

**КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЮ ДВОСТУПІНЧАСТОЮ ТРАНСМІСІЄЮ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Володимир Скіданов, Сергій Іносов, Микола Самойленко, Олексій Мантицький

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський пр-т, 31, 03680, Київ, Україна, e-mail: skidanov@ukr.net*

**TWO-STAGE AUTOMATIC TRANSMISSION TECHNOLOGICAL
ELECTRIC TRANSPORT CONTROLS**

Volodimir Skidanov, Sergij Inosov, Mikola Samoilenko, Olexsij Mantickij

*Kyiv National University of Construction and Architecture,
03680, 31, Povitroflotsky avenue, Kyiv, Ukraine, e-mail: skidanov@ukr.net*

АНОТАЦІЯ. Дослідження стосується технологічного внутрішньозаводського електротранспорту – електрокарів, електронавантажувачів, електроштабелерів, електровізок тощо. З'ясована необхідність застосування технічних рішень та створення відповідних алгоритмів керування передатним числом трансмісії для низькошвидкісних транспортних засобів з автономним електроприводом для підвищення їх енергетичної та експлуатаційної ефективності. Розроблено керуючі алгоритми та методологічний супровід задачі побудови систем автоматизованого керування перемиканням передач двоступінчастою коробкою передач у довільних тягових та гальмівних режимах руху.

Ключеві слова: технологічний електротранспорт, двоступінчаста коробка передач, логічна схема алгоритмів, алгоритм керування.

АННОТАЦИЯ. Исследование касается технологического внутризаводского электротранспорта – электрокаров, электропогрузчиков, электроштабелеров, электротележек и других. Выявлена необходимость применения технических решений и создания соответствующих алгоритмов управления передаточным числом трансмиссии для низкоскоростных транспортных средств с автономным электроприводом для повышения их энергетической и эксплуатационной эффективности. Разработаны управляющие алгоритмы и методологическое сопровождение задачи построения систем автоматизированного управления переключением передач двухступенчатой коробкой передач в произвольных тяговых и тормозных режимах движения.

Ключевые слова: технологический электротранспорт, двухступенчатая коробка передач, логическая схема алгоритмов, алгоритм управления.

ABSTRACT. Purpose. Problem concerns the technological intra factory electric transport - electric cars, electric lift trucks, electropilers, electric carts, etc. **Methodology/approach.** Elucidated the need for technical solutions and the creation of appropriate gear ratio transmission control algorithms for low-speed vehicles with autonomous electric drive to improve their energy and operational efficiency. **Methodology/approach.** Developed control algorithms and methodological support of the task of creating systems, automated shift control two-stage gearbox in random traction and braking modes of movement.

Keywords: technological electric transport, two-speed gearbox transmission, logical scheme of algorithms, control algorithm.

ВСТУП

Парк технологічного електротранспорту (електрокари, електронавантажувачі, електроштабелери, електровізки тощо), задіяного у різних галузях промисловості, досить значний, тому підвищення ефективності його експлуатації є актуальною задачею. Акумуляторний технологічний електротранспорт у багатьох випадках є неодмінною складовою у промислових технологічних циклах та процесах, особливо за

умов необхідності виконання транспортних операцій у закритих приміщеннях (цехи, склади тощо), де застосування рухомого складу з двигунами внутрішнього згоряння вкрай небажане або взагалі неприпустиме. Тобто, автономний технологічний електротранспорт є практично безальтернативним для цілої низки виробництв і процесів.

Відзначимо, що напружений графік роботи такого транспорту [1...2] зумовлює інтенсивний розряд бортового джерела живлення (акумуляторної батареї) як у

самому циклі робочої зміни, так і в цілому (упродовж всього терміну служби батареї). Така особливість, з одного боку, призводить до скорочення робочого ресурсу акумуляторів, а значить і самого електротранспорту у межах однієї зміни, а з другого – до значного зменшення таких важливих експлуатаційних показників батареї як її ємність та кількість зарядно-розрядних циклів внаслідок природної деградації цих техніко-експлуатаційних показників. Ця проблема потребує певних технічних рішень з боку електромеханічних та алгоритмічних підходів.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Загальновідомо, що до вказаних вище наслідків призводить збільшення кількості та величини пускових струмів [2].

Одним з дієвих засобів, що дозволяють зменшити пускову потужність, а значить і пускові струми, при збереженні значних пускових моментів є застосування трансмісій з коробкою перемикачів передач [1, 2]. У традиційних транспортних засобах з двигунами внутрішнього згоряння, а також для транспортних систем з гібридним приводом, таке рішення є безальтернативним і беззаперечним [3 - 6]. Але для колісного акумуляторного транспорту побудова таких трансмісій вважалась громіздкою і недоцільною з огляду на притаманний електроприводам широкий діапазон регулювання обертів тягового двигуна при достатніх значеннях моменту як у пускових режимах, так і в режимах руху з різними швидкостями та навантаженнями [3].

Будь-яка модернізація передбачає певні початкові витрати коштів. Однак, у подальшій експлуатації це безсумнівно забезпечить низку позитивних результатів, зокрема таких, як збільшення терміну служби тягової акумуляторної батареї, збільшення міжзарядного пробігу технологічного електротранспорту, збільшення його технологічної продуктивності за рахунок раціонального використання енергії бортового джерела.

З викладеного витікає, що розробки, створення та якнайширше впровадження автономного електротранспорту розглядається у світовій практиці як істотно актуальна проблема.

Зазначена проблема традиційно вирішується у таких напрямках: розробка нових ефективних джерел живлення та створення ефективних систем електромеханічного перетворення енергії [3, 4, 6]. Однак кожен з зазначених напрямків передбачає наявність або створення нових технологій та витрат значних коштів.

Задача керування автоматичною коробкою передач електромобіля є частинною задачею у загальному алгоритмі, що регламентує взаємозв'язану послідовність керуючих дій для забезпечення раціонального енергообміну у силових колах систем транспортних електроприводів. Тому ця частинна задача підлягає окремому дослідженню, оскільки проблема створення оптимальної трансмісії для автономного електротранспорту є вельми актуальною задачею, бо за усіх інших рівних умов раціональна організація механічного трансмісійного вузла суттєво впливає на пускові, тягові та швидкісні характеристики машини і, природно, на кількість енергії, що відбирається від бортового джерела енергії.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз процесів та розробка алгоритму керування автоматичною двоступінчастою коробкою перемикачів передач у складі трансмісії акумуляторного технологічного електротранспорту.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Побудова трансмісії автономного електротранспорту може бути виконана з урахуванням таких трьох головних напрямків вирішення цієї задачі: використання традиційної трансмісії з багаступінчастою коробкою передач з ручним керуванням; використання тягових електродвигунів з

вбудованим редуктором, передатне число якого оптимально погоджує моменти та швидкості двигуна та ведучих коліс; використання автоматичної m -ступінчастої коробки передач. Останній напрямок становить значний науково-прикладний інтерес і є темою дослідження кафедри автоматизації технологічних процесів КНУБА.

Кількість ступенів автоматичної трансмісії визначається потрібними швидкісними показниками транспортного засобу, а також механічними та регульовальними характеристиками тягового двигуна. Здебільшого, якщо двигун спроектовано (підібрано) у жорсткому цільовому базисі як тягову машину з широким діапазоном обертів вихідного вала, кількість ступенів автоматичної коробки слід обмежувати двома, де перша ступінь покриває не менше двох третин загального швидкісного діапазону обертів двигуна та забезпечує необхідні пускові моменти, а друга ступінь, яка є підвищуючою передачею, забезпечує реалізацію повного швидкісного ресурсу транспортного засобу у межах наявного діапазону обертів двигуна. З одного боку це забезпечує розширення необхідного діапазону тягово-динамічних показників машини, а з другого – не викличе значних ускладнень кінематичної схеми трансмісії, датчиків та виконавчих електромеханічних чи електрогідролічних модулів перемикавання передач. Крім того, існує ще одна перевага використання автоматичної трансмісії, а саме забезпечується можливість побудови та реалізації алгоритмів оптимального керування рухом, які виключають суб'єктивний фактор впливу з боку оператора (водія) при визначенні найбільш раціонального співвідношення швидкостей обертання вала двигуна, руху машини та, що досить істотно, струмів навантаження у системі приводу.

Керування двоступінчастою коробкою передач тут розглянуто для електроприводів з двигуном постійного струму з незалежним збудженням, що з точки зору реалізації цього керування є найбільш загальною задачею, оскільки для двигунів з послідовним збудженням керування реалізується напівпровідниковим перетворювачем

(регулятором) лише у колі якоря, тобто має місце частинна задача двозонного керування.

Кінематична схема автоматичної двоступінчастої трансмісії достатньо проста і становить вузол з двох головних шестірень (знижувальної з кількістю зубів Z_1 та підвищувальної з кількістю зубів Z_2), електромеханічного виконавчого пристрою з трьома стабільними станами (НП=1 – увімкнено знижувальну передачу, ВП=1 – увімкнено підвищувальну передачу, ВП=НП=0 – передачі вимкнені), а також датчиків обертів вихідного вала двигуна та шестірень, що вмикаються.

Введемо такі позначення: $k = Z_2 / Z_1$ – передатне число між підвищувальною та знижувальною шестірнями; $n_B = A_{об/хв}$ – оберти двигуна при вмиканні підвищувальної передачі; $n_H = B_{об/хв}$ – те ж саме при вмиканні знижувальної передачі; $n_{ВШ} = n_B k$ – оберти підвищувальної шестірні при вмиканні ВП; $n_{НШ} = n_H k$ – оберти знижувальної шестірні при вмиканні НП. Сукупність датчиків обертів виробляє сигнали: N_B – оберти двигуна перевищують значення n_B ; N_H – оберти двигуна менші за n_H ; S_n – оберти двигуна перевищують оберти шестірні, що вмикається.

Відзначимо при цьому, що для двигуна незалежного збудження n_B та n_H повинні перевищувати значення $n_{ном}$, що дозволяє подіяти на швидкість обертання вала двигуна шляхом змінювання тільки струму збудження, не виконуючи при цьому ніяких дій у контурі регулювання струму якоря.

Перед тим як перейти до подальшого викладу, прокоментуємо методологію читання алгоритмів у вигляді логічної схеми алгоритму (ЛСА), що є дієвим математичним апаратом не тільки у представленні керуючих алгоритмів, а й у їх структурній мінімізації [7, 8].

Декілька загальних положень. Логічною схемою алгоритму називають вираз, що складається з операторів, які слідуєть

один за одним, та логічних умов, а також стрілок, наприклад

$$\downarrow A p_1 \uparrow B \downarrow p_2 \uparrow C \omega \uparrow, \quad (1)$$

де A, B, C – оператори, які задають керуючій структурі виконання команди (обчислити вираз або сформувані деяку послідовність керуючих сигналів тощо); p_1, p_2 – логічні умови, що приймають значення 1 або 0 (“так” або “ні”), від яких залежить послідовність виконання операторів; ω – тотожно-хибна логічна умова, яка завжди має нульове значення і не потребує додаткової перевірки як традиційна логічна умова.

Якщо логічна умова, яка перевіряється після оператора, виконана ($p_1 = 1$), то далі виконується оператор, що стоїть за цією умовою; якщо ж логічна умова не виконана ($p_1 = 0$), то виконується оператор, до якого веде стрілка, що стоїть після цієї умови.

Так, у наведеній ЛСА (1) при $p_1 = p_2 = 0$ весь час буде виконуватись оператор A , а при $p_1 = 1, p_2 = 0$ – послідовність $ABAB...AB$. Після оператора C буде безумовний перехід до оператора A .

Слід відзначити, що ЛСА однозначно може бути представлена також і у вигляді матриці – так звана матрична схема алгоритму (МСА), де оператори (від початкового до кінцевого) утворюють стовпчики та рядки, де елементом матриці α_{ij} є логічна функція логічних умов. При цьому оператор A_j буде виконаний після оператора A_i якщо $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(p_1, \dots, p_m) = 1$. Крім того, логічні функції МСА мають такі властивості:

– перша $\alpha_{ij} * \alpha_{il} = 0$, якщо $j \neq l$;

– друга $\bigvee_{j=1}^k \alpha_{ij} = 1$.

Перша з цих умов забезпечує виконання після оператора A_i не більше одного іншого оператора, а друга – хоча б одного якогось оператора (тут “ \vee ” – знак диз’юнкції). При переході від МСА до ЛСА використовуються формули переходу, а мінімізація

ЛСА може бути здійснена за рахунок скорочення числа логічних умов [12].

Загальний алгоритм управління, що дозволяє реалізувати тяговий та рекуперативний режими роботи транспортного засобу та виконати необхідне переключення у коробці передач є досить розгалуженою складною структурою і у формі ЛСА має такий вигляд:

$$\begin{aligned} & \downarrow A0 p1 \uparrow p2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow p3 \uparrow \omega \uparrow \downarrow A1 p1 \uparrow \\ & p2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow p4 \uparrow \downarrow A2 p1 \uparrow p2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow * \\ & * p5 \uparrow p4 \uparrow \omega \uparrow \downarrow A3 \downarrow A4 p1 \uparrow p2 \uparrow \\ & \omega \uparrow \downarrow p6 \uparrow A5 \omega \uparrow \downarrow A6 p1 \uparrow \omega \uparrow \downarrow p2 \uparrow * \\ & * \downarrow p6 \uparrow \omega \uparrow \downarrow A7 p2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow A5 \quad (2) \\ & \downarrow A8 p3 \uparrow p5 \uparrow A3 \omega \uparrow \downarrow p1 \uparrow \omega \uparrow \downarrow p2 \uparrow * \\ & * \downarrow A7 p4 \uparrow p2 \uparrow \downarrow A9 p3 \uparrow p2 \uparrow p4 \uparrow \\ & \downarrow A10 p2 \uparrow p4 \uparrow p5 \uparrow A3 \downarrow A11 p2 \uparrow * \\ & * p6 \uparrow A5 \omega \uparrow. \end{aligned}$$

В наведеному алгоритмі прийняті такі позначення для операторів: $A0$ – підпрограма (п/п) режиму стоянки; $A1$ – п/п тягового режиму першої зони (НП=1); $A2$ – п/п тягового режиму другої зони (НП=1); $A3$ – п/п вмикання вищої передачі (наслідок - ВП=1); $A4$ – п/п тягового режиму другої зони з ВП=1; $A5$ – п/п вмикання знижувальної передачі (наслідок - НП=1); $A6$ – п/п режиму вільного вибігу (накату) з ВП=1; $A7$ – п/п визначення пускового магнітного потоку двигуна при виході з накату для забезпечення безструмового вмикання перетворювача у колі якоря; $A8$ – п/п режиму вільного вибігу з НП=1; $A9$ – п/п рекуперативного режиму першої зони (НП=1); $A10$ – п/п рекуперативного режиму другої зони (НП=1); $A11$ – п/п рекуперативного режиму другої зони з ВП=1.

Логічні умови, що аналізуються у перебігу виконання алгоритму (2) та визначають послідовність виконання підпрограм, наведені у таблиці.

Тут γ_A та γ_T є значеннями коефіцієнту

заповнення імпульсного циклу (КЗЦ) при широтно-імпульсному регулюванні напруг на якорі двигуна у тяговому та гальмівному режимах. Причому в загальному випадку КЗЦ визначається як $\gamma = t_{\text{имп}} / T$, тобто як відношення тривалості керуючих імпульсів до періоду їх слідування.

Керування автоматичним перемиканням передач як частинна задача у загальному алгоритмі керування приводом полягає в наступному. При надходженні до системи керування сигналу N_B або N_H при відповідних значеннях p_1 та p_2 ініціюється виконання підпрограми перемикання передач (А3 або А5). Ці підпрограми є комбінованими структурами, які містять розрахунковий блок та блок, який реалізує ітераційну процедуру послідовних наближень, що забезпечує максимальну швидкість системи керування при виробленні керуючих сигналів для увімкнення відповідної передачі. Розглянемо це більш докладно. При одиничному сигналі N_B (N_H) система вимикає перетворювач у колі якоря тягового двигуна та переводить коробку передач у стан нейтралі (ВП=НП=0). Далі виконується алгоритм порівнювання швидкостей обертання якоря та шестірні, що вмикається. Оскільки керування частотою обертання якоря у даному випадку здійснюється перетворювачем у колі обмотки збудження, то необхідно за один програмний цикл вірогідно визначити відповідну керуючу дію, а саме - адекватне значення коефіцієнта заповнення імпульсного циклу для формування необхідної вихідної напруги цього перетворювача. У режимі холостого ходу маємо співвідношен-

ня $u = n c_e \Phi$, де u – напруга ТАБ; c_e – конструктивний коефіцієнт; Φ - магнітний потік двигуна. З цього виразу визначаємо значення потоків Φ_B та Φ_H , які забезпечують оберти $n_{Bш}$ та $n_{Hш}$, у такому вигляді:

$$\Phi_B = u / n_{Bш} c_e = uk / (n_B c_e); \quad (3)$$

$$\Phi_H = u / n_{Hш} c_e = u / n_H k c_e. \quad (4)$$

При цьому потоки, які забезпечують на валу потрібні задані значення обертів n_B і $n_{Hш}$, визначаються з таких виразів:

$$\Phi_B^M = u_{\text{max}} k / n_B c_e; \quad (5)$$

$$\Phi_H^M = u_{\text{max}} / n_H k c_e. \quad (6)$$

Виконавши ділення (3) на (5) та (4) на (6), одержимо

$$\Phi_B = \Phi_B^M u / u_{\text{max}}; \quad (7)$$

$$\Phi_H = \Phi_H^M u / u_{\text{max}}, \quad (8)$$

де $\Phi_B^M, \Phi_H^M, u_{\text{max}}$ - відомі величини.

Далі за значеннями потоків Φ_B та Φ_H визначаються адекватні струми збудження та значення коефіцієнту заповнення імпульсного циклу перетворювача, які ці струми забезпечать. Струм збудження може бути також визначений аналітично з використанням кусково-лінійної апроксимації кривої намагнічування двигуна (залежність магнітного потоку від струму збудження) на п'яти лінеаризованих інтервалах, для яких попередньо розраховані коефіцієнти, що задають пряму на кожному інтервалі. Це дозволяє при певній організації програмної розрахункової процедури обчислити значення струму збудження за значеннями потоку у довільній точці кривої намагнічування. Слід також відзначи-

Таблиця. Логічні умови та послідовність виконання підпрограм

Table. Logical conditions and sequence of routines

Умова	Зміст умови	Позначення	$p_i = 1$, якщо
p_1	завдання акселератора	γ_A	$\gamma_A > 0$
p_2	завдання гальма	γ_T	$\gamma_T > 0$
p_3	наявність швидкості	$n_{я}$	$n_{я} > 0$
p_4	визначення зони регулювання	z	$\gamma_{я} = \gamma_{я}^1; \gamma_3 = \max$
p_5	оберти двигуна	$n_{я}$	$n_{я} > N_B$
p_6	оберти двигуна	$n_{я}$	$n_{я} < N_H$

ти, що потрібний струм збудження може бути визначений програмно-табличним способом, що скорочує час виконання програми та забезпечує достатню точність визначення цього струму за умови забезпечення раціонального кроку дискретності при побудові таблиці відповідності магнітних потоків струмам збудження. КЗЩ перетворювача у колі збудження визначається шляхом обчислення співвідношення, яке зв'язує КЗЩ, струм збудження, напругу акумуляторної батареї та опір обмотки.

Висока точність, яка потрібна при погодженні обертів двигуна та шестірні, що вмикається, обумовлює необхідність компенсації похибки, яка може виникнути у результаті програмного обчислення. Для цього після розрахункового блока система керування реалізує покрокове зрівнювання обертів шляхом інкремента (декремента) поточного значення коду КЗЩ перетворювача збудження, що забезпечує підгальмування (або дорозгін) двигуна. У кожному компенсаційному циклі перевіряється значення сигналів S_n та S_i ($S_i = 1$, якщо струм якоря перевищує $0,8 \cdot I_{я \max}$). Підвищувальна передача буде увімкнена за умови $S_n \cdot \overline{S_i} = 1$, а знижувальна – при $\overline{S_n} \cdot (\overline{S_i} \vee S_i) = 1$. Відзначимо, що урахування сигналу S_i є вельми суттєвим, оскільки поширює фактор струмообмеження також на алгоритм керування перемиканням передач, що робить неможливим перехід на підвищувальну передачу навіть у відповідному швидкісному діапазоні, якщо тягові струми наближені до значень, які ініціюють програмне обмеження струму.

Апробація прикладних програм, розроблених з урахуванням запропонованого рішення, була проведена на стенді з макетним зразком автоматичної двоступінчатої трансмісії і підтвердила вірність вихідних посилок та працездатність електропривода в цілому за регульовальними та тягово-динамічними показниками.

ВИСНОВКИ

Запропоноване рішення забезпечує максимальну швидкодію керування автоматичною двоступінчастою трансмісією при достатній точності розрахункового визначення керуючих дій за один програмний цикл та мінімізованій покроковій процедурі компенсації розрахункової похибки визначення обертів при перемиканні передач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баулина Е.Е., Круташов А.В., Серебряков В.В. Нужна ли коробка передач автомобилю с электроприводом? Научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ №06, июнь 2014. – С. 93-106. (<http://technomag.bmstu.ru/doc/715866.html>)
2. Скіданов В.М., Рибак В.В. Статистичні дослідження робочих циклів технологічного електротранспорту // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини.: Респ. міжвуз. зб. – 2004.- вип.64.– С. 77-82.
3. Павлов В.Б., Скіданов В.М. Украинский электромобиль. Машинобудування України. - 1995. - №3. - С. 17-19.
4. Шидловський А.К., Павлов В.Б., Юрченко О.М. Перший український гібридний електромобіль // Технічна електродинаміка. – Тематичний випуск “Силовая електроніка та енергоефективність”. – 2003.- Ч. 3. – С. 25 – 26.
5. Нарбут А.Н. “Тойота Приус” – рекордсмен по экономии топлива и чистоте выхлопа // Автомобильная промышленность. – 1998. – №8. – С. 37 – 38.
6. Bertrand Heilbronn, Sylvain Vitet, Gauthier Beuzemont, Cyriacus Bleijs. A New Future for Electric and Hybrid Vehicles // The 21-st Worldwide Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition.- Monaco.- 2005.
7. Лазарев В.Г., Пуйль Е.И. Синтез управляющих автоматов.- М.: Энергия, 1978.- 408с.
8. Скіданов В.М., Рибак В.В., Дубовик І.В. Мінімізація алгоритмів управління тяговими електроприводами автономного технологічного електротранспорту. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини.: Респ. міжвуз. зб. – 2003.- вип.62.– С. 66-72.

REFERENCES

1. *Baulina E.E., Krutashov A.V., Serebryakov V.V., 2014.* Nuzhna li korobka peredach avtomobilyu s elektroprivodom? [Do need gearbox the car with electricdrive?]. Nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana: Nauka i Obrazovanie. [Scientific publication MSTU Bauman: Science and Education], No. 06, June 2014, 93-106. (<http://technomag.bmstu.ru/doc/715866.html>). - (in Russian).
2. *Skidanov V.M., Rybak V.V. 2004.* Statistichni doslidzhennya robochix cikliv texnologichnogo elektrotransportu [Statistical research process cycles for technological electric vehicles]. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativhi mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 64, 77-82. – (in Ukrainian).
3. *Pavlov V.B., Skidanov V.M. 1995.* Ukrainskij elektromobil. [Ukrainian electric vehicle]. *Mashinobuduvannya Ukraini* [Engineering Ukraine], No.3, 17-19. – (in Ukrainian).
4. *Shidlovskii A.K., Pavlov V.B., Yurchenko O.M. 2003.* Pershij ukraïnskij gibridnij elektromobil. [First Ukrainian electric hybrid]. *Texnichna elektrodinamika. Tematichnij vipusk "silova elektronika ta energoefektivnist"* [Technical electro-dynamics. Special issue of "Power Electronics and Energy Efficiency"], Vol. 3, 25-26.
5. *Narbut A.N. 1998.* "Toyota prius" – rekordsmen po ekonomii topliva i chistote vyllopa ["Toyota Prius" - the record for fuel economy and clean exhaust]. *Avtomobilnaya promyshlennost.* [Automotive], No.8, 37-38. - (in Russian).
6. *Bertrand Heilbronn, Sylvain Vitet, Gauthier Beauzemont, Cyriacus Bleijs. 2005.* A New Future for Electric and Hybrid Vehicles. The 21-st Worldwide Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, Monaco.
7. *Lazarev V.G., Pijl E.I. 1978.* Sintez upravlyayushchix avtomatov [Synthesis of automatic control]. Moscow, Energy Publ., 408. – (in Russian).
8. *Skidanov V.M., Rybak V.V., Dubovik I.V. 2004.* Minimizaciya algoritmiv uprav-linnya tyagovimi elektroprivodami avtonomnogo texnologichnogo elektro-transportu [Minimizing control algorithms for traction electric drives of technological electric vehicles]. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativhi mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 62, 66-72. – (in Ukrainian).