

УДК 621.331:621.311.71

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07

## МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОЇ ПІДВІСКИ

**Б. Г. ЛЮБАРСЬКИЙ<sup>1\*</sup>, І. В. ДОМАНСЬКИЙ<sup>2</sup>, М. І. ГАСАНОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> електричного транспорту та тепловозобудування, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

<sup>2</sup> заступник генерального директора, ТОВ «ДАК-Енергетика», Дніпро, УКРАЇНА

<sup>3</sup> проректор, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

\*e-mail: lboris1911@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** У роботі для визначення статичних та динамічних параметрів, а також критеріїв стану елементів контактної підвіски пропонується застосувати кінцево-елементні моделі, які найбільш адекватно описують фізичні процеси і використовуються зараз в світі. Запропоновано розвиток таких моделей на базі кінцевих елементів та структурування механічних та електричних графів пролетів анкерних ділянок. Розроблені одношпальні механічні та електричні мультиграф проліта анкерної ділянки, що дозволяє визначити стан параметрів контактних підвісок з урахуванням теплового зносу.

**Ключові слова:** контактна підвіска; струмоприймач; контактний провід; знос контактного проводу; мультиграф

## MODELING OF MECHANICAL AND ELECTRICAL INTERACTION OF THE CONTACT HOLE

**B. LIUBARSKYI<sup>1\*</sup>, I. DOMANSKYI<sup>2</sup>, M. GASANOV<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> electric transport and diesel locomotive engineering, NTU "Khpi", Kharkov, UKRAINE

<sup>2</sup> Deputy Director General, DAK-Energetika Ltd, Dnipro, UKRAINE

<sup>3</sup> vice-rector, NTU "Khpi", Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** In work using the methods of multi-graphs and finite elements, the simulation of the interaction of current collectors and contact pendant is considered. The interaction of the contact pendant with current collectors is a complex oscillatory process, which consists of dynamic systems of different types. So the railroad and contact pendant belong to the class of systems with distributed parameters, and components of rolling stock such as the crew and current collectors can be attributed to a class of systems with lumped parameters. The contact point of the coils of the current collectors with the contact wire is in the mechanical dynamic periodic oscillation process. Mechanical excitations are caused by fluctuations, both from the side of the contact pendant, and the crew part of the rolling stock. In addition, along the contact pendant on both sides of the point of applying the pressure of each of the current collectors, the waves of oscillations affect the interaction of the contact pendant with other current receivers. On the general system of interaction of the contact pendant, the current receiver is also affected by random factors: wind loads, imbalance (dislocation) of the contact pendant, etc. To determine the static and dynamic parameters, as well as the criteria for the status of contact suspension elements, it is expedient to use finite element models that most adequately describe the physical processes and are currently used in the world. The work proposes the development of such models on the basis of finite elements and the structuring of mechanical and electrical graphs of spans of anchor sections. The mechanical and electric multigraphs of an anchor section have been developed, which allows to determine the state of parameters of contact suspensions taking into account the thermal wear. Increasing the tension of wires and cables not only improves the quality of the snap, but also makes it possible to improve the design of the contact network as a whole: the construction height of the suspension can be reduced to 1.4 m with a span length of 70 m.

**Keywords:** contact pendant; current receiver; contact wire; wear contact wire; multi-graph

### Вступ

Взаємодія контактної підвіски з струмоприймачами являє собою складний коливальний процес, який складається з динамічних системи різного типу. Так залізнична колія та контактна підвіска належать до класу систем з розподіленими параметрами, а складові рухомого складу такі, як екіпаж та струмоприймачі можливо віднести до класу систем з зосередженими параметрами [1]. Місце контакту полозів

струмоприймачів з контактним проводом знаходяться у механічному динамічному періодичному процесі коливальності. Механічні збудження обумовлені коливаннями, як з боку контактної підвіски, так і екіпажної частини рухомого складу. Крім того, уздовж контактної підвіски в обидві сторони від точки прикладання натискання кожного з струмоприймачів поширюються хвилі коливальності, що впливають на взаємодію контактної підвіски з іншими струмоприймачами. На загальну систему взаємодії контактної підвіски струмоприймач також впливають

випадкові чинники: вітрових навантажень, дисбаланс (розрегулювання) контактної підвіски та інше [1-6].

В роботі [1,2] визначається, що найбільшу практичну цінність мають імітаційні моделі динамічної взаємодії струмоприймачів з контактною підвіскою фірми Siemens, враховують такі процеси як переміщення точок підвішування проводу, відрив струмоприймача від контактного проводу та наявність другого паралельного контактного проводу. Взаємодія всієї маси дроти і зосереджених мас клем, підвісів, ізоляторів і живлять проводів включено в розрахунок разом з поперечними зусиллями в підтримуючих конструкціях. Модель дозволяє розраховувати коли і як довго зміщується кожна точка підвісу і в якій точці кожен полоз струмоприймача відривається і знову набуває контакт, а також контактне натискання між контактним проводом і полозом струмоприймача.

В роботах [7-10] наведені математичні моделі, засновані на такому розгляді ділянки контактної підвіски, при якому струмоприймачі завжди знаходяться під її сегментами. Вона дозволяє моделювати динамічну взаємодію декількох струмоприймачів з КП та досліджувати поширення коливань в контактній підвісці і відображення хвиль.

В роботі [10] приведено результати моделювання процесів взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою при швидкостях руху до 250 км/год у Міланському технічному університеті. Розрахунок був проведений для двох базових типів струмоприймачів FS52 і DSA350S відповідно симетричного і асиметричного виконання. Моделювання проводилося для ланцюгової компенсованої контактної підвіскою з двома контактними проводами.

В роботі [8] приводяться основні положення гібридної моделі динаміки струмоприймач-контактна підвіска, розробленої під керівництвом А.В. Єфімова. В роботі використані кінцеві елементи двох типів: з зосередженими параметрами і континуальні. Поділ елементів за властивостями просторової протяжності дозволяє отримати принципово нову можливість поділу розрахунків на дві складових. Спочатку вирішується модель з зосередженими кінцевими елементами, отримані результати розрахунку стають вихідними даними для розрахунку поведінки континуальних елементів моделі. Час розрахунків при довжині анкерного ділянки 800 м досягає від 8 до 10 год. А.Г. Галкіним запропонував гібридну квазидинамічну модель [9], в якій дискретні точкові кінцеві елементи, з'єднані між собою континуальними елементами, перебувають тільки в місцях вузлів структурної моделі топології контактної підвіски. Модель заснована на синтезі моделі методу кінцевих елементів А.В. Єфімова та модифікованої методики Власова-Марквардта [3] і дозволяє враховувати будь-яку контактну підвіску: просту, ланцюгову, складну з урахуванням кінцевого числа струн, різних

конструкцій підпорного вузла, будь-яке кінцеве число струмоприймачів.

З комплексу методів, що застосовуються для моделювання взаємодії контактної підвіски з струмоприймачами найбільш перспективними для подальшого дослідження є комплексні методи розроблені на підставі кінцево-елементних моделей.

### Мета роботи

Створення математичної моделі механічного та електричного розрахунку взаємодії струмоприймача та контактної підвіски.

### Виклад основного матеріалу

Необхідність спільного механічного та електричного розрахунку і моделювання обумовлена наступними причинами. Найбільший питомий електричний знос контактної проводу та контактних накладок при щільності струму до 5–10 А/мм<sup>2</sup>, в місцях де спостерігається відрив струмоприймача від контактної підвіски, зниження контактного тиску [2-4]. Підвищення щільності струму в контакті призводить до прискореного теплового зносу.

Процес струмознімання на залізниці описується двома групами моделей: механічні й електричні, які об'єднані типологічно. Механічна структура ліній передбачає їх поділ на анкерні ділянки. Анкерні ділянки, в свою чергу розділяються на точки підвісу. Точка підвісу - це місце фіксації проводів або деталей лінії на будь-якої опорної конструкції. Проліт контактної підвіски може бути представлений мультиграфом просторової структури, вузлами якого є місця з'єднання окремих елементів між собою і точки підвісу (рис. 1). Гілками графа будуть служити довгі елементи підвіски - ділянки проводів і тросів, а також конструкції, наприклад, фіксатори. Зв'язок окремих елементів прольоту описується мультиграфом за співвідношенням

$$CT_n(Y, B) = [(Y_1, Y_2), (Y_2, Y_3), (Y_3, Y_4) \dots, (Y_{n-1}, Y_n)] \quad (1).$$

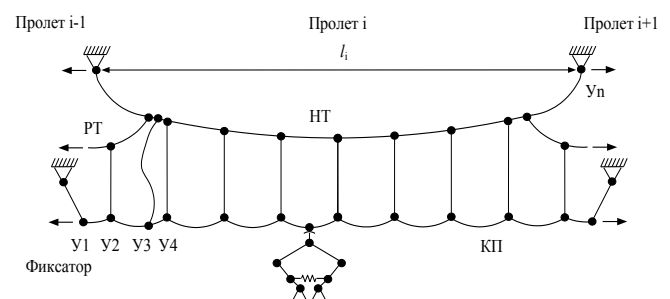


Рис. 1 – Граф механічного взаємодії контактної підвіски і струмоприймачів в прольоті анкерного ділянки

Для загальному випадку анкерний ділянку складається з  $m$  прольотів, з'єднаних між собою послідовно у підпорних точках. Таку модель також можна представити у вигляді графа з послідовним з'єднанням прольотів. Схеми струн, що визначають спосіб завдання і координати струн, місця їх кріплення та інші параметри необхідні для ідентифікації моделі підвіски. Схема струн включає в себе: ідентифікатор, схему, проліт, місця верхнього і нижнього кріплення, координату  $X$  і її умова, координату  $Y$ . Крім схем струн необхідно задати довжину, натяг, а також місця установки електричних з'єднувачів.

Аналітично граф запишеться як

$$ST_{ay}(P, C) = [(P_1, P_2), (P_2, P_3), (P_3, P_4) \dots, (P_m, P_m)], \quad (2)$$

де  $P_i$  –  $i$ -й проліт.

У вузлах зовнішньої системи електропостачання і тягової мережі можна задавати навантаження відповідно до закону її зміни в часі. Мультиграф електричного кола анкерної ділянки зображено на рис.2

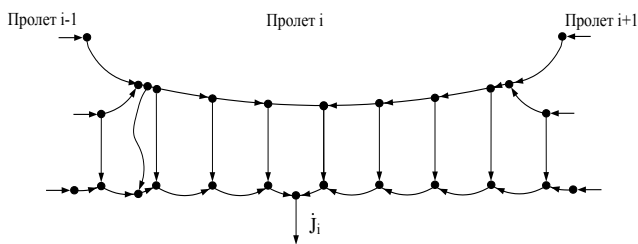


Рис. 2 – Мультиграф електричного кола анкерної ділянки

Контактний провід розбитий на вузли в які потрапляє навантаження  $j_i$  відповідно до швидкості руху різномісних поїздів. Поїзда, що рухаються на ділянці колії, споживає в струм, складові якого проходять через вузли та визначаються характеристиками електрорухомого складу, профілем колії, режимом руху і т.п. Особливістю побудови цього графа є наступні риси: врахування рейкового кола і системи зовнішнього електропостачання; можливість моделювання будь-яких комбінацій і кількостей сполук екрануючих і підсилюючих проводів; варіювання значеннями перехідних опорів рейка-земля. Все це дає можливість оцінити тепловий нагрів всіх пристроїв контактної підвіски при протіканні тягових струмів.

Кінцевий елемент механічної частини, що моделює відрізок дроту представлений різними моделями: натягнутою гнучкою ниткою з однорідної лінійної щільністю; жорстким стрижнем з однорідної лінійної щільністю та пов'язані між собою шарнірами; натягнутими стрижнями, що працюють на вигин; елементарної масою, пов'язаної з сусідніми

масами гнучкими невагомими нитками; елементарної масою, пов'язаної з сусідніми масами невагомими, абсолютно жорсткими, шарнірно з'єднаними стержнями, і т. п. Сполучені між собою кінцеві елементи утворюють сітку, яка за своєю геометрії збігається зі схемою моделюється контактну підвіску. У модель можуть бути включені будь-які зосереджені маси (затискачі, струни, фіксатори, ізолятори і т. п.).

Моделювання взаємодії контактної підвіски та струмоприймачів наведено на прикладі швидкісної ділянки Київ – Полтава та струмоприймача ТЛ-13Л електровозу ВЛ 80к, що рухається зі швидкістю 80 км/год. На рис. 3 наведені основні геометричні данні анкерної ділянки, а в табл. Наведено її параметри.

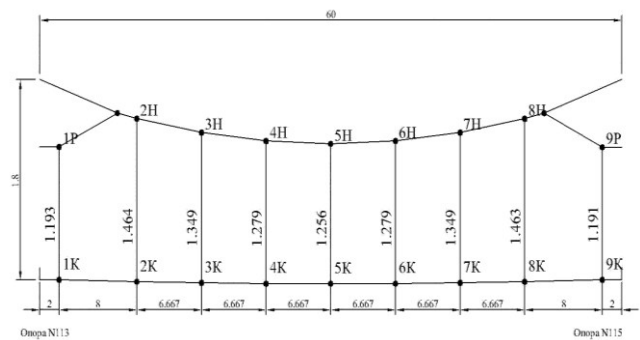


Рис. 3 – Геометричні данні анкерної ділянки

Таблиця 1 – Параметри анкерної ділянки

Параметр	Значення
Тип проводу підвіски	М-95+ МФ-100
Натяг несучого тросу, Н	14500
Натяг контакт проводу, Н	12000
Стріла провису несучого тросу, м	0,579
Стріла провису контакт проводу, м	0,035
Тип струни	БСМ2-4,0
Тип ресорного тросу	БСМ2-4,0
Натяг ресорного тросу, Н	1500
Довжина ресорного тросу, м	16
Мінімальна еластичність, м/Н	$4,194 \cdot 10^{-4}$
Мінімальна еластичність, м/Н	$7,116 \cdot 10^{-4}$
Коефіцієнт нерівновагі еластичності	1,679
Натяг струмоприймача, Н	60

Для на рис. 4 показано зміну еластичності в прольотах анкерного ділянки. Основний вплив на розподіл еластичності в прольоті надає: довжина прольоту, натяг контактного проводу, ресорного і несучого тросів, довжина ресорного тросу і відстань від опори до першої вертикальної струни, знос контактної підвіски.

Аналіз результатів показує, що при збільшенні швидкості руху на форму кривої еластичності в прольоті сильно впливає наявність жорстких точок (поперечні з'єднувачі, секційні ізолятори, повітряні

стрілки, середні анкерування та ін.). Для оцінки зміни еластичності в прольоті крім коефіцієнтів нерівномірності пропонується використовувати її середньоквадратичне відхилення, що в сукупності дозволяє підвищити точність оцінки якості струмоznимання.

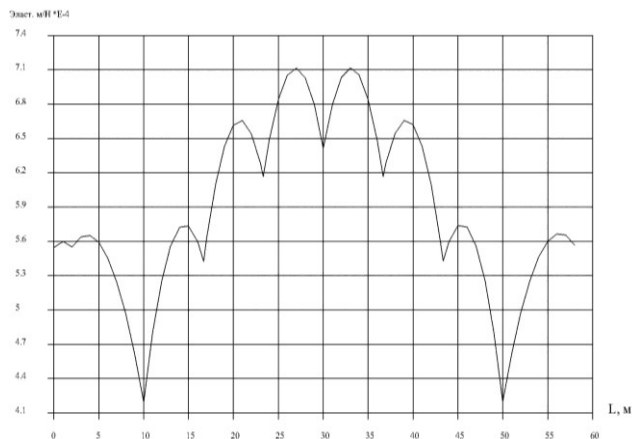


Рис. 4 – Зміна еластичності в прольотах анкерного ділянки

При аналізі контактної мережі з умови динаміки з параметрами, що задовольняють умовам статички, повинні аналізуватися криві контактного натискання в прольоті (рис. 5). Середнє його значення повинно бути близьким до оптимального з розглянутої кривої зносу. Коливання натискання не повинні бути максимальними, що викликають підйоми фіксаторів до 200 мм, і мінімальними до 20 Н, що викликають перевитрата.

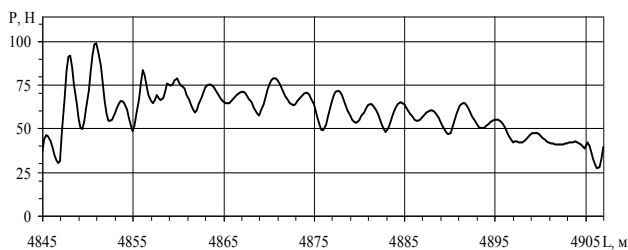


Рис. 5 – Крива контактного натискання в прольоті розрахункового анкерного ділянки при русі струмоприймача ТЛ-13Л зі швидкістю 80 км/год

Одним з основних показників якості струмоznимання є максимальна змінна складова контактного натискання. Чим більше нерівномірність еластичності контактної підвіски по довжині прольоту, тим більше значення приймає змінна складова контактного натискання. Зміни натягу проводів контактної підвіски позначаються на обидва наведених параметра. При збільшенні натягу проводів нерівномірність еластичності контактної підвіски по

довжині прольоту зменшується, що призводить до зменшення змінної складової контактного натискання і поліпшенню якості струмоznимання. Для оцінки якості струмоznимання розраховані реалізації контактного натискання при натягу КП 11, 10, 9, 8 кН і знос 7,5; 15; 22,5; 30% відповідно.

### Обговорення результатів

На рис. 5 показані реалізації контактного натискання  $P = f(V)$  при русі одного струмоприймача ТЛ-13Л на анкерному ділянці від 100 до 103 опори, при натягу контактного проводу 12 кН з 0% зносу. У середній частині прольоту, натискання зменшується. Потім натискання знову зростає. При підході до осі правої опори натискання має тенденцію до зниження. Таку хвилеподібну характеристику натискання з ознаками симетрії щодо середини прольоту можна пояснити циклічної неоднорідністю динамічних властивостей підвіски уздовж прольоту.

Безпосередньо під опорою через вплив ресорного тросу підвіски має збільшену динамічну еластичність. В середині прольоту також є ділянка з підвищеною динамічною еластичністю. Його присутність можна пояснити найбільшою віддаленістю від опор. Нарешті, дві ділянки праворуч і ліворуч від середини прольоту мають знижену динамічну еластичність через те, що вони з одного боку вже знаходяться за межами ресорного тросу, але з іншого боку все ще далеко від середини прольоту. Змінюючи параметри (довжину і натяг) ресорного тросу, число, довжини і місця кріплення струн можна вирівняти не тільки статичну еластичність підвіски, але і домогтися більшої динамічної однорідності.

### Висновки

Для визначення статичних і динамічних параметрів, а також критеріїв стану елементів контактної підвіски доцільно застосовувати кінцево-елементні моделі, які найбільш адекватно описують фізичні процеси і використовуються в даний час у світі. В роботі запропоновано розвиток таких моделей на базі кінцевих елементів і структурування механічних і електричних графів прольотів анкерних ділянок.

Розроблені однотипні механічні та електричні мультиграфом прольоту анкерного ділянки, що дозволяє визначати стан параметрів контактних підвісок з урахуванням теплового зносу.

Підвищення натягу проводів і тросів не тільки забезпечує поліпшення якості струмоznимання, але і дає можливість вдосконалювати конструкцію контактної мережі в цілому: будівельна висота підвіски може бути зменшена до 1,4 м при довжині прольотів в межах 70 м.

Список літератури

Bibliography (transliterated)

1. Максимчук, В. Ф. Результаты моделирования взаимодействия контактной сети и токоприемников на экспериментальном участке скоростного движения направления Киев - Полтава - Донецк. Оценка статических и динамических параметров / В. Ф. Максимчук, И. В. Доманский // *Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал*. - 2012. - № 1. - С. 25-31.
2. Доманский, И. В. Моделирование взаимодействия контактной сети и токоприемников с применением частотно-зависимых конечных элементов и учетом взаимосвязи механического и электрического расчета подвесок / И. В. Доманский // *Залізничний транспорт України*. - 2011. - №5. - С. 9-14.
3. Марквардт, К. Г. Контактная сеть / Марквардт К. Г. - [4-е изд.]. - М.: Транспорт, 1994. - 335 с.
4. Михеев, В. П. Контактные сети и линии электропередачи / Михеев В. П. - М.: Маршрут, 2003. - 416 с.
5. Kiesling, F. Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens / F. Kiesling, R. Puschman, A. Schmieder, 2001.- 822p.
6. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / Вологин В. А. - М.: Интекст, 2006. - 256 с.
7. Roman, Konieczny / Symulacja uspotracy dynamiczney kilku adbierakow pradu z siccia trakcyjna / Roman Konieczny / *Trakcja i Wagony*, 19X4. - №3. - p. 84-87.
8. Ефимов, А. В. Разработка методики расчета взаимодействия токоприемников с контактной сетью / А. В. Ефимов // *Вестник Академия Транспорта. Уральское межрегиональное отделение*. - Курган: Издательство Курганского государственного университета, - 1998. - С. 47 - 49.
9. Галкин, А. Г. Разработка модели динамического взаимодействия контактной подвески с токоприемниками ЭПС / А. Г. Галкин, Н. А. Кузнецов // *Сб. науч. тр. УрГУПС: Повышение надежности работы устройств электроснабжения железных дорог*. - 2000. - Вып. 13 (95). - С. 49 - 52.
10. Brodkorb, A. Simulationsmodell des Systems Stromabnehmer-Oberleitungsnetzenwerk (Model for the simulation of the interaction between overhead contact line and pantograph) / A. Brodkorb, M. Semrau // *Elektrische Bahnen*. - 1993. - 91,4. - P. 105 - 113.
1. Maksimchuk, V. F., Domanskiy, I. V. Rezultaty modelirovaniya vzaimodeystviya kontaktnoy seti i tokopriemnikov na eksperimentalnom uchastke skorostnogo dvizheniya napravleniya Kiev - Poltava - Donetsk. Otsenka staticheskikh i dinamicheskikh parametrov. *Zalznichniy transport Ukraini : naukovopraktichniy zhurnal*, 2012, 1, 25-31.
2. Domanskiy, I. V. Modelirovanie vzaimodeystviya kontaktnoy seti i tokopriemnikov s primeneniem chastotnozavisimyykh konechnykh elementov i uchedom vzaimosvyazi mekhanicheskogo i elektricheskogo rascheta podvesok. *Zalznichniy transport Ukraini*, 2011, 5, 9-14.
3. Markvardt, K. G. Kontaktnaya set. - M.: Transport, 1994. - 335 s.
4. Miheev, V. P. Kontaktnyye seti i linii elektroperedachi. - M.: Marshrut, 2003. - 416 s.
5. Kiesling, F., Puschman, R., Schmieder, A. Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens. - 2001. - 822 p.
6. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. - М.: Интекст, 2006. - 256 p.
7. Roman, Konieczny / Symulacja uspotracy dynamiczney kilku adbierakow pradu z siccia trakcyjna. *Trakcja i Wagony*, 19X4, 3, 84-87.
8. Efimov, A. V. Razrabotka metodiki rascheta vzaimodeystviya tokopriemnikov s kontaktnoy setyu. *Vestnik Akademiyi Transporta. Uralskoe mezhregionalnoe otdelenie*. - Kurgan: Izdatelstvo Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta, 1998, 47 - 49.
9. Galkin, A. G., Kuznetsov, N. A. Razrabotka modeli dinamicheskogo vzaimodeystviya kontaktnoy podveski s tokopriemnikami EPS. *Sb. nauch. tr. UrGUPS: Povysheniye nadezhnosti raboty ustroystv elektroobrazovaniya zheleznykh dorog*, 2000, 13 (95), 49 - 52.
10. Brodkorb, A., Semrau, M. Simulationsmodell des Systems Stromabnehmer-Oberleitungsnetzenwerk (Model for the simulation of the interaction between overhead contact line and pantograph). *Elektrische Bahnen*, 1993, 91, 4, 105-113.

Сведения об авторах (About authors)

**Любарський Борис Григорович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри електричного транспорту та тепловозобудування; м. Харків, Україна; e-mail: Lboris1911@ukr.net.

**Borys Liubarskyi** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, electric transport and diesel locomotive engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukrainian; e-mail: Lboris1911@ukr.net.

**Доманський Ілля Валерійович** – кандидат технічних наук, заступник генерального директора, ТОВ «ДАК-Енергетика», Україна; e-mail: lboris1911@ukr.net.

**Илья Domanskiy** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, DAK-Energetika Ltd, Dnipro, Ukraine; e-mail: lboris1911@ukr.net.

**Гасанов Магомедмін Ісамагомедович** – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», проректор; м. Харків, Україна; e-mail: Lboris1911@ukr.net.

**Magomedimın Gasanov** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), vice-rector, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukrainian, e-mail: Lboris1911@ukr.net.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Любарський, Б. Г.** Моделювання механічної та електричної взаємодії контактної підвіски / **Б. Г. Любарський, І. В. Доманський, М. І. Гасанов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 51-56. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07.

*Please cite this article as:*

**Liubarskyi, B., Domanskyi, I., Gasanov, M.** Modeling of mechanical and electrical interaction of the contact hole. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 51–56, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Любарський, Б. Г.** Моделювання механічної та електричної взаємодії контактної підвіски / **Б. Г. Любарський, І. В. Доманський, М. І. Гасанов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 51-56. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07.

**АННОТАЦИЯ** В работе для определения статических и динамических параметров, а также критериев состояния элементов контактной подвески предложено применять конечно-элементные модели, которые наиболее адекватно описывают физические процессы и используются сейчас в мире. Предложено развитие таких моделей на базе конечных элементов и структурирования механических и электрических графов пролетов анкерных участков. Разработаны однотипные механические и электрические мультиграфом пролета анкерного участка, позволяющие определять состояние параметров контактных подвесок с учетом теплового износ.

**Ключевые слова:** контактная подвеска; токоприемник; контактный провод; износ контактного провода; мультиграф

*Поступила (received) 08.03.2018*