

DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.01.007>

УДК 629.423.1:621.333

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

|          |                                                             |
|----------|-------------------------------------------------------------|
| Журнал   | Технічна електродинаміка                                    |
| Издатель | Институт электродинамики Национальной академии наук Украины |
| ISSN     | 1607-7970 (print), 2218-1903 (online)                       |
| Выпуск   | № 1, 2019 (январь/февраль)                                  |
| Страницы | 7 – 15                                                      |

### Авторы

**Н.А.Костин\***, докт.техн.наук, **Т.Н.Мищенко\*\***, канд.техн.наук  
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад.  
В. Лазаряна,  
ул. Лазаряна 2, Днепр, 49010, Украина,  
e-mail: [nkostin@ukr.net](mailto:nkostin@ukr.net) , [mishchenko\\_tn@ukr.net](mailto:mishchenko_tn@ukr.net)

\* ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0002-0856-6397>

\*\* ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0001-6336-7350>

Обоснована необходимость использования методов идентификации при прогнозировании процессов в сложных мощных стохастических устройствах систем электрического транспорта. В качестве идентификационной модели электроподвижного состава предложено (вместо идеального источника тока) использовать импульсную переходную функцию. На основе корреляционной теории случайных процессов, которыми являются напряжения и токи в системах электрического транспорта, получено аналитическое выражение корреляционного интегрального уравнения в форме уравнения Винера-Хопфа, решение которого дает возможность получать импульсную переходную функцию. Рассмотрены методы решения указанного уравнения. Необходимые для решения интегрального уравнения авто- и взаимокорреляционные функции стохастических процессов напряжений и токов в системах получают экспериментальным способом на действующих участках железных дорог. Осуществлено практическое определение импульсной переходной функции как модели прогнозирования для электровозов постоянного тока, которые эксплуатируются на электрифицированных участках Приднепровской железной дороги. С этой целью осуществлен мониторинг стохастических процессов напряжения и тягового тока в реальных условиях эксплуатации. Импульсные переходные функции получены в виде экспоненциальных функций, показаны их адекватности и «универсальности» как моделей прогнозирования. Библ. 24, рис. 4, табл. 1.

**Ключевые слова:** идентификация, модель, прогнозирование, импульсная переходная функция, стохастический процесс, электрический транспорт.

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| Поступила             | 19.12.2017 |
| Окончательный вариант | 26.06.2018 |
| Подписано в печать    | 10.01.2019 |

УДК 629.423.1:621.333

## СТОХАСТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИБОРІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Журнал  
Видавник

Технічна електродинаміка  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| ISSN     | 1607-7970 (print), 2218-1903 (online) |
| Випуск   | № 1, 2019 (січень/лютий)              |
| Сторінки | 7 – 15                                |

**Автори****М.О.Костін**, докт.техн.наук, **Т.М.Міщенко**, канд.техн.наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
вул. Лазаряна 2, Дніпро, 49010, Україна,  
e-mail: nkostin@ukr.net , mishchenko\_tn@ukr.net

*Обґрунтовано необхідність використання методів ідентифікації у разі прогнозуванні процесів у складних потужних стохастичних пристроях систем електричного транспорту.. В якості ідентифікаційної моделі електрорухомого складу ( замість ідеального джерела струму) запропоновано використовувати імпульсну перехідну функцію. На основі кореляційної теорії випадкових процесів, якими є напруги і струми в системах електричного транспорту, отримано аналітичний вираз кореляційного інтегрального рівняння у формі рівняння Вінера-Хопфа, розв'язання якого дає можливість отримати імпульсну перехідну функцію. Розглянуто методи розв'язання зазначеного рівняння. Необхідні для розв'язання інтегрального рівняння авто- і взаємнокореляційна функції стохастичних процесів напруг і струмів в системі отримуються експериментальним способом на діючих ділянках залізниць. Здійснено практичне визначення імпульсної перехідної функції як моделі прогнозування для електровозів постійного струму, що експлуатуються на електрифікованих ділянках Придніпровської залізниці. З цією метою здійснено моніторинг стохастичних процесів напруги і тягового струму в реальних умовах експлуатації. Імпульсні перехідні функції отримані у вигляді експоненціальних функцій, показано їхню адекватність та «універсальність» як моделей прогнозування. Бібл. 24, рис. 4, табл. 1.*

**Ключові слова:** ідентифікація, модель, прогнозування, імпульсна перехідна функція, стохастичний процес, електричний транспорт.

|                    |            |
|--------------------|------------|
| Надійшла           | 19.12.2017 |
| Остаточний варіант | 26.08.2018 |
| Підписано до друку | 10.01.2019 |

## Література

1. Бейсенак Н. Тяговое электроснабжение высокоскоростных линий. *Железные дороги мира*. 2001. № 6. С. 26-30.
2. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт. 1982. 528 с.
3. Босий Д.О. Методика розрахунку миттєвих схем системи тягового електропостачання для споживання постійної потужності. *Електрифікація транспорту*. 2014. № 8. С.15-24.
4. Gigch J.M, Alphen G. Ac traction power supply design and EMC verification. *6<sup>th</sup> International Conference Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe* (MET'2003). Warsaw. September 25-27. 2003. Pp. 1-6.
5. Jefimowski W., Nikitenko A Case study of stationary energy storage device in a 3 kV DC traction system. *13<sup>th</sup> International Conference Modern Electric Transport*. MET'2017. Warsaw. October 5-7, 2017. P. 26.
6. Костін М.О., Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки. Том II. Дн-вськ : Вид-во ДНУЗТ. 2007. 276 с.
7. Мищенко Т.Н., Михаличенко П.Е., Костин Н.А. Вероятностные характеристики случайной функции напряжения на токоприёмнике первого украинского электровоза ДЭ 1. *Електротехніка і електромеханіка*. 2003. № 2. С. 43 – 46.
8. Kostin N., Mishenko T., Reutskova O. Stochastic Electromagnetic Processes in Power Circuits of Electric Locomotive at a Sharp Change of Voltage on a Current Collector. *7<sup>th</sup> Intern. Conf. Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe*. Warsaw , 29.09-01.10. 2005. Pp. 227-232.
9. Kostin M. Statistics and Probability of the Pantograph of DC Electric Locomotive the Recuperation Mode. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2013. No 2a. Pp. 273-275.
10. Хворост Н.В. Электрические железные дороги: этапы и перспективы развития. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2003. № 4. С. 104-114.
11. Хворост Н.В., Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В. Совершенствование электрической тяги постоянного тока железных дорог Украины для скоростного пассажирского движения. *Залізничний транспорт України*. 2003. № 6. С.11-18.

12. Міщенко Т.М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів. *Електротехніка і Електроенергетика*. 2014. № 1. С. 19-28.
13. Митрофанов А.М., Таранин М. А. Структура и математическая идентификационная модель системы тягового электроснабжения. *Электрификация и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте*. Eltrans'2003. Санкт-Петербург. 2003. С. 348-349.
14. Гроп Д. Методы идентификации систем. М.: Мир. 1979. 302 с.
15. Современные методы идентификации систем. М.: Мир. 1983. 400 с.
16. Павленко С.В. Методи та інструментальні засоби ідентифікації нелінійних динамічних систем на основі моделей Вольтерра. Автореферат дисерт. к.т.н. за спец. 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. Одеський нац. політехнічний університет. Одеса, 2016. 24 с.
17. Шефер О.В. Сучасний метод ідентифікації нелінійних сигналів радіотехнічних систем. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. Вип.1 (49). С. 185-189.
18. Minucci S., Pagano M., Proto D. Model of the 2x25kV high speed railway supply system taking into account the soil-air interface. *International Journal of Electrical Power and Energy System*. 2018, No 95. Pp. 644-652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.09.017>
19. Лившиц Н.А., Пугачев В. Н. Вероятностный анализ систем автоматического управления. М.: Советское радио. 1963. 896 с.
20. Солодовников В.В. Статистическая динамика систем автоматического управления. М.: Физматгиз. 1960. 655 с.
21. Костин Н.А., Шейкина О.Г. Неканоническое спектральное разложение случайных функций тяговых напряжения и тока в системах электрического транспорта. *Электротехника и электромеханика*. 2015. № 1. С. 68-71.
22. Костин Н.А., Саблин О.И. Методы корреляционно-спектрального анализа напряжения на токоприемнике и тягового тока электрического транспорта. Конф. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*. Днепропетровск. 2009. С.130-131.
23. Kostin N., Mishchenko T., Shumikhina L. Correlation theory of casual processes in electrical power problems for systems of electric transport. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Workshop Conference Computational Problems of Electrical Engineering* (CPEE). Kostryna, Trans-Carpathian region, Ukraine, IEEE. Lviv. September 2-5, 2015. Pp. 84-87.
24. Котельников А. Основные требования к системам и устройствам тягового электроснабжения скоростных и высокоскоростных магистралей. *6<sup>th</sup> International Conference Modern Electric Traction in Integrated XXI<sup>st</sup> Century Europe* (MET'2003). Warsaw. September 25-27. 2003. Pp.35-41.

