and communicate. Proc. 30th ASEE/IEEE Frontiers in Educ. Conf., Kansas City, US, 2000. 16–21 pp.
 6. Yurtseven H. How does the image of engineering affect student recruitment and retention? A perspective from the USA. Proc. 4th UICEE Annual Conf. on Engng. Educ., Bangkok, Thailand, 2001. 62–65 pp.
 7. Riemer M. Communication skills for the 21st century engineer. UICEE Global J. of Engng. Educ., Vol. 11, No. 1, 2007. 89–100 pp.
 8. Riemer M., Jansen D. Non-verbal intercultural communication awareness for the modern engineer. World Trans. on Engng. and Technology Educ., Vol. 2, No. 3, 2003. 373–378 pp.

References

1. Buchatska S.M. (2005) Psychologichni osoblyvosti pidgotovki studentiv z inozemnoii movy. [Psychological features of training students in for-eign language] *Zb. nauk. prats NADSPU. Hmelnytskyi: Vid-vo Natsionalnoi akademii SPU.* 33(2). 139–42. [in Ukrainian]
2. Massanov A.V. (2010) Psihologichni bariery v samo-vyznachenosts osobystosti. [Psychological barriers in identification of personality] *Odesa: Vidavets M.P. Cherkasov, 2010.* 371 [in Ukrainian]
3. Nikolaieva S.Yu. (2008) Osnovy suchasnoi metodyky vykladannia inozemnyh mov. [Fundamentals of modern methods to teach foreign languages] *Kyiv: Levit, 2008.* 285 [in Ukrainian]
4. Keane A., Gibson I. Communication trends in engineering firms: implications for undergraduate engineering courses. Inter. J. of Engng. Educ., 15(2), 1999. 115–121 pp.
5. Polack-Wahl J. It is time to stand up and communicate. Proc. 30th ASEE/IEEE Frontiers in Educ. Conf., Kansas City, US, 2000. 16–21 pp.
6. Yurtseven H. How does the image of engineering affect student recruitment and retention? A perspective from the USA. Proc. 4th UICEE Annual Conf. on Engng. Educ., Bangkok, Thailand, 2001. 62–65 pp.
7. Riemer M. Communication skills for the 21st century engineer. UICEE Global J. of Engng. Educ., 11 (1), 2007. 89–100 pp.
8. Riemer M., Jansen D. Non-verbal intercultural communication awareness for the modern engineer. World Trans. on Engng. and Technology Educ., 2 (3), 2003. 373–378 pp.

Ponikarovska Svitlana¹, Senior Lecturer, +38 067-782-52-50, ponikarovska@gmail.com,
¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Розвиток комунікативних навичок у студентів електротехнічної спеціальності 21 століття
Анотація. Комунікативні навички є невід'ємним компонентом освіти майбутніх інженерів для

того, щоб не тільки покращити рівень освіти, але й підготувати їх до подальшої кар'єри. У статті розглядаються різні важливі комунікативні навички, яких потребує сучасний інженер, такі як іноземна мова, а також інші елементи навчання комунікації: усне мовлення, аудіювання, письмова комунікація, візуальна, міждисциплінарна та міжкультурна. Також приділено увагу емоційній складовій. Ціллю статті є доказ ідеї того, що заняття з іноземної мови можуть бути комбінацією вивчення мови та набуття комунікативних навичок. Використовувались методи аналізу, дослідження та розробки нових рішень. В результаті аналізу було доведено, що заняття з англійської мови можуть розвивати не тільки навички володіння мовою, але й додавати до загального розвитку особистості, а також покращувати різні види комунікативних навичок, що необхідні для випускника інженерних спеціальностей (зокрема, в області електричної інженерії). Зроблені пропозиції щодо розвитку навичок комунікації, включаючи такі, щоб навчання таким навичкам було включено у навчальну програму для мотивації студентів та покращення рівня освіти. Практична цінність роботи у тому, що в ній пропонуються способи покращення комунікативних завдань, а також використання підходу, який включає як навчання самій іноземній мові, так і інтеграцію інженерної комунікації у процес навчання.

Ключові слова: комунікація, здібності, поведінка, суспільство, знання, міжнародний.

Понікаровська Світлана Володимирівна¹, старший викладач каф. іноземних мов, +38 067-782-52-50, ponikarovska@gmail.com,
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Развитие коммуникативных навыков у студентов электротехнической специальности 21 века
Анотация. Навыки коммуникации являются неотъемлемым компонентом образования будущих инженеров не только для того, чтобы повысить уровень образования, но и для их подготовки к дальнейшей карьере. В статье рассматриваются важнейшие навыки коммуникации, необходимые современному инженеру, такие как иностранный язык, и на его основе навыки устного общения, письменная коммуникация, визуальная, междисциплинарная и межкультурная. Уделено также внимание эмоциональной составляющей.

Ключевые слова: коммуникация, способности, поведение, общество, знания, международный.

Поникаровская Светлана Владимировна¹, старший преподаватель каф. иностранных языков, тел. +38 067-782-52-50, ponikarovska@gmail.com,
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

ВИБІР МЕТОДУ ОЦІНКИ ЯКОСТІ АСИНХРОННИХ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОБУСІВ

Мигаль В. Д.¹, Аргун Щ. В.²

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Проведено порівняльний аналіз існуючих методів оцінки якості асинхронних двигунів (АД) призначених для використання у якості тягових в міських електробусах і вибрані критерії оцінки їх якості, що дозволило вибрати вібраційний метод оцінки якості АД і представити обґрунтування зробленого вибору.

Ключові слова: асинхронний двигун, метод оцінки якості, електробус, вібраційні характеристики, тяговий електропривод.

Вступ

Незважаючи на всі переваги асинхронних електродвигунів, їх ресурс не завжди задовольняє вимогам електробусів. За даними роботи [1], щорічно близько 20-25 % від загальної кількості встановлених асинхронних електродвигунів (АД) потребують ремонту. В залежності від виду відмов їх ремонт здійснюється власними силами (в межах підприємства, що експлуатує електродвигун (ЕД)), або спеціалізованими організаціями). Причинами таких відмов є недостатній контроль якості проектування, виготовлення і експлуатації. Ремонт АД часто проводиться з розбиранням і заміною деталей. При цьому надійність роботи двигунів суттєво знижується [2]. У зв'язку з цим діагностування якості ЕД на стадії виробництва, при приймально-здавальних випробуваннях і в процесі експлуатації є одним з найважливіших способів підвищення надійності і економічної ефективності обладнання. Тому технічний стан бажано оцінювати на різних етапах життєвого циклу ЕД, що є запорукою його надійної роботи. При цьому особливе значення має вибір методу діагностування ЕД, що працюють в динамічних режимах експлуатації механічних та електричних навантажень.

Аналіз публікацій

Не дивлячись на те, що існують державні і міжнародні стандарти щодо електричних обертювальних машин [3–5], питанню удосконалення методів визначення їх якості, пошуку критеріїв, які найбільш широко описують стан двигуна і розробці способів їх діагностування приділяється багато уваги науковцями і інженерами всього світу [1,2,6–8].

Так, наприклад, в роботі [9] викладено процедури технічного стандарту ІЕС 60034-18-41 для оцінки якості двигунів типу І за допомогою (автономного) випробування з частковим розрядом; порівнюються автономні і онлайн вимірювання, виконані на одному двигуні, який міг би пройти випробування, але невдовзі після подачі живлення через ШІМ-інвертор, не пройшов. Виходячи з цього аналізу, виділяються переваги і недоліки даного стандарту.

Сучасні електродвигуни керуються напівпровідниковими перетворювачами і вже зараз можна сказати, що за останні 20 років вони показали високу частоту відмов. Такі перетворювачі в змозі генерувати імпульси напруги, що мають дуже короткий час зростання (від 50 нс до декількох тисяч мкс) і високу частоту перемикавання (до 20 кГц). З одного боку, такі перетворювачі надзвичайно ефективні при регулюванні швидкості ЕД, з іншого боку, вони можуть значно збільшити ризик відмови двигуна, особливо якщо ізоляція обмотки некваліфіковано спроектована чи виконана. У статтях [10,11] було показано, що напруга, яка виникає на клемі двигуна, може істотно відрізнятися від напруги на виході перетворювача. Це пов'язано з пульсаціями в електричному ланцюзі, що повторюються. Вони можуть виникнути на клемі ЕД через невідповідність опору ЕД та з'єднувальних кабелів. Такі пульсації, величина яких залежить від довжини кабелю і часу зростання перетворювача, а також температурного навантаження, викликаного діелектричним нагріванням при високій частоті перемикавання, можуть сприяти прискоренню старіння ізоляції обмоток і викликати передчасні відмови.

Американськими дослідниками розроблено модель на основі системи виявлення несправностей ЕД, яка представлена в патенті [12]. Перевагою цього винаходу є те, що спосіб і система даного винаходу засновані на програмному забезпеченні і використовують дані отримані з неінтрузивних вимірювань. Завдяки цьому значно зменшуються витрати. Система містить комп'ютерні засоби, з'єднані з датчиками, які забезпечують безперервну інформацію в реальному часі про входні параметри: напруга, струм і швидкість двигуна. Система і спосіб використовують багатопараметричний експериментальний алгоритм моделювання для отримання математичного опису двигуна. Алгоритм порівнює змодельований результат з вимірним результатом і кількісно порівнює його з точки зору залишку, який генерується шляхом вирахування відповідних сигналів. Діагност аналізує залишок і визначає, чи працює двигун без помилок. Виявивши признаки несправності, діагност оцінює вимірні зміни параметрів двигуна, визначає відхилення від еталонного значення і видає діагноз ймовірної відмови або несправного компонента.

Авторами статті [6] проведено діагностику технічного стану тягових АД кар'єрного автосамосвалу з використанням вейвлет-аналізу. Показана можливість вибіркового контролю

діагностичних частот при використанні вейвлет-аналізу.

Тож, вибір методу оцінки якості асинхронних електродвигунів є дуже актуальним і важливим завданням.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є вибір методу оцінки якості асинхронних тягових електродвигунів для електробусів, який дозволяє контролювати їх технічний стан на всіх стадіях життєвого циклу.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести порівняльний аналіз існуючих методів оцінки якості асинхронних двигунів;
- вибрати критерії оцінки якості двигунів у відповідності до яких провести раціональний вибір методу оцінки якості АД;
- обґрунтувати вибір методу оцінки якості асинхронних тягових електродвигунів для електробусів.

Методи діагностування оцінки якості асинхронних електродвигунів

Існує багато різних методів діагностування асинхронних двигунів [2]. Їх вибір залежить від багатьох умов і в тому числі від того, на якому з етапів життєвого циклу проводиться діагностування, табл. 1.

Етапи життєвого циклу ЕД	Мета діагностування ЕД	Основні види несправностей ЕД
Етап виробництва	Контроль оптимального проектування і доведення, для досягнення надійності та довговічності	Кінематичні помилки виготовлення деталей, вихід структурних параметрів за допустимі значення дефекти збірки (неврівноваженість, наявність ексцентриситету, різного роду перекоси, зазори, відносні зміщення взаємодіючих деталей, недотримання технології і т.д.)
Етап приймально-здавальних випробувань	Контроль якості готових двигунів, визначення класу технічного стану	Зміна параметрів ЕД, які призводять до несправностей і відмов, рис. 1.
Етап експлуатації	Виявлення відхилень діагностичних параметрів від норм та процесів старіння елементів	Будь-які дефекти і поломки, що залишаються на етапі виробництва або з'явилися на етапі експлуатації
Етап ремонту	Передремонтна оцінка і післяремонтний контроль технічного стану з метою визначення несправності і якості ремонту відповідно	

Важливо відзначити, що за швидкістю розвитку експлуатаційні дефекти ділять на категорії, представлені на рис. 1.

Зрозуміло, що після ремонту ЕД, що включає в себе розбирання і заміну деталей, надійність роботи знижується. Тому якісне, своєчасне діагностування на кожному з етапів життєвого

циклу ЕД (без його розбирання) дозволить заздалегідь виявити приховані дефекти, попередити поломки, знизити витрати на ремонт, підвищити надійність ЕД, тим самим підвищивши надійність електробуса в цілому.

На даний час відомо багато методів діагностики асинхронних двигунів. Їх класифікація представлена на рис. 2.



Рис. 1. Категорії експлуатаційних дефектів за швидкістю розвитку

Зрозуміло, що кожен з методів має свої переваги і недоліки, але як бачимо з рис. 2, з усіх методів діагностики електродвигуна найбільш інформативним є вібраційний метод. Основні джерела вібрації електромагнітного, механічного та аеродинамічного походження асинхронного електродвигуна представлені

на рис. 3. Це пов'язано з тим, що у вібраційному сигналі міститься вся необхідна інформація про зміну всіх компонент, що визначають технічний стан електродвигуна в реальному часі на стадії проектування, виготовлення і експлуатації.

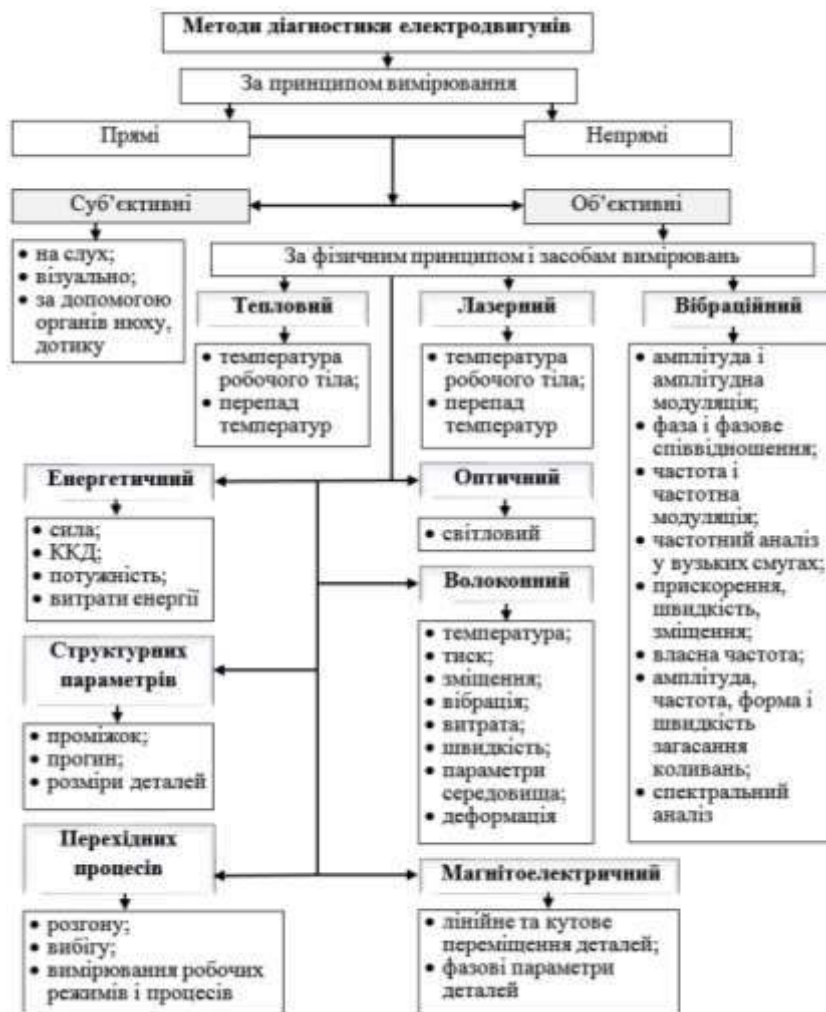


Рис. 2. Класифікація методів діагностики електродвигунів



Рис. 3. Причини і джерела вібрації електромагнітного, механічного та аеродинамічного походження асинхронного електродвигуна

Важливо відзначити, що застосування вібраційних методів є ефективним на всіх стадіях життєвого циклу електродвигуна, табл. 1. Це обумовлено високою чутливістю вібраційних процесів до зміни конструкції, технології, динамічного стану вузлів і деталей, до розподілу пульсацій швидкості, навантаження або тиску в робочих середовищах вузлів, до поля силових впливів, умов експлуатації, до зміни робочих процесів і режимів функціонування. Тому для діагностування якості тягових електродвигунів для електробусів актуальним є застосування саме методів оцінки технічного

стану по вібродіагностичним характеристикам (ВДХ). Найбільше це стосується електробусів, призначених для перевезення пасажирів в міських умовах експлуатації. З особливостями режимів їх роботи. Дані режими роботи характеризуються довільним чергуванням режимів розгону, гальмування і руху з усталеною швидкістю, подолання підйомів і спусків, короткочасних стоянок на зупинках, заторах, світлофорах, перехрестях і «випадкового» навантаження на систему тягового електроприводу [13, 14]. Така динаміка є причиною виникнення підвищеної вібрації електродвигуна [15].

Для обґрунтування доцільності вибору вібраційного методу оцінки якості електродвигуна необхідно відзначити переваги дослідження ВДХ [15], а саме:

- пропорційну залежність зміни вібрації від навантаження і частоти обертання, зазору, значень геометричних похибок;

- фізичні властивості збудження вібрації, що дозволяють в якості діагностичного параметра використовувати динамічні ознаки;

- властивості вібраційних сигналів швидко реагувати на зміну технічного стану, що дозволяють в реальному часі спостерігати і зіставляти реакцію всіх компонент електродвигуна, пов'язаних кореляційною залежністю, на зміну конструкції, технології виготовлення, робочих процесів, режимів роботи;

- можливості використання сучасних комп'ютерних технологій для швидкого отримання інформації про технічний стан, підвищення точності діагнозу технічного стану, зниження трудомісткості ресурсних і експлуатаційних випробувань і діагностування.

Потенційною проблемою надійності ЕД є власні коливання окремих елементів механічної системи, що лежать в межах частотного діапазону діючих сил, жорсткість конструкції, що змінюється при певних режимах роботи і дії зовнішніх сил, деформація матеріалів і зміна їх в'язко пружних властивостей і спектра власних частот механічних систем. Тому ресурс електродвигуна визначається не тільки робочими процесами, навантаженнями і закладеною міцністю й довговічністю, точністю виготовлення і функціонування механізмів, а й фактичним вібронавантаженням і можливістю механічних систем і деталей мати в певних умовах резонансну частоту. Тож вібраційні характеристики ЕД є комплексним показником його якості.

Основними властивостями вібраційних сигналів, які використовуються для оцінки якості тягового електродвигуна для електробуса є наступні.

1. Пропорційна залежність зміни вібрації від навантаження і частоти обертання, зазору, значень геометричних похибок, що дозволяють нормувати вихідні та граничні їх значення для контролю якості проектування, виготовлення і експлуатації електродвигуна.

2. Висока універсальність, чутливість і вибірковість вібраційного сигналу до парамет-

рів технічного стану електродвигунів, що дозволяють: діагностувати більшість механічних дефектів і систем, що містять потік; виявляти дефекти, що зароджуються; діагностувати дефекти збірки деталей і вузлів (несоосність, вигин, перекіс, дисбаланс).

3. Фізичні властивості збудження вібрації, що дозволяють в якості діагностичного параметра використовувати динамічні – комплексні ознаки структурного, функціонального та динамічного стану електродвигуна: вібродіагностичні характеристики ЕД; власні частоти в зборі деталей, вузлів і агрегатів; резонансні явища; жорсткісні характеристики вузлів і систем.

4. Властивості вібраційних сигналів швидко реагувати на зміну технічного стану ЕД, що дозволяє спостерігати і зіставляти в реальному часі реакцію всіх компонент – структурного, функціонального та динамічного стану механізмів на зміни: конструкції; технології виготовлення і збірки; робочих процесів; режимів роботи; регульовальних робіт; кореляційної залежності дефектів механізмів.

5. Можливість створювати системи автоматизації контролю і попередження аварійних ситуацій і управління роботою електродвигуна.

6. Можливість створювати сучасні комп'ютерні і мікропроцесорні бортові, стаціонарні і переносні системи швидкого отримання достовірної інформації про технічний стан ЕД на стадіях доведення конструкції, виготовлення і експлуатації.

7. Великий обсяг інформації в одному вимірі вібрації.

8. Велика достовірність вібраційного діагностування.

9. Прогресивна технологія діагностування (без розбирання) і висока мобільність коштів.

10. Зниження трудомісткості ресурсних і експлуатаційних випробувань і діагностування.

Неможливо виготовити двигун, який не має вібрації взагалі, але є рівні вібрації, які можна розглядати як допустимі. Збільшення вібрації більше допустимого рівня або зниження нижче нормального стану свідчить про наявність дефектів, несправностей і зміну режимів роботи. Кожен дефект збуджує вібрації на певній частоті, групі частот або широкій смузі частот [15]. Це дає можливість визна-

чати технічний стан електродвигуна, наявність або відсутність несправності способом простого визначення рівнів спектральних складових вібраційного процесу і порівнянням їх з вихідним значенням.

Тому вибір асинхронного тягового електроприводу по рівню вібрації дозволяє отримати необхідні технічні, екологічні і експлуатаційні якості електробуса, а також дослідження вібраційних характеристик високооборотного асинхронного електродвигуна в такому застосуванні.

Достовірність вібраційної діагностики забезпечується прямим зв'язком вібраційних процесів зі структурними параметрами зазорів кінематичних і геометричних похибок деталей і функціонуванням механізмів [15].

Основною відмінною особливістю методів вібраційного діагностування є використання в якості діагностичних ознак динамічних параметрів, які є результатом зовнішнього впливу і взаємодії деталей електродвигуна в процесі його роботи. Широкі частотні і динамічні діапазони коливальних процесів, мала інерційність, велика швидкість поширення віброакустичних хвиль по деталях і корпусу ЕД обумовлює швидко реакцію вібраційного сигналу на зміну технічного стану. Ці якості є найважливішими для швидкого визначення технічного стану, застосування бортових систем контролю аварійних ситуацій, коли швидкість постановки діагнозу і прийняття рішення є гарантією запобігання катастрофічним наслідкам [15].

Сучасні експериментальні методи вібраційного діагностування із застосуванням віброаналізатора і програмного забезпечення ПК на стадії доведення електродвигуна стають зручним інструментом швидкого отримання інформації, необхідної для усунення динамічних проблем і прийняття конструктивних рішень щодо оптимізації робочих процесів і режимів роботи. Це дозволяє застосовувати економічно найбільш ефективний метод вібраційного діагностування динамічних і технологічних властивостей конструкції електродвигуна, що полягають у виготовленні прототипів на основі інженерних знань і досвіду з подальшим проведенням їх вібраційних випробувань в лабораторних умовах. Фахівцю набагато простіше користуватися методами вібраційного діагностування. З їх допомогою мо-

жна швидше і з достатньою вірогідністю оптимізувати конструктивні параметри ЕД, контролювати якість виготовлення і експлуатації.

Вібродіагностика – найбільш інформативний і універсальний метод в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю, параметричного контролю та трібодіагностикою. Висока універсальність методу базується на властивостях вібраційних процесів, загальних для всіх типів механізмів і систем ЕД. Тому методи вібраційної діагностики дозволяють підійти до аналізу стану деталей і вузлів електродвигуна різних фізичних діючих процесів та режимів функціонування. Це дозволяє з меншими витратами створення єдиних засобів автоматизації процесів діагностування на всіх стадіях життєвого циклу ЕД.

Комп'ютерні та мікропроцесорні системи дають можливість вібраційного діагностування макетних і дослідних зразків, якості виготовлення і експлуатації за рахунок змінних блоків (плат) запам'ятовуючих пристроїв програмного забезпечення та єдності метрологічного забезпечення, що робить їх доступними в частині вартості, навчання персоналу і зручності в роботі. Можливості комп'ютерних і мікропроцесорних систем автоматизувати процес діагностування електродвигуна дозволяють створювати універсальні вбудовані (бортові і штатні) і зовнішні (портативні і стаціонарні) засоби діагностики, придатні для використання водієм, діагностом, оператором, при будь-яких формах організації технічного сервісу в невеликих і великих господарствах або в спеціальних ремонтних майстернях.

Все вище зазначене підтверджує, що ВДХ є універсальними і найбільш придатними для оцінки якості тягових АД, а використання вібродіагностичного методу таким, що його можна використовувати на всіх етапах життєвого циклу АД: етапу проектування, виробництва, приймально-здавальних випробувань, експлуатації та ремонту.

Висновки

Проведено порівняльний аналіз існуючих методів оцінки якості асинхронних двигунів. У якості критеріїв оцінки якості вибрані вібродіагностичні характеристики у відповідності до яких запропоновано використовувати вібраційний метод оцінки якості тягових АД для електробусів, на всіх етапах життєвого циклу АД: етапу проектування, виробництва,

приймально-здавальних випробувань, експлуатації та ремонту. Даний метод дозволяє діагностувати технічний стан всіх систем тягового двигуна електробуса: механічного електромагнітного та аеродинамічного походження.

Література

1. Полковниченко Д. В. Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей. *Электротехника і Електромеханіка*. 2005. Вып. 1. С. 59–62.
2. Сидельников Л. Г., Афанасьев Д. О. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации. *Вестник ПНИПУ Геология, нефтегазовое и горное дело*. 2013. Вып. 7. С. 127–137.
3. ДСТУ EN 60034-14:2016 Машини електричні обертові. Частина 14. Механічні вібрації деяких механізмів із висотою вала 56 мм і вище. Вимірювання, оцінювання та допустимі рівні вібрації (EN 60034-14:2004; EN 60034-14:2004/A1:2007, IDT)
4. ГОСТ IEC 60034-14-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 14. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотами вала 56 мм и более. Измерения, оценка и пределы жесткости вибраций. 2015.
5. Standards European UNE EN 60034-14:2004/A1:2007 Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity (IEC 60034-14:2003/A1:2007). 2007.
6. Большунова О. М., Большунова А. В., Камышнян А. М. Диагностика технического состояния тяговых асинхронных двигателей карьерного автосамосвала с применением вейвлет-анализа. Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Вып. 3. С. 49–52.
7. Воробьев Н. П., Воробьева С. Н., Суханкин Г. В., Герцен Н. Т. Методы и приборы диагностирования изоляции асинхронных двигателей. *Ползуновский вестник*. 2011. Вып. 2 (2). С. 261–269.
8. Воробьев В. Е., Кучер В. Я. Прогнозирование срока службы электрических машин. СПб.: СЗТУ, 2004. 56 с.
9. Cavallini A., Montanari G. C., Tozzi M. Electrical aging of inverter-fed wire-wound induction motors: from quality control to end of life. *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (San Diego, 6-9 June 2010). San Diego, 2010. P. 1–4.
10. Rotating electrical machines - Part 18-41 Qualification and Type Tests for Type I-Electrical Insulation Systems Used in Rotating Electrical

Machines Fed from Voltage Converters. IEC TS. 2014. P. 60034–18.

11. Kaufhold M., Borner G., Eberhardt M., Speck J. Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulse-controlled inverters. *IEEE Electrical insulation magazine*. 1996. Vol. 12. P. 9–16.
12. Patent US6014598A. Duyar A., Albas E., Durakbasa O. T., Serafettinoglu A. H. Model-based fault detection system for electric motors, 2000.
13. Мигаль В. Д., Двадненко В. Я. Выбор электродвигателей для электромобилей и гибридных автомобилей. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2016. Вып. 75. С. 116–119.
14. Dvadenko V., Arhun S., Bogajevskiy A., Ponikarovska S. Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. 2018. Vol. 10. P. 209–22.
15. Мигаль В. Д. Вибрационные методы оценки качества тракторов на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации. [Харьков]: ХНАДУ, 2002. 512 с.

References

1. Polkovnichenko D. V. (2005) Posleremontnaya otsenka tehniceskogo sostoyaniya korotkozamknytykh asinhronnykh elektrodvigateley. [Post-repair assessment of the technical condition of short-circuited asynchronous electric motors] *Elektrotexnika i Elektromexanika*. 1, 59–62. [in Russian].
2. Sidelnikov L. G., Afanasev D. O. (2013) Obzor metodov kontrolya tehniceskogo sostoyaniya asinhronnykh dvigateley v protsesse ekspluatatsii. [Review of methods for monitoring the technical condition of asynchronous motors in operation] *Vestnik PNIPU Geologiya, neftegazovoe i gornoe delo*. 7, 127–137. [in Russian].
3. DSTU EN 60034-14:2016 Mashyny`ny` elektry`chni obertovi. Chasty`na 14. Mexanichni vibratsiyi deyaky`x mexanizmiv iz vy`sotoyu vala 56 mm i vy`shhe. Vy`miryuvannya, ocinyuvannya ta dopusty`mi rivni vibratsiyi [Electric rotary machines. Part 14. Mechanical vibrations of some mechanisms with a shaft height of 56 mm and higher. Measurement, evaluation and permissible vibration levels] (EN 60034-14:2004; EN 60034-14:2004/A1:2007, IDT) [in Ukrainian].
4. GOST IEC 60034-14-2014 Mashiny elektricheskie vraschayuschiesya. Chast 14. Mehanicheskaya vibratsiya nekotorykh vidov mashin s vyisotami vala 56 mm i bolee. Izmereniya, otsenka i predelyi zhestkosti vibratsiy (2015). [Rotary electric machines. Part 14. Mechanical vibration of certain types of machines with shaft heights of 56 mm and

- more. Measurement, evaluation and vibration stiffness limits]. [in Russian].
5. Standards European UNE EN 60034-14:2004/A1:2007 Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity (IEC 60034-14:2003/A1:2007). 2007.
 6. Bolshunova O. M., Bolshunova A. V., Kamyshyan A. M. (2016) Diagnostika tehničeskogo sostoyaniya tyagovyih asinhronnyih dvigateley karernogo avtosamosvala s primeneniem veyvlet-analiza. [Diagnostics of the technical condition of traction asynchronous engines of a mining dump truck using wavelet analysis.] *Dinamika sistem, mehanizmov i mashin.* 3, 49–52. [in Russian].
 7. Vorobev N. P., Vorobeva S. N., (2011) Suhankin G. V., Gertsen N. T. Metody i priboryi diagnostirovaniya izolyatsii asinhronnyih dvigateley. [Methods and instruments for diagnosing insulation of asynchronous motors.] *Polzunovskiy vestnik.* 2 (2), 261–269. [in Russian].
 8. Vorobev V. E., Kucher V. Ya. (2004) Prognozirovanie sroka sluzhbyi elektricheskikh mashin. [Predicting the life of electric cars] SPb.: SZTU. [in Russian].
 9. Cavallini A., Montanari G. C., Tozzi M. (2010) Electrical aging of inverter-fed wire-wound induction motors: from quality control to end of life. *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (San Diego, 6-9 June 2010), 1–4.
 10. (2014) Rotating electrical machines - Part 18-41: Qualification and Type Tests for Type I-Electrical Insulation Systems Used in Rotating Electrical Machines Fed from Voltage Converters. IEC TS. 60034–18.
 11. Kaufhold M., Borner G., Eberhardt M., Speck J. (1996) Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulse-controlled inverters. *IEEE Electrical insulation magazine.* 12, 9–16.
 12. Patent US6014598A. Duyar A., Albas E., Durakbasa O. T., Serafettinoglu A. H. (2000) Model-based fault detection system for electric motors.
 13. Migal V. D., Dvadnenko V. Ya. (2016) Vyibor elektrodvigateley dlya elektromobiley i gibridnyih avtomobiley. [The choice of electric motors for electric vehicles and hybrid cars.] *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta.* 75, 116–119 [in Russian].
 14. Dvadnenko V., Arhun S., Bogajevskiy A., Ponikarovska S. (2018) Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles.* 10, 209–22.
 15. Migal V. D. (2002) Vibratsionnyie metodyi otsenki kachestva traktorov na stadiyah proektirovaniya, izgotovleniya i ekspluatatsii. [Vibration methods for assessing the quality of tractors at the stages of design, manufacture and operation] [Harkov]: HNADU [in Russian].
- Мигаль Василь Дмитрович**¹, д.т.н., проф, тел. +38 096-263-3326, vasilymigal9@gmail.com,
Аргун Щасяна Валіковна², к.т.н., доц. каф. автотранспортної електроніки, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com,
¹Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 61002, Україна, м. Харків, вул. Алчевських 44.
²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
- Selection of method for estimation of quality of asynchronous traction electric motors for electric buses**
- Abstract. Problem.** *Despite all the advantages of asynchronous electric motors (ADs), they often fail. In connection with this diagnosis of blood pressure in the production stage, during the acceptance tests and in the process of operation is one of the most important ways to improve the reliability and cost-effectiveness of equipment. Therefore, the right choice of diagnostic method for assessing the quality and technical condition at different stages of the life cycle of blood pressure is a guarantee of its reliable operation. This is especially true for traction BP, which operate in dynamic modes of operation of mechanical loads.* **Goal.** *The purpose of the work is to choose a method for assessing the quality of asynchronous traction electric motors for electric buses.* **Methodology.** *Analytical methods of theoretical studies, comparative analysis of methods for determining the quality of traction AO for electric bus are used.* **Results.** *A comparative analysis of existing methods for assessing the quality of asynchronous motors is carried out. Vibrant diagnostic characteristics were selected as criteria of quality assessment, in accordance with which it was suggested to use a vibration method for assessing the quality of tractional blood pressure for electric buses.* **Originality.** *The proposed method can be used at all stages of the life cycle of blood pressure: the stage of design, production, acceptance testing, operation and repair. In addition, this method uses dynamic parameters as diagnostic features, which is important for the operation of the traction electric motor in the city electric bus.* **Practical value.** *This work allows us to proceed to the next step - the development of the method of vibration diagnostics of blood pressure, which is planned to be lit in subsequent publications.*
- Keywords:** *asynchronous motor, method of quality evaluation, electric bus, vibration characteristics, traction electric drive.*

Migal Vasily¹, Professor, Dr. Sc., Professor, tel. +38 096-263-3326, vasilymigal9@gmail.com, **Shchasyana Arhun**², Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com.

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

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

Выбор метода оценки качества асинхронных тяговых электродвигателей для электробусов

Аннотация. Проведен сравнительный анализ существующих методов оценки качества асинхронных двигателей (АД) предназначенных для использования в качестве тяговых в городских электробус и избранные критерии оценки их качества,

что позволило выбрать вибрационный метод оценки качества АД и представить обоснования сделанного выбора.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, метод оценки качества, электробус, вибрационные характеристики, тяговый электропривод.

Мигаль Василий Дмитриевич¹, д.т.н., проф., тел. +38 096-263-3326, vasilymigal9@gmail.com,

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

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

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