

Дембіцький В.М., Сітовський О.П.  
*Луцький національний технічний університет*

## МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЖИМІВ РУХУ АВТОМОБІЛІВ

Під час дослідження характеристик автомобілів з електричним приводом досить часто виникає необхідність змодельовати різні режими їх руху. У даній статті авторами здійснено дослідження можливості прогнозування режимів руху транспортних засобів. Так як реальні режими руху автомобіля зумовлені випадковими факторами, то за основу прийнято теорію марківських ланцюгів. Здійснено порівняння результатів теоретичних досліджень з міським їздовим циклом за Правилком ЄЕК ООН № 101. Для режимів стоянки та руху з постійною швидкістю збіжність результатів перебуває в прийнятних межах. Певні невідповідності спостерігаються в режимах розгону та гальмування. За результатами проведених досліджень встановлено правильність прийнятих припущень та необхідність проведення більш детальних досліджень.

**Ключові слова:** режими руху, прогнозування, марківські ланцюги, їздовий цикл, імовірність, граф станів, фінальна імовірність.

**Постановка проблеми.** Екологічні проблеми, вартість та вичерпність традиційних енергоносіїв спричинили різкий поштовх до розвитку нетрадиційних та енергоефективних технологій. У сфері автомобільного транспорту можна виокремити кілька напрямків: електричні та гібридні автомобілі, застосування біопалив та двигунів на паливних елементах. Однак найбільшого поширення набув розвиток транспортних засобів на електричній тязі. Однією з особливостей конструкції електричних та гібридних автомобілів є застосування систем рекуперативного гальмування, які дають можливість під час руху поповнювати запаси електричної енергії. Зважаючи, що головним фактором, який впливає на вартість транспортного засобу є вартість тягових акумуляторних батарей (ТАБ), а, відповідно, і запас ходу [1], доцільно обмежувати цей показник під вимоги конкретного споживача [2]. Разом з тим, як свідчать дослідження [3], результати випробувань енергетичних характеристик автомобілів, здійснені по стандартному їздовому циклу, можуть занижуватися виробниками, які переслідують маркетингові цілі. Для отримання показників витрат енергії гібридними та електричними автомобілями в реальних умовах руху або в умовах максимально наближених до реальних, необхідно отримати математичну модель, яка дасть можливість прогнозувати режими руху транспортних засобів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Результати аналізу демонструють, що на даний момент здійснено невелику кількість досліджень спрямованих саме на прогнозування режимів руху транспортних засобів. У роботі [4] автори пропонують динамічні моделі прогнозування витрат електричної енергії, побудовані методом множинної лінійної регресії для реального часу поїздки. Однак, як зазначено авторами, запропоновані моделі є специфічними з точки зору трансмісії та інших конструктивних особливостей автомобілів, оскільки вони побудовані для одного транспортного засобу. Науковцями інституту Масдара здійснено ряд досліджень пов'язаних з режимами руху автомобілів та на їх основі запропоновано заходи щодо підвищення енергоефективності автомобілів з електричним приводом [5]. Корейськими науковцями запропоновано модель енергоспоживання автомобіля з електричним приводом, яка включає в себе п'ять частин: дорожню обстановку, трансмісію, систему рекуперації енергії, допоміжну модель системи та модель акумулятора [6]. При цьому швидкість та режими руху визначаються виходячи з реальної дорожньої обстановки. Окрім того провідними науковцями з метою підвищення експлуатаційних показників автомобілів ставляться питання моделювання та прогнозування руху транспортних засобів [3, 7 – 10].

**Мета роботи** полягає у визначенні можливості прогнозування режимів руху автомобіля із заданою імовірністю, а також створення відповідного математичного апарату.

**Результати досліджень.** Для дослідження та створення математичної моделі руху автомобіля доцільно вважати випадковим процесом, стан якого описується функціями часу. З метою моделювання режимів руху транспортних засобів доцільно скористатися теорією марківських випадкових процесів.

В процесі руху автомобіль можна представити у вигляді фізичної системи  $S$ , яка може перебувати в одному з наступних станів:  $s_1$  – автомобіль перебуває в нерухомому стані,  $s_2$  – автомобіль здійснює розгін;  $s_3$  – автомобіль рухається з постійною швидкістю;  $s_4$  – автомобіль

здійснює рекуперативне гальмування. В початковий момент часу автомобіль перебуває в нерухомому стані. Граф станів автомобіля має вигляд, показаний на рисунку 1. Біля кожного переходу стану проставлено відповідну імовірність переходу.

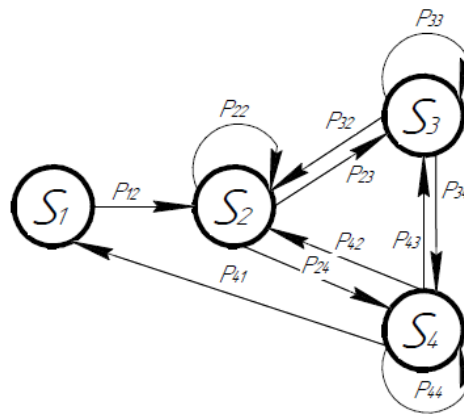


Рисунок 1 – Граф станів системи.

Наведений граф станів представляє процес руху транспортного засобу. Нехай, в початковий момент часу автомобіль перебуває у нерухомому стані  $s_1$ , тоді з імовірністю  $P_{12}=1$  він перейде в стан  $s_2$  розпочне розгін. Зі стану  $s_2$  автомобіль може продовжувати розгін (залишитися в цьому ж стані з імовірністю  $P_{22}$ ), рухатися з постійною швидкістю (перейти в стан  $s_3$  з імовірністю  $P_{23}$ ), здійснювати рекуперативне гальмування (перейти в стан  $s_4$  з імовірністю  $P_{24}$ ). Разом з тим транспортний засіб не може перейти в нерухомий стан  $s_1$  без здійснення гальмування. В даному випадку прийнято, що автомобіль здійснює рекуперативне гальмування до швидкості  $V=0$  м/с. Наведений вище граф станів представляє собою марківський ланцюг. В даному випадку система може перейти в стан  $s_1$  лише зі стану  $s_4$ , тобто після здійснення гальмування. Таким чином перехідні ймовірності будуть залежати лише від попереднього стану системи, тому марківський ланцюг буде неоднорідним. Оскільки за певну кількість кроків система може перейти у будь-який стан, то представлений марківський ланцюг буде ергодичним [11]. Окрім того, стан системи може змінюватися в довільний (випадковий) момент часу, тому ланцюг можна вважати марківський ланцюгом з неперервним часом. Таким чином, рух автомобіля, може розглядатися як однорідний марківський ланцюг зі скінченною кількістю кроків. Матриця перехідних ймовірностей запишеться наступним чином:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ 0 & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix} \quad (1)$$

де  $p_{ij}$  – імовірності відповідних переходів системи.

При необмеженому збільшенні числа кроків (часу) ергодичний марківський ланцюг буде прямувати до граничних імовірностей станів системи, які показують середній відносний час перебування системи в цьому стані. Оскільки в даному випадку розглядається випадковий процес з неперервним часом, то найбільш доцільним, для визначення фінальних станів системи, буде скласти систему лінійних диференціальних рівнянь Колгоморова [12]. Враховуючи граф станів, наведений на рис. 1 та граф станів (1), дотримуючись правил складання таких диференціальних рівнянь Колгоморова, система рівнянь матиме вигляд:

$$\begin{cases} P_1' = \lambda_{41}S_4 - \lambda_{12}S_1 \\ P_2' = \lambda_{32}S_3 + \lambda_{42}S_4 + \lambda_{12}S_1 - \lambda_{23}S_2 - \lambda_{24}S_2 \\ P_3' = \lambda_{23}S_2 + \lambda_{43}S_4 - \lambda_{32}S_3 - \lambda_{34}S_3 \\ P_4' = \lambda_{34}S_3 + \lambda_{24}S_2 - \lambda_{43}S_4 - \lambda_{41}S_4 - \lambda_{42}S_4 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $\lambda_{ij}$  - щільність імовірності переходу системи з одного стану в інший, яка визначається, як ліміт відношення перехідної імовірності до ширини інтервалу  $\Delta t$  при умові, що  $\Delta t \rightarrow 0$ . При досить малих

значеннях  $\Delta t$ ,  $\lambda_{ij} = p_{ij} \cdot \Delta t$  [11]. В даній системі диференціальних рівнянь відсутні затримки системи в даному стані, оскільки вони присутні в усіх станах та є як вхідною так і вихідною величиною.

Вектор імовірності стану системи в початковий момент часу матиме вигляд:

$$S_1 = 1, S_2 = 0, S_3 = 0, S_4 = 0, \quad (3)$$

де  $S_i$  - імовірність перебування системи у відповідному стані.

З врахуванням вектора початкового стану (3), а також припускаючи, що фінальні імовірності станів системи постійні, система диференціальних рівнянь Колодоморова (2) прийме вигляд:

$$\begin{cases} \lambda_{41}S_4 - \lambda_{12}S_1 = 0 \\ \lambda_{32}S_3 + \lambda_{42}S_4 + \lambda_{12}S_1 - \lambda_{23}S_2 - \lambda_{24}S_2 = 0 \\ \lambda_{23}S_2 + \lambda_{43}S_4 - \lambda_{32}S_3 - \lambda_{34}S_3 = 0 \\ \lambda_{34}S_3 + \lambda_{24}S_2 - \lambda_{43}S_4 - \lambda_{41}S_4 - \lambda_{42}S_4 = 0 \\ S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 1 \end{cases}, \quad (4)$$

Розв'язавши дану систему лінійних алгебраїчних рівнянь можна отримати значення фінальних імовірностей станів, які визначають середню долю часу, протягом якого система перебуватиме у даному стані.

З метою перевірки адекватності запропонованої моделі (4) доцільно використати стандартний міський їздовий цикл [12, 13] характеристики якого наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Міський їздовий цикл.

№ з/п	Вимоги Правил СЕК ООН № 101, EN 1986 – 2:2001			
	Режим руху	Швидкість руху або її зміна, км/год	Прискорення, сповільнення, м/с <sup>2</sup>	Тривалість режиму, с
1	Прискорення	0...15	1,04	4
2	Постійна швидкість	15	0	8
3	Сповільнення	15...10	- 0,69	2
4	Сповільнення з відключеним зчепленням	10...0	- 0,92	3
5	Прискорення	0...15	0,83	5
6	Зміна швидкості, прискорення	15...32	0,94	7
7	Постійна швидкість	32	0	24
8	Сповільнення	32...10	- 0,75	8
9	Сповільнення з відключеним зчепленням	10...0	- 0,92	3
10	Прискорення	0...15	0,83	5
11	Зміна швидкості, прискорення	15...35	0,62	11
12	Зміна швидкості, прискорення	35...50	0,52	10
13	Постійна швидкість	50	0	12
14	Сповільнення	50...35	- 0,52	8
15	Постійна швидкість	35	0	15
16	Сповільнення	35...10	- 0,86	7
17	Сповільнення з відключеним зчепленням	10...0	- 0,92	3

Примітка 1: у даній таблиці не враховані випадки роботи транспортного засобу на холостому ходу.

За вищенаведеною таблицею визначено імовірності переходів системи з одного стану в інший, які становлять:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0,176 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,353 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,235 \\ 0,176 & 0 & 0,059 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Сума усіх імовірностей станів системи рівна 1. Тоді система рівнянь (4) прийме вигляд:

$$\begin{cases} 0,176 \cdot S_4 - 0,176 \cdot S_1 = 0 \\ 0,176 \cdot S_1 - 0,353 \cdot S_2 = 0 \\ 0,176 \cdot S_2 + 0,059 \cdot S_4 - 0,235 \cdot S_3 = 0, \\ 0,235 \cdot S_3 - 0,059 \cdot S_4 - 0,176 \cdot S_4 = 0 \\ S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 1 \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язавши систему рівнянь (6) отримано фінальні імовірності станів системи, які становлять:

$$S_1 = 0,286; S_2 = 0,140; S_3 = 0,285; S_4 = 0,286. \quad (7)$$

На рисунку 2 наведено відсотковий розподіл режимів руху міського їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 101 [13] та розподіл режимів визначений на основі теорії марківських ланцюгів.

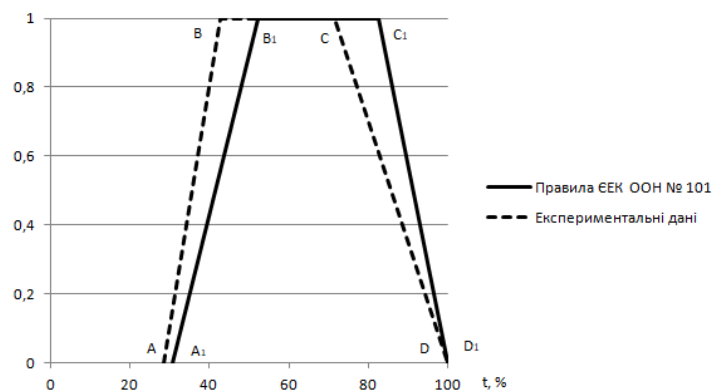


Рисунок 2 – Графік розподілу режимів руху автомобіля в міському їздовому циклі.

Ламана 0ABCD характеризує режими руху транспортного засобу у міському їздовому циклі, згідно Правил ЄЕК ООН № 101, ламана 0A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub> – розраховані режими руху. Ділянки 0A та 0A<sub>1</sub> характеризують режим нерухомого автомобіля, AB та A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> – режим розгону, BC та B<sub>1</sub>C<sub>1</sub> – режим руху з постійною швидкістю, CD та C<sub>1</sub>D<sub>1</sub> – режим гальмування.

**Висновки.** Під час досліджень, використовуючи теорію марківських ланцюгів, здійснено прогнозування режимів руху автомобіля. За запропонованою математичною моделлю визначено фінальні ймовірності режимів руху легкового автомобіля у міському їздовому циклі за Правилами ЄЕК ООН № 101. Порівнянням отриманих результатів з нормативними встановлено, що розбіжність результатів становить для нерухомого транспортного засобу 7 %, для режиму розгону - 50 %, для режиму постійної швидкості – 6 %, для режиму гальмування – 39 %. Найбільша розбіжність спостерігається в режимах розгону та гальмування, що пояснюється наявністю, в нормативному документі, режимів зміни значення прискорення та/або сповільнення без переходу в інший режим руху. Зазначені особливості потребують більш детального дослідження. Разом з тим варто відмітити достатню збіжність результатів в режимах стоянки та руху з постійною швидкістю. Результати проведених досліджень свідчать про можливість застосування теорії марківських ланцюгів для прогнозування фінальних імовірностей режимів руху транспортних засобів. Застосування ланцюгів Маркова дає можливість прогнозувати режими руху транспортних засобів, та, в подальшому, проводити дослідження експлуатаційних властивостей автомобілів, зокрема паливної економічності, в більш широких діапазонах (різних варіантах) їздових циклів.

1. Борисенко А.О. Розрахунок пробігу гібридного автомобіля на електричній тязі в залежності від умов експлуатації / А.О. Борисенко // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Автомобіле- та тракторобудування №9 - Вестник НТУ "ХПИ", 2015., с. 57 – 61. ISSN 2078-6840.

2. Сітовський О. П. Аналіз режимів руху легкового автомобіля малого класу в міських умовах для визначення оптимальної ємності акумуляторних батарей в ГСУ / О. П. Сітовський, А. М. Кашуба // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — Луганськ.: Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 2013. — Вип. 15 (204) Частина 2. — с. 243–246.

3. Саркисов П.И. Применение прогнозирования режимов движения для управления гибридным приводом автомобиля / П.И. Саркисов // Молодежный научно-технический вестник. Электронный журнал – ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана", 2012. Вып. 9. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/479108.html>.

4. De Cauwer, C.; Van Mierlo, J.; Coosemans, T. Energy Consumption Prediction for Electric Vehicles Based on Real-World Data. *Energies* 2015, 8, 8573-8593.

5. Modeling, Prediction and Optimization of Energy Consumption for Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Electric Vehicles By Chien Ming Tseng A Dissertation Presented to the Masdar Institute of Science and Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy In Interdisciplinary Engineering. - Masdar Institute of Science and Technology. – 138 p.
6. Wang, J., Besselink, I. J. M., & Nijmeijer, H. (2015). Electric vehicle energy consumption modelling and prediction based on road information. 1-12. Paper presented at 28th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS 28), May 3-6, 2015, Goyang, Korea, Goyang, Korea, Republic of.
7. Hongwen He, et al., A method for identification of driving patterns in hybrid electric vehicles based on a LVQ neural network, *Energies*, ISSN 1996-1073, 5 (2012), 3363-3380.
8. Valera J.J, et al., Driving cycle and road grade on-board predictions for the optimal energy management in EV-PHEVs, *EVS27*, 2013, Barcelona.
9. Frank A., et al., Drive cycle prediction and energy management optimization for hybrid hydraulic vehicles, *IEEE Transaction on vehicular technology*, ISSN 0018-9545, 62(2013), 3581-3592.
10. Personalized Prediction of Vehicle Energy Consumption Based on Participatory Sensing / Chien-Ming Tseng and Chi-Kin Chau // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Volume: PP, Issue: 99. – p. 1 – 11.
11. Бобков С.П. Моделирование систем: учебное пособие / С.П. Бобков, Д.О. Бытев; Ивановский государственный химико-технологический университет. – Иваново, 2008. – 156 с.
12. Вентцель Е.С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // *Радио и связь*, 1983. – 416 с.
13. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге, а также транспортных средств категорий М1 и N1, приводимых в движение только при помощи электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге: Правила ЕЭК ООН №101. - [Введены в действие 04.04.2005]. – Женева.: Европейская Экономическая комиссия Организации Объединенных наций, 2005. – 128 с.
14. Electrically propelled road vehicles - Measurement of energy performances - Part 2: Thermal electric hybrid vehicles: EN 1986 – 2:2001. – [Enacted 01.04.2001]. – Brussel.: The European Committee for Standardization, 2001. – 21 p.

## REFERENCES

1. Borisenko A.O. The calculation mileage hybrid car on electricity, depending on the operating conditions [Rozrahunok probigu gibridnogo avtomobilja na elektrichnoї tязi v zalezhnosti vid umov ekspluatacii] // *Bulletin of NTU «KhPI»*. Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – № 9. – P. 57-61. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2078-6840.
2. Sitovskiy O.P. Analysis of the modes of movement of a small class car in urban conditions for determining the optimal capacity of rechargeable batteries in hybrid power supply / O.P.Sitovsky, A.M. Kashuba // *Bulletin of the Dal East-Ukrainian National University*. - Lugansk: Dahl East-Ukrainian National University, 2013. - Vip. 15 (204) Part 2. - p. 243-246.
3. Sarkisov P.I. Application of traffic mode prediction for driving a hybrid car [Primenenie prognozirovaniya rezhimov dvizheniya dlja upravleniya gibridnym privodom avtomobilja] / P.I. Sarkisov // *Youth scientific and technical bulletin. Electronic Journal - FGBOU VPO "MGU them. N.E. Bauman"*, 2012. № 9. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/479108.html>.
4. De Cauwer, C.; Van Mierlo, J.; Coosemans, T. Energy Consumption Prediction for Electric Vehicles Based on Real-World Data. *Energies* 2015, 8, 8573-8593.
5. Modeling, Prediction and Optimization of Energy Consumption for Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Electric Vehicles By Chien Ming Tseng A Dissertation Presented to the Masdar Institute of Science and Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy In Interdisciplinary Engineering. - Masdar Institute of Science and Technology. – 138 p.
6. Wang, J., Besselink, I. J. M., & Nijmeijer, H. (2015). Electric vehicle energy consumption modelling and prediction based on road information. 1-12. Paper presented at 28th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS 28), May 3-6, 2015, Goyang, Korea, Goyang, Korea, Republic of.
7. Hongwen He, et al., A method for identification of driving patterns in hybrid electric vehicles based on a LVQ neural network, *Energies*, ISSN 1996-1073, 5 (2012), 3363-3380.
8. Valera J.J, et al., Driving cycle and road grade on-board predictions for the optimal energy management in EV-PHEVs, *EVS27*, 2013, Barcelona.
9. Frank A., et al., Drive cycle prediction and energy management optimization for hybrid hydraulic vehicles, *IEEE Transaction on vehicular technology*, ISSN 0018-9545, 62(2013), 3581-3592.
10. Personalized Prediction of Vehicle Energy Consumption Based on Participatory Sensing / Chien-Ming Tseng and Chi-Kin Chau // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Volume: PP, Issue: 99. – p. 1 – 11.
11. Bobkov S.P. Simulation of systems: a manual [Modelirovanie sistem: uchebnoe posobie] / S.P. Bobkov, D.O. Bytev; Ivanovo State Chemical Technology University. - Ivanovo, 2008. - 156 p.
12. entsel E.S. Applied problems of the theory of probabilities [Prikladnye zadachi teorii verojatnostej] / E.S. Ventzel, L.A. Ovcharov // *Radio and Communications*, 1983. - 416 p.
13. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range [Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в

dvizhenie tol'ko dvigatelem vnutrennego sgoraniya libo privodimyh v dvizhenie pri pomocshi gibridnogo elektroprivoda, v otnoshenii izmereniya ob`ema vybrosov dvookisi ugleroda i rashoda topliva i/ili izmereniya rashoda elektroenergii i zapasa hoda na elektrotjage, a takzhe transportnyh sredstv kategorij M1 i N1, privodimyh v dvizhenie tol'ko pri pomocshi elektroprivoda, v otnoshenii izmereniya rashoda elektroenergii i zapasa hoda na elektrotjage]: UNECE Regulation No. 101. - [Enacted 04.04.2005]. - Geneva: United Nations Economic Commission for Europe, 2005 - 128 p.

14. Electrically propelled road vehicles - Measurement of energy performances - Part 2: Thermal electric hybrid vehicles: EN 1986 - 2:2001. - [Enacted 01.04.2001]. - Brussel.: The European Committee for Standardization, 2001. - 21 p.

**Дембіцький В.Н., Сітовський О.Ф. Возможность применения цепей Маркова для прогнозирования режимов движения автомобилей.**

Во время исследования характеристик автомобилей с электрическим приводом довольно часто возникает необходимость смоделировать различные режимы их движения. В данной статье авторами проведено исследование возможности прогнозирования режимов движения транспортных средств. Так как реальные режимы движения автомобиля, обусловлены случайными факторами, то за основу принято теорию марковских цепей. Проведено сравнение результатов теоретических исследований с городским ездовым циклом по Правилу ЕЭК ООН № 101. Для режимов остановки и движения с постоянной скоростью сходимость результатов находится в приемлемых пределах. Определенные несоответствия наблюдаются в режимах разгона и торможения. По результатам проведенных исследований установлено правильность принятых допущений и необходимость проведения более детальных исследований.

**Ключевые слова:** режимы движения, прогнозирование, марковские цепи, ездовой цикл, вероятность, граф состояний, финальная вероятность.

**Dembitskiy V, Sitovskiy O. The possibility of using Markov chains to predict the modes of traffic of vehicles.**

During the researches of the characteristics of cars with electric drive, it often becomes necessary to simulate various modes of their movement. In this article, the authors carried out a researches of the possibility of predicting the modes of movement of vehicles. Since the real modes of vehicle movement are due to random factors, the theory of Markov chains is used as a basis. The results of theoretical researches are compared with the urban driving cycle according to UNECE Regulation No. 101.

For stopping and movement at a constant speed, the convergence of the results is within acceptable limits. Certain discrepancies are observed in the modes of acceleration and deceleration. Based on the results of the conducted researches, the correctness of the assumptions made and the need for more detailed studies have been established.

**Keywords:** modes of movement, forecasting, Markov chains, urban driving cycle, probability, state graph, final probability.

**АВТОРИ:**

**ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович**, завідувач лабораторії надійності і рухомого складу відділу міський електричний транспорт, Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

**СІТОВСЬКИЙ Олег Пилипович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі і транспортні технології», Луцький НТУ, e-mail: [sitovsky@ukr.net](mailto:sitovsky@ukr.net)

**АВТОРЫ:**

**ДЕМБИЦКИЙ Валерий Николаевич**, заведующий лабораторией надежности и подвижного состава отдела городской электрический транспорт, Государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства», e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

**СИТОВСКИЙ Олег Филиппович**, к.т.н., доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [sitovsky@ukr.net](mailto:sitovsky@ukr.net)

**AUTHORS:**

**Valeryj DEMBITSKYI**, Head of the Laboratory of reliability and rolling stock of the city electric transport, State enterprise «Scientific, research, design and technology institute», e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

**Oleg SITOVSKYI**, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [sitovsky@ukr.net](mailto:sitovsky@ukr.net)

Стаття надійшла в редакцію 30.09.2017р.