

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК  
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ДЕРЖАВНОГО  
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

**СЕРІЯ**

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ  
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

**ВИПУСК 28**

**Київ·ДЕТУТ·2016**

УДК 656: 62

**Збірник наукових праць** Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 28. – К.: ДЕТУТ, 2016. – 272 с.

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним і прикладним проблемам галузі залізничного транспорту. У статтях збірника розглядаються питання інфраструктури й рухомого складу залізниць, технології та організації транспортних процесів, математичного моделювання об'єктів залізничного транспорту, екологічної безпеки на транспорті.

У підготовці випуску брали участь відомі вчені, фахівці в галузі транспорту, викладачі провідних вищих навчальних закладів України, члени Центрального наукового центру Транспортної академії України.

Для науковців, викладачів, студентів вищих навчальних закладів і працівників транспорту та зв'язку.

#### Редакційна колегія:

**В. К. Мироненко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць», академік Транспортної академії України (головний редактор);

**Ю. В. Черняк**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» (заступник головного редактора);

**Е. І. Даниленко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», академік Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

**М. Б. Кельріх**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство», академік Транспортної академії України;

**В. В. Косарчук**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична і прикладна механіка»;

**В. П. Ткаченко**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць»;

**О. Я. Пилипчук**, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності»;

**О. І. Стасюк**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», член-кореспондент Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

**Л. І. Тимченко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»;

**В. Г. Вербицький**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри «Залізнична колія та колійне господарство»;

**Ю. М. Черних**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», академік Транспортної академії України (*відповідальний секретар*);

**О. Г. Стрелко**, доктор історичних наук, доцент, професор кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету «Управління залізничним транспортом» (*відповідальний секретар*);

**Г. С. Висоцька**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» (*технічний секретар*).

Статті збірника проходять обов'язкове рецензування членами редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу. Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 10 від 26 травня 2016 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту  
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19979-9779ПР від 28.05.2013 р.

Збірник входить до Переліку № 10 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук у технічній галузі

(Додаток 11 до наказу Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 № 1528).

© Державний економіко-технологічний університет транспорту, 2016

## ЗМІСТ

### ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Каращук С. В., Гаюр А. В.</i> Аналіз ефективності використання електроенергії системами тягового електропривода ЕРС постійного струму .....	5
<i>Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М.</i> Ефективні добавки-модифікатори для бетонів при будівництві транспортних споруд .....	13
<i>Ковтанець М. В.</i> Обоснование применения наукоемкого метода для повышения сцепления в системе «Колесо-рельс» .....	23
<i>Горбунов М. І. Просвірова О. В., Ковтанець М. В., Кравченко К. О.</i> Аналіз багатофункціональних способів керування фрикційною системою «Колесо-гальмо-рейка» .....	35
<i>Донченко А. В., Бондарев С. В., Багров О. М.</i> Вплив проходження двовісного візка вантажного вагона в кривих малого радіуса на бокову раму візка .....	44
<i>Донченко А. В., Федосов-Ніконов Д. В.</i> Методика рорзрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи... ..	53
<i>Кульбовський І. І., Агарков О. В., Кияшко В. Т.</i> Організаційні та методологічні аспекти оцінки кваліфікації персоналу з неруйнівного контролю .....	61
<i>Петрашевский О. Л., Данилевський В. І., Алексєєнко О. В., Данилевський В. В.</i> Експертна оцінка та побудова функцій належності нечітких критеріїв інформаційного забезпечення виконання науководослідних проектів .....	68
<i>Талавіра Г. М.</i> Зміна параметрів вертикальної пружності підшпальної основи в зонах нерівностей верхньої будови колії при недостатньому ущільненні ґрунтів земляного полотна .....	83
<i>Ловська А. О.</i> Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні .....	90
<i>Гулак С. О., Єрмоленко Е. К.</i> Модель системи «Тягова підстанція – контактна мережа – тяговий привід електровоза серії ВЛ-80 <sup>Т,К</sup> » .....	99

### МАТЕМАТИЧНЕМОДЕЛЮВАННЯ

<i>Бурлуцький О. В., Логвіненко О. А.</i> Застосування математичного моделювання процесів правки при виготовленні елементів напіввагонів... ..	110
<i>Даніленко Т. П.</i> Перевірка і порівняння методів стереологічної реконструкції структур із сферичними складовими .....	124

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Сулим А. А.</i> Исследование энергообменных процессов при эксплуатации подвижного состава метрополитена с системами рекуперации и накопителями энергии .....	137
<i>Гайдено О. С.</i> Інтелектуальна обробка баз знань господарства електропостачання залізниць .....	147
<i>Піневич Т. О., Сергійчук Б. Б.</i> Основні етапи розвитку телекомунікаційних систем .....	154
<i>Піневич Т. О., Чигринець І. С.</i> Особливості функціонування мереж NGN .....	162
<i>Білан С. М., Демаш А. А., Іваськів Т. В.</i> Система біометричної ідентифікації особистості з довільною ключовою послідовністю .....	170
<i>Мараховский Л. Ф., Москвин В. В., Резидент А. В.</i> Толковый словарь по новому направлению в области теории построения элементарных схем памяти. Ч. 1 .....	177
<i>Мараховский Л. Ф., Москвин В. В., Резидент А. В.</i> Толковый словарь по новому направлению в области теории построения элементарных схем памяти Ч. 2 .....	189

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

<i>Розсоха О. В., Смачило Ю. В.</i> Аналіз і особливості існуючих наукових підходів щодо визначення рівня безпеки руху .....	202
<i>Сістук В. О., Богачевський А. О., Сергієнко В. Ю., Анікіна К. О.</i> Підвищення пішохідної безпеки на перехресті з обмеженою видимістю на основі імітаційного аналізу транспортних потоків .....	215
<i>Габа В. В., Грушевська Т. М., Костюшко В. П.</i> Дослідження впливу технології та організації залізничних приміських перевезень на їхні обсяги в умовах конкуренції .....	223
<i>Висоцька Т. І., Пічкур Т. В., Тананайко О. Ю.</i> Новітні технології у моніторингу екологічних проблем (хімічний контекст) .....	234
<i>Петинов Я. П.</i> Определение индивидуальной нормы машиниста в реальных условиях управления скоростным поездом .....	242
<i>Демченко Т. Ф.</i> Безпека життєдіяльності як основа безпечної взаємодії транспортних систем .....	255
<i>Мацюк В. І.</i> Принципи забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем .....	262

УДК 629.423

*Ю. В. Черняк, к.т.н., доцент*

*(завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*В. О. Гатченко, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*С. В. Каращук*

*(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*А. В. Гаюр*

*(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СИСТЕМАМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕРС ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

*У статті виконано аналіз використання електричної енергії ЕРС залізниць України за різними видами руху. Проаналізована ефективність і визначена потужність електричних втрат у пускових резисторах електровоза постійного струму.*

*Ключові слова: енергозбереження, електровоз постійного струму, коефіцієнт корисної дії, тяговий двигун, тяговий електропривід.*

*В статтє выполнен анализ использования электрической энергии ЭПС железных дорог Украины. Проанализирована эффективность и определена мощность электрических потерь в пусковых сопротивлениях электровоза постоянного тока.*

*Ключевые слова: энергосбережение, электровоз постоянного тока, коэффициент полезного действия, тяговый двигатель, тяговый электропривод.*

**Постановка проблеми.** Підвищення вартості енергоресурсів призводить до збільшення собівартості залізничних перевезень, таким чином для залізниць України постає гостре питання підвищення енергоефективності рухомого складу.

Робота магістральних електровозів пов'язана з нерівномірністю швидкості його руху, що пояснюється постійно змінним значенням крутості профілю елементів колії, наявністю постійних та тимчасових обмежень швидкості руху тощо. Це призводить до нерівномірної роботи тягового електропривода та необхідності у наявності широкого діапазону регулювання приводом.

© Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Каращук С. В., Гаюр А. В., 2016

Експлуатаційний парк електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму складається з локомотивів, які працюють з реостатно-контакторною системою управління напругою на затискачах колекторних тягових двигунів, яка має електричні втрати в пускових реостатах. Хоча система й була впроваджена на вітчизняних залізницях у 30-х роках ХХ ст., проте й досі нові електровози постійного струму мають таку ж схожу систему регулювання.

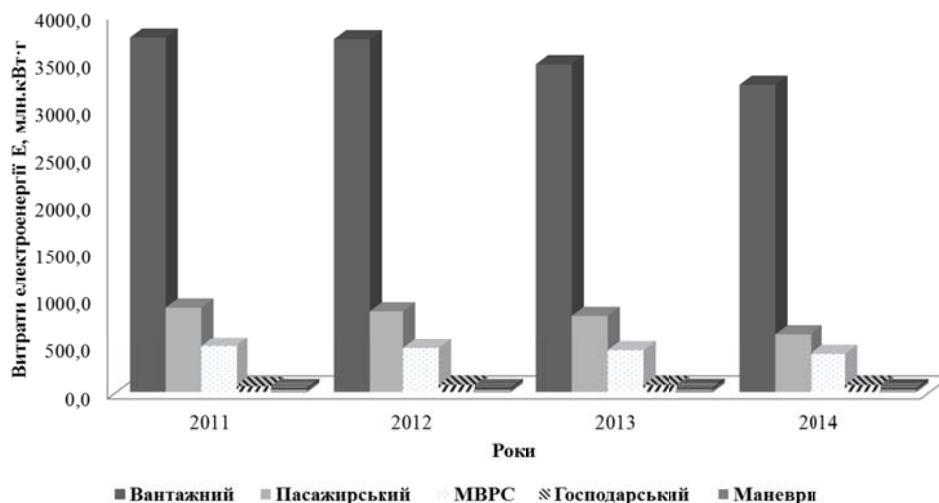
Заміна існуючих систем регулювання швидкості руху ЕРС постійного струму на асинхронний тяговий електропривід у сучасних економічних умовах країни не є доцільним, оскільки встановлення асинхронного електропривода на ЕРС є дуже дорогим, тому постає задача пошуку іншого енергоефективного способу регулювання швидкості ЕРС.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** В публікаціях [1-5] розглянуті методи підвищення енергоефективності залізниць, визначені методи зменшення енергоємності як швидкісного тягового рухомого складу, так і вантажних локомотивів, розглянуті методи управління витратами електроенергії на тягу поїздів, проаналізовані проекти модернізацій електровозів.

**Мета статті** – проаналізувати використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ; проаналізувати експлуатаційний парк електровозів залежно від виконуваної роботи та роду живлення; розрахувати потужність незворотних втрат електричної енергії в пускових реостатах електровоза постійного струму серії ВЛ8.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

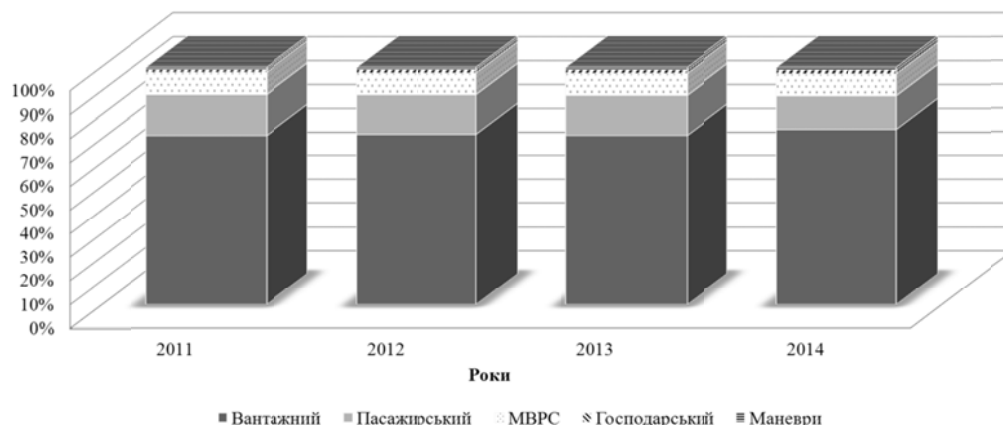
Важливим завданням перед впровадженням нових систем регулювання параметрів тягового електропривода є аналіз витрат електроенергії ЕРС експлуатаційного парку залізниць.



**Рис. 1. Використання електричної енергії на тягу поїздів за різними видами руху електрорухомим складом УЗ за період 2011-2014 рр.**

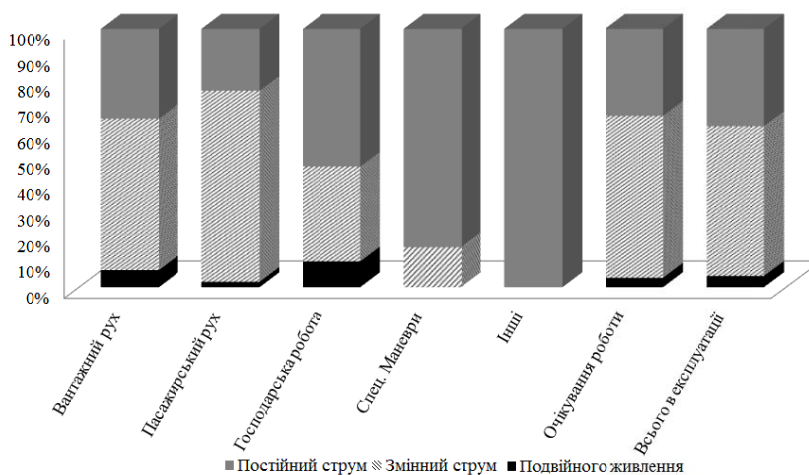
Використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр. вказане на рис. 1. Сумарні середні витрати електричної енергії на тягу поїздів на рік складають 4908,27 млн кВт•год.

На рис. 2 представлено відсоток від загальних витрат використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр. З діаграм видно, що 72,3% витрат електроенергії припадає на вантажний рух; 16,2% на пасажирський рух; 9,1% витрачається моторвагонним рухомим складом; 1,5% на господарський рух та 0,9% на виконання маневрової роботи. З діаграм видно, що вантажний рух є одним із найбільших споживачів електричної енергії.



**Рис. 2. Відсоток від загальних витрат використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр.**

Проаналізувавши витрати електроенергії за видами руху, необхідно визначити які локомотиви споживають дану енергію. На рис. 3 зображено розподіл експлуатаційного парку електровозів УЗ в залежності від виконуваної роботи та роду живлення станом на (19.02.2015).



**Рис. 3. Розподіл експлуатаційного парку електровозів УЗ в залежності від виконуваної роботи та роду живлення**

З рис. 3 зрозуміло, що найбільша кількість електровозів постійного струму задіяна у вантажному русі – 28,6 % локомотивів, 6,6 % – у пасажирському русі,

14,6 % на виконанні господарської роботи, 14,1 % електровозів використовується при виробництві спецманеврів та 3,4 % на інших видах робіт. Загалом, 38 % від загальної кількості електровозів в експлуатації УЗ – електровози постійного струму.

Відомо, що на електровозах постійного струму реалізована реостатно-контакторна система управління (РКСУ), в якій передбачено два методи для регулювання швидкості руху поїзда: по-перше – це регулювання напруги підведеної до двигунів шляхом регулювання величини опору послідовно увімкнених з ТЕД пускових резисторів, а по-друге – підвищення швидкості руху за рахунок послаблення магнітного поля.

В РКСУ немає можливості плавно змінювати струм. Для пуску електровоза при паралельному з'єднанні ТЕД послідовно з ними необхідно увімкнути пусковий реостат з великим значенням опору, це б призвело до великих втрат в реостаті під час пуску. Тому зменшення втрат досягається за рахунок перемикання груп тягових двигунів з одного з'єднання на інше. Обмежене число можливих перемикань не дозволяє отримати достатньо економічний пуск, тому навіть при наявності декількох схем з'єднань ТЕД в пускових резисторах, які обмежують струм, виділяється значна кількість енергії.

Розглянемо процес пуску ЕРС постійного струму з РКСУ напруги на застискачах ТЕД.

На рис.4 зображено типову схему регулювання напруги на тягових електродвигунах під час розгону.

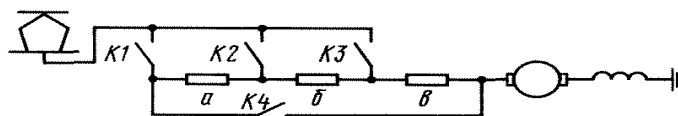


Рис. 4. Типова схема регулювання напруги на тягових електродвигунах під час розгону

Із збільшенням швидкості руху в тягових двигунах буде наводитися зростаюча електрорушійна сила, яка направлена проти дії прикладеної напруги живлення. При цьому струм двигунів, сила тяги і, як наслідок, прискорення почнуть зменшуватися. Для забезпечення приблизно постійного прискорення потрібно зменшувати опір реостата так, щоб струм двигунів і дотична сила тяги залишалися постійними. При великих потужностях тягових двигунів і значних струмах важко здійснити плавне реостатне регулювання. Тому застосовують ступеневе: вимикають окремі секції реостата за допомогою електропневматичних індивідуальних контакторів.

Для оцінки ефективності використання електричної енергії на ЕРС розглянемо величину потужності незворотних електричних втрат, які припадають на пускові реостати під час розгону.

До виходу на ходову позицію в ланцюг ТЕД постійно ввімкнутий пусковий реостат. Як відомо, електричні втрати в реостатах:

$$P_{втр.реост.} = I_{ТЕД}^2 \cdot R_P, \quad (1)$$

де  $I_{\text{ТЕД}}$  – струм ланцюга тягового двигуна;

$R_p$  – опір пускового реостату.

Згідно з рекомендаціями щодо ефективного розгону поїзда рекомендовано для пуску застосовувати величину струму 400-500 А на ланку послідовних ТЕД. Визначимо потужність витрат електричної енергії в пускових реостатах. Вона буде залежати від значення струму ланки двигуна, схеми з'єднання ТЕД (кількості паралельних ланок) та від значення опору пускового реостату, тобто позиції контролера машиніста.

При русі на неходових позиціях – енергія, яка витрачається на реостатах переходить у теплову, що спричиняє їх нагрів. В процесі пуску, особливо для важких поїздів, та гірських профілів колії час виходу на безреостатну позицію збільшується, що в свою чергу може призвести до перегріву резисторів та виходу їх з ладу [6]. Тому вони охолоджуються вентиляторами охолодження ТЕД, а на деяких електровозах – окремими вентиляторами, які охолоджують резистори. Це дозволяє збільшити час руху на реостатних позиціях, проте споживає додаткову електричну енергію, що зменшує коефіцієнт корисної дії тягового електропривода.

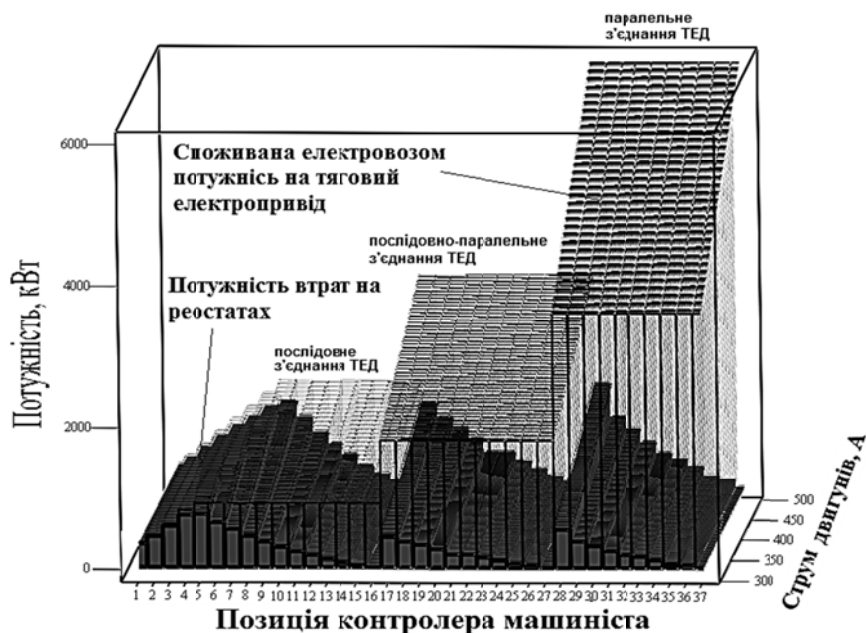


Рис. 5. Порівняння потужності втрат електричної енергії в пускових реостатах з споживаною тяговим електроприводом електровоза серії ВЛ8

З рис. 5 видно, що на пускові реостати припадає значна кількість підведеної до електровоза потужності. Проаналізуємо величину втрат електричної енергії на реостати в залежності від споживаної електроенергії тяговим електроприводом електровоза серії ВЛ8.

Коефіцієнт використання електроенергії системою тягового електропривода електровоза при РКСУ залежить від потужностей втрат в реостаті, тому:

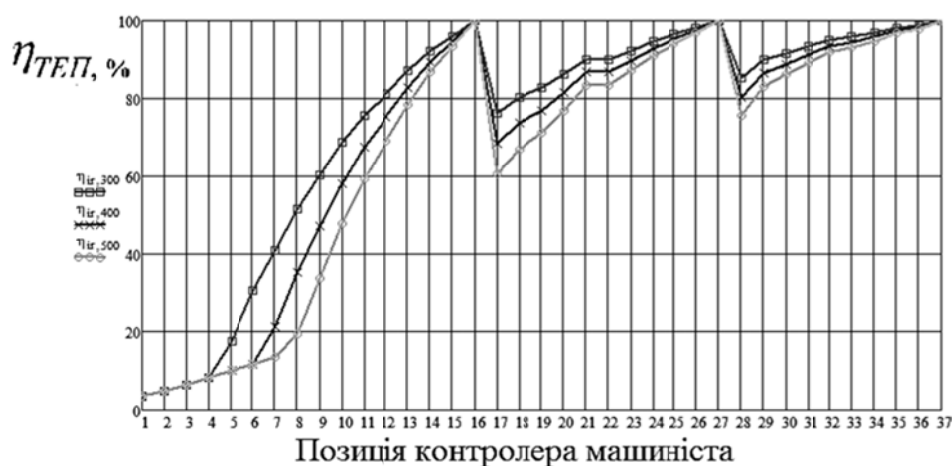
$$\eta_{\text{ТЕП}} = \frac{P_{\text{спож.ТЕП}} - P_{\text{втр.реост.}}}{P_{\text{спож.ТЕП}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $P_{\text{спож.ТЕП}}$  – електроенергія споживана тяговим електроприводом (ТЕП) електровоза.

$$P_{\text{спож.ТЕП}} = I_{\text{ТЕД}} \cdot U_{\text{к.м.}} \cdot a \quad (3)$$

де  $U_{\text{к.м.}}$  – напруга контактної мережі ( $U_{\text{к.м.}}=3000\text{В}$ );

$a$  – кількість паралельних гілок ТЕД електровоза, залежить від схеми з'єднання ТЕД ( $a=1$  для послідовного з'єднання,  $a=2$  – для послідовно-паралельного,  $a=4$  – для паралельного).



**Рис. 6. Коефіцієнт використання електроенергії системою тягового електропривода електровоза ВЛ8 при 300, 400 та 500А на ланку послідовних ТЕД**

Відмінна від 100% величина коефіцієнта використання електроенергії системою тягового електропривода вказує на наявність резерву підвищення ККД електровоза, а отже, постає питання у необхідності дослідження можливості впровадження інших методів регулювання тяговими двигунами на ЕРС постійного струму.

На ЕРС постійного струму з колекторними тяговими двигунами вітчизняного та закордонного виробництва застосовують послаблення збудження ТЕД перед увімкненням наступного з'єднання тягових двигунів. Це дозволяє зменшити час ходу на реостатних позиціях. Проте це ефективно лише на автоматичних, тобто безреостатних позиціях.

В подальшому необхідно проаналізувати часові параметри руху ЕРС постійного струму з реостатно-контакторною системою управління з метою визначення повних незворотних витрат електричної енергії на пускових резисторах.

### Висновки

1. Проаналізовано використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр. В результаті аналізу встановлено, що загальні середні витрати електричної енергії на рік складають 4908,27 млн кВт•год. Причому 72,3 % витрат електроенергії припадає на вантажний рух; 16,2 % на пасажирський рух; 9,1 % витрачається моторвагонним рухомим складом; 1,5 % на господарський рух та 0,9 % на виконання маневрової роботи.

2. Проаналізовано експлуатаційний парк електровозів УЗ в залежності від виконуваної роботи та роду живлення. Встановлено, що найбільша кількість електровозів постійного струму задіяна у вантажному русі – 28,6 % локомотивів, 6,6 % – у пасажирському русі, 14,6 % на виконанні господарської роботи, 14,1 % електровозів використовується при виробництві спец.маневрів та 3,4 % на інших видах робіт. Загалом, 38% від загальної кількості електровозів в експлуатації УЗ – електровози постійного струму.

3. Встановлено, що експлуатаційний парк електровозів постійного струму залізниць України використовує застарілу реостатно-контакторну систему управління тяговим електроприводом, що викликає незворотні втрати електричної енергії на пускових реостатах електровоза, внаслідок чого значно знижується коефіцієнт корисної дії електрорухомого складу.

4. Розраховано потужність незворотних втрат електричної енергії в пускових реостатах та визначено коефіцієнт використання електроенергії системою тягового електропривода електровоза постійного струму серії ВЛ8.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Доманский И.В. Потенциал энергосбережения железниц та інноваційні напрямки розвитку його реалізації [Текст] / І. В. Доманский // Локомотив – інформ. – 2013. – № 9(87). – С. 53–55.
2. Боценко О.В. «Львівська» модернізація електровозів ВЛ11<sup>М</sup> [Текст] / О. В. Боценко // Локомотив – інформ. – 2012. – № 8(74). – С. 40–42.
3. Повышение энергоэффективности поездов Синкансен [Текст] // Железные дороги мира (Россия). – 2010. – №5. – С. 50-54.
4. Программа экономии энергии на сети SBB [Текст] // Железные дороги мира (Россия) . – 2010. – № 8. – С. 61 – 66.
5. Управление расходами на электроэнергию для тяги поездов [Текст] // Железные дороги мира (Россия) . – 2010. – №9. – С. 30 – 32.
6. Бабанин А.Б. Использование электровозов при горочной работе [Текст] / А.Б. Бабанин // Локомотив – інформ. – 2013. – № 4(82). – С. 6–8.

**Yuriy Cherniak, PhD (Technical Sciences), Associate Professor**  
**(Head of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for**  
**Transport Economy and Technologies)**  
**Victoriia Hachenko, PhD (Technical Sciences)**  
**(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State**  
**University for Transport Economy and Technologies)**  
**Andriy Haiur**  
**(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State Uni-**  
**versity for Transport Economy and Technologies)**  
**Sergiy Karashchuk**

*(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

**ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRACTION ELECTRIC DRIVE FOR ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH DIRECT CURRENT POWER SUPPLY SYSTEM**

*In the article the analysis of the using electricity for electric locomotives in railroad of Ukraine with different types of traffic for the period 2011–2014 years. The average consumption of electric energy for traction in the year is 4,908 million kW · h. Determined that the cargo rolling stock consumes the most electricity for traction. 72.3% consuming of electric energy is cargo traction.*

*The list electric locomotives of railways Ukraine and depending on the kind of different types of traffic and power supply systems is considered. Found that the largest number electric locomotives with direct current involved in cargo traction.*

*Effectiveness of providing electric energy control system is defined by the presence of irreversible losses. Found that efficiency of the control system on electric locomotive with direct current less than unity. So the electric locomotive with direct current is possible to improve.*

*Summed that is necessary to analyze the temporal parameters of electric locomotives with direct current and rheostat-contactor control system in order to determine full irreversible power consumption on starting resistors.*

*Keywords: energy-saving technologies, coefficient of efficiency, traction motor, electric locomotive, direct current.*

**REFERENCES**

1. Domanskij I.V. Potencial energozberezheniya zaliznic' ta innovacijni napryamki rozvitku jogo realizacii [Energy saving potential of railways and innovative directions of its implementation] / I. V. Domanskij // Lokomotiv – inform. – 2013. – № 9(87). – pp. 53–55.
2. Bocenko O.V. «L'vivs'ka» modernizaciya elektrovoziv VL11M [Lviv modernization of electric locomotives VL11M] / O. V. Bocenko // Lokomotiv – inform. – 2012. – № 8(74). – pp. 40–42.
3. Povy'shenie e'nergoe'ffektivnosti poezdov Sinkansen [Improving the energy efficiency of trains Shinkansen] // Zhelezny'e dorogi mira (Rossiya) . – 2010. – №5. – pp. 50–54.
4. Programma e'konomii e'nergii na seti SBB [Energy saving program on a network SBB] // Zhelezny'e dorogi mira (Rossiya) . – 2010. – №8. – pp. 61–66.
5. Upravlenie rasxodami na e'lektroe'nergiyu dlya tyagi poezdov [Management costs of electricity for traction trains] // Zhelezny'e dorogi mira (Rossiya) . – 2010. – №9. – pp. 30–32.
6. Babanin A.B. Ispol'zovanie e'lektrovozov pri gorochnoj rabote [The use of electric locomotives at railway hump yard] / A.B. Babanin // Lokomotiv – inform. – 2013. – № 4(82). – pp. 6–8.

УДК 666.972.16

*О. Ю. Дорошенко, к.т.н., доцент*

*(доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*Ю. М. Дорошенко, к.т.н., професор*

*(професор кафедри «Будівельні матеріали і хімія» Національного транспортного університету, м. Київ)*

### **ЕФЕКТИВНІ ДОБАВКИ-МОДИФІКАТОРИ ДЛЯ БЕТОНІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

*У статті розглядається досвід застосування хімічних добавок модифікаторів, використання яких в умовах значних механічних впливів (навантажень) дозволяє збільшити міцність, водонепроникність та морозостійкість бетону.*

*Ключові слова: бетон, транспортні конструкції, добавки, пластифікатори, суперпластифікатори, прискорювачі твердіння, гідрофобні добавки.*

*В статье рассматривается опыт применения химических добавок модификаторов, использование которых в условиях значительных механических влияний (нагрузок) позволяет увеличить прочность, водонепроницаемость и морозостойчивость бетона.*

*Ключевые слова: бетон, транспортные конструкции, добавки, пластификаторы, суперпластификаторы, ускорители твердения, гидрофобные добавки.*

Реалізація концепції одержання бетонів нового покоління з поліпшеними експлуатаційними властивостями неможлива без використання комплексних хімічних добавок модифікаторів [1, 2, 3].

У теперішній час більше 80% усього обсягу бетону, що готується у світі, виробляється з різного роду модифікаторами. Вони вводяться в десятих частках відсотка від маси цементу, істотно впливають на хімічні й фізико-хімічні процеси твердіння й створення сприятливої з погляду стійкості структури бетону [4,5]. Широке впровадження модифікаторів бетону в практику сучасного будівництва обумовлене тим, що при порівняно невеликому подорожчанні за рахунок вартості модифікаторів і витрат, пов'язаних з їхнім розчиненням, зберіганням і дозуванням, можна істотно поліпшити цілий ряд властивостей бетонної суміші й бетону [6]. Серед них технологічні властивості бетонної суміші (регулювання рухливості, повітрявтягування, зниження розшаровування), технічні властивості бетону (швидкість твердіння, міцність, морозостійкість, водонепроникність і ін.). Також за рахунок модифікаторів можна додати бетону нові спеціальні властивості – гідрофобність, здатність твердіння при негативних температурах, бактерицидність, стійкість до корозії й ін.

© *Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., 2016*

Використовувані суперпластифікатори можна класифікувати за трьома ознаками:

- з механізмом дії на основні складові цементу;
- за хімічному складом модифікаторів;
- за основним технологічним ефектом дії в цементних системах [7].

Добавки, що змінюють поровий простір і знижують проникність бетону, можна поділити на дві групи:

а) пластифікуючі поверхнево-активні речовини, що знижують водопотребу суміші;

б) речовини, що твердіють або густіють в структурі цементного каменю й кольматують його пори. Речовини другої групи також є пластифікуючими. Але основне їхнє призначення – це утворення полімерного продукту, який кольматує поровий простір бетону. Поверхнево-активні речовини вводять у бетон в кількостях, яка не перевищує відсоток від маси цементу. Речовини другої групи вводять у бетон у значно більших кількостях – 3-5% [8, 9].

На Україні застосування добавок регламентує ДБН В.2.7-64-97 «Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах». Застосування добавок для бетонів у Росії регламентує ДЕРЖСТАНДАРТ 24211-2003 «Добавки для бетонів. Загальні технічні умови», ДЕРЖСТАНДАРТ 30459 «Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності» і ДЕРЖСТАНДАРТ 24211-2003 які не дозволяє класифікувати їх по поліфункціональній дії. У країнах Європи використовувані добавки регламентовані євростандартом EN 934-2 «Добавки для бетонів і розчинів. Вимоги й визначення». У цьому стандарті представлені основні характеристики добавок, завдяки яким можливо ідентифікувати добавки й виділити всі показники, які можуть знизити довговічність бетонів і розчинів (такі як зміст хлору, лугів, рН) і підсилити корозію цементного каменю. У США область застосування добавок регламентується стандартами ASTM 3 494 «Хімічні добавки для бетону» і ASTM 3 1017 «Хімічні добавки для виготовлення литого бетону», у яких наведені властивості і переваги різних високоефективних суперпластифікаторів (СП), їхній вплив на бетон, аналізуються області застосування [10]. Пластифікуючі добавки, що володіють ефектом уповільнення твердіння, виділили в окремий клас Д, а добавки прискорювачі, що володіють ефектом, твердіння – клас Е. У Великобританії запропонована класифікація СП на три групи. Першу групу становлять сульфировані меламінформальдегідні смоли й комплексні добавки на їхній основі. До другого відносяться продукти конденсації нафталінсульфокислоти й формальдегіду й комплексні добавки на їхній основі. Третю групу утворюють модифіковані, очищені, що практично не містять цукрів, лігносульфати. Пізніше в четверту групу були виділені продукти конденсації оксикарбонатних кислот. При виробництві високоміцних бетонів (по американських поняттях бетони міцністю на стиск вище 40 МПа, а по класифікації нового Евростандарта EN 206 – 60 МПа) пред'являються особливі вимоги до СП, які повинні володіти не тільки високою реологічною активністю, але й мінімально впливати на формування структури й фізико-механічних показників у процесі експлуатації [11].

У російській практиці будівництва розробляються й застосовуються нові добавки, що сприяють зниженню проникності бетону [12, 13].

Фірма «Биотех-2М» (Росія) розробила й уже кілька років випускає кілька видів пластифікуючих добавок під торговельною назвою «Лигнопан Б» для

виробництва бетонів і будівельних розчинів. Протягом багатьох років добавки використовуються при будівництві великих об'єктів промислового й цивільного будівництва [14].

Комплексна добавка «КДМ» застосовується для бетонів з високими вимогами по міцності, морозостійкості й водонепроникності в промисловому й цивільному будівництві, а також при будівництві гідротехнічних споруджень. «КДМ» збільшує рухливість бетону й прискорює його твердіння – вже на третю добу бетон набирає 95...100% міцності, запобігає корозії металу, не дає висолів.

Перспективне застосування лігносульфонатних пластифікаторів модуляторів (ЛПМ) у вигляді суспензій, а також у вигляді сухого порошку. Авторами [12, 14] досліджувався вплив ЛПМ на морозостійкість і водонепроникність бетонних сумішей і бетонів різного призначення. Встановлено, що при введенні добавки в кількості 0,25...0,3% підвищується марка по морозостійкості до F 200...F 400, а марка по водонепроникності до W 12...W 16. Данні авторів свідчать, що ЛПМ є ефективним модифікатором для бетону транспортних споруджень, де значення морозостійкості й водонепроникності є переважними.

Компанія «Полішар» розробила нову серію добавок для бетонів «Лінамікс» [15]. По хімічному складі пластифікатор «Лінамікс Р73-1» являє собою продукт на нафталинформальдегідній основі з додаванням модифікованих лігносульфонатів. Добавка призначена для модифікування бетонів і будівельних розчинів, застосовуваних у монолітному будівництві й при виробництві залізобетонних виробів. Використання пластифікатора «Лінамікс Р 73-1» дозволяє поліпшувати комплекс властивостей:

- підвищити легкоукладальність бетонних і розчинних сумішей з П1 по П5 при дозуванні добавки 0,4% до маси цементу;
- збільшити міцність бетону на 20% (при збереженні легкоукладальності) при дозуванні добавки 0,4% до маси цементу;
- підвищити водонепроникність бетону на 1..2 позиції при зниженому В/Ц;
- підвищити зберігання бетонної суміші до 2...2,5 ч. при дозуванні добавки 0,4% до маси цементу.

Разом з тим, в останнє десятиліття, особливо у зв'язку з розвитком виробництва сухих будівельних сумішей, розроблена низка ефективних закордонних функціональних добавок, у тому числі пластифікуючих і поліпшуючих гідрофобні властивості. До них відносять латексні порошкові модифікатори цементних композицій фірми «Родиа» (Франція). Спектр її продукції відповідає всім вимогам сучасної будівельної хімії. Латексні порошки одержують шляхом висушування полімерної емульсії з розміром частиц 0,1...10,0 мкм разом з водорозчинним стабілізатором. Останній утворює аморфне скло на поверхні кожної частки й не допускає необоротні злипання полімерних часток під час сушіння. Висохлий порошок має розмір гранул кілька мікронів і забезпечує гарну текучість. При взаємодії з водою водорозчинний агент активізується, відновлюючи, таким чином, емульсію в її вихідний стан. Серед всієї гами редиспергируємих латексних порошоків, вироблених фірмою «Родиа», найбільш споживаною групою являються полімери Rhoimat. Основою їхніх полімерів є: сополімер вінілацетату й версатату, стирол-бутадиєнові сополімери. Добавки Rhoimat виробляються у вигляді порошку білого кольору, середній розмір гранул – 80 мкм [16]. Для підвищення водостійкості найчастіше використовуються Rhoimat PA 29 і PA 30, що вводяться в кількості 1,5...3%. Зазначені продукти знижують пористість,

підвищують зчеплення й поліпшують характеристики цементних композицій.

До пластифікаторів, які дозволяють зменшити водопотребу бетону з забезпеченням заданої рухомості суміші, відноситься добавка ПЛКП, яка складається з відходу комбінату «Дніпрококс» разом з добавкою пластифікаторів ЛСТ і УПБ, суперпластифікатора (Амкіроз). Досвід застосування комплексної добавки ПЛКП при виробництві шпал показує, що вона підвищує довговічність бетону і його захисних властивостей по відношенню до арматури. Встановлено, що оптимальна кількість добавки знаходиться в межах 0,6...0,7 % від ваги цементу; добавка дозволяє заощаджувати 5 % цементу при досягненні заданої міцності; добавка скорочує година вібрирування бетонної суміші на 20...30 %; добавка не впливає на якість бетонної поверхні; добавка забезпечує задану міцність і тріщиностійкість цементобетонних шпал, що забезпечує їх високу якість, надійність і довговічність [17].

З метою зменшення водопоглинення й підвищення морозостійкості цементних розчинів і бетонів використовується широка гама різних добавок на основі силіконових з'єднань, водорозчинних або не розчинних, які емульгують у водному середовищі речовин. Металоорганічні мила у вигляді порошкоподібних продуктів також можуть зайняти провідне місце в технології одержання цементних бетонів внаслідок їх високої питомої поверхні й підвищених водовідштовхувальних властивостей [7].

Гідрофобні водонерозчинні металоорганічні з'єднання жирних граничних кислот з катіонами металів Zn, Ca, Mg, Al розподіляються в цементних системах дискретно. У зв'язку із цим ефективність їхньої дії буде пропорційна дисперсності цих порошоків. Гіпотетично можна затверджувати, що ступінь уповільнення процесів тужавіння й раннього формування міцності з використанням цих добавок буде незначна в порівнянні з водоемульгуючими рідкими гідрофобізаторами, які розподіляються тонкими плівками на поверхні гідратних фаз.

Відомо, що лужні солі неграничних жирних кислот є, як правило, розчинними у воді і їхня гідрофобна дія в вапномістких системах (вапно, портландцемент) залежить від ступеня розчинності.

Як гідрофобні добавки використовуються стеарати цинку  $(C_{17}H_{35}COO)_2Zn$  і кальцію  $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$ , олеат натрію  $C_{16}H_{33}COONa$ .

Для підвищення водонепроникності бетону максимальну ефективність [18,19] мають сучасні кольматуючі добавки-модифікатори [20], найпоширенішими з яких в Україні є системи:

- Пенетрон (Penetron), виробник Пенетрон-Росія, ТУ 001-39504194-96;
- Ксайпекс (Хурех), виробник Хурех Chemical Corporation, Канада;
- Виатрон (Viatron), виробник «Виателос»™, Харків (Україна), ТУ В 26.6-31634788-001:2006 Склад цементний захисний проникаючої дії «Viatron»™ (Виатрон).

У роботах Ф.М. Глекеля [21] вказується, що введення ПАВ і полімерних добавок, що створюють власну структуру в цементному камені (полімербетон), знижує проникність бетону й тим самим підвищує його довговічність.

Водоредуцируючі добавки, наприклад С-3, дозволяють управляти проникністю бетону [21,22]. Ще в 50-е роки М.И. Хигерович відзначав [23], що введення пластифікаторів істотно модифікує порову структуру бетону, зменшуючи розмір. За рахунок використання комплексної добавки С-3, PAV-29 і високоміцній опоки був отриманий бетон з високим рівнем водонепроникності (W18) [24].

У роботі [24,25] запропонована комплексна добавка «Емболит», щоскладається із С-3, мікрокремнезему, золи-виносу й сульфоалюміната. Дана добавка дозволяє підняти рівень водонепроникності до W20 навіть для дрібнозернистих бетонів. Ефект у підвищенні водонепроникності був досягнутий і за рахунок комплексної добавки МБ 10-01, що включає аморфний мікрокремнезем, суперпластифікатор і регулятор тужавлення [26]. Також останнім часом все частіше використовуються полімерцементнісклади [27].

У сучасному будівництві відомий широкий спектр рецептурно-технологічних методів підвищення водонепроникності бетону [28]. Наприклад, введення до суміші бентонітових глин [29]. Однак склад цих глин не є стабільним, що погано відображається на якості композита. У роботі [30] для підвищення водонепроникності використовувалися також хромокалієві квасци, алюмінат і ангідрид натрію. Однак всі перераховані добавки знижували міцність бетону. Кращі результати давало застосування гідрофобно-кольматуючих добавок [31].

Згідно ДБН В.2.7-64-97 «Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах» до ущільнюючих (кольматуючих пори) відносять добавки: смола поліаміду №89, диетиленгліколієва смола, триетиленгліколієва смола, сульфат алюмінію, сульфат і хлорид заліза. Їхня ефективність оцінюється в підвищенні марки бетону за водонепроникністю на 2 ступені й вище, підвищення корозійної стійкості бетону. Але, як відзначається в ДБН В.2.7-64-97 і роботах [29,30], при цьому спостерігається зниження міцності бетону.

Один з найвідоміших способів підвищення морозостійкості бетону – це введення повітрявтягуючих добавок [32, 33]. Ефект пояснюється появою в бетоні тонкодисперсної емульсії повітря [34] і виникаючої у зв'язку з цією зміною структури. За рахунок створення системи замкнутих пор з'являється простір для росту кристалів льоду з мінімальними ушкодженнями для тіла бетону, хоча Т.Пауэрс [35] вважав, що бетон майже завжди має достатній обсяг вільного порового простору за рахунок залученого повітря. Найвищі показники морозостійкості модифікованого добавками бетону спостерігалися при створенні в структурі замкнутих пор при одночасному підвищенні щільності цементного каменю. Тобто найкращою можна вважати систему замкнутих пор малого діаметра.

У роботі [36] зроблений висновок про зниження морозостійкості бетону при росту В/Ц. Відповідно, для підвищення морозостійкості широко застосовується сумісне введення суперпластифікатора й повітрявтягуючих добавок, наприклад С-3 або С-1 і СНВ [37]. У роботі [38] зроблений висновок, що вплив пластифікаторів на морозостійкість відіграє подвійну роль: за рахунок зниження В/Ц підвищує її й одночасно зменшує через зниження ступеня гідратації цементу – у сукупності ж морозостійкість підвищується.

Однак найчастіше при використанні повітрявтягуючих добавок закрита пористість підвищується при одночасному деякому підвищенні й наскрізній пористості, що небажано для ряду гідротехнічних і всіх плавучих споруджень. Тому підвищення морозостійкості варто домагатися за рахунок створення найбільш щільної структури бетону, тобто за рахунок створення дрібних замкнутих пор без підвищення загальної (сумарної) пористості.

У роботі [36] зроблений висновок про зниження морозостійкості бетону при росту В/Ц. Відповідно, для підвищення морозостійкості широко застосовується сумісне введення суперпластифікатора й повітрявтягуючої добавки, наприклад С-3 або С-1 і СНВ [37]. У роботі [38] зроблений висновок, що вплив пластифіка-

торів на морозостійкість відіграє подвійну роль: за рахунок зниження В/Ц підвищує її й одночасно зменшує через зниження ступеня гідратації цементу – у сукупності ж морозостійкість підвищується.

Дія добавок прискорювачів твердіння бетону полягає в активації процесу гідратації цементу, що приводить до прискореного утворення гелів, які захоплюють у свої осередки велику кількість рідкої фази й внаслідок цього викликають швидке тужавлення й наступне інтенсивне зміцнення цементного каменю. Добавки електролітів (ХК, НК, ННК, ННХК), що містять однойменні зв'язуючі речовини кальцій-іони, підвищують їхню розчинність і прискорюють процеси гідратації й твердіння переважно на ранній стадії, інтенсифікуючи утворення тривимірних зародків нової фази й збільшуючи дисперсність продуктів гідратації. Перспективне використання в бетоні трикомпонентної добавки ННХК, тому що при цьому швидше, ніж при введенні однокомпонентної добавки ХК, викристалізовується гідрохлоралюмінат кальцію (ГХАК), що виконує мікроарміруючу й кальматуючу функції й забезпечує більш повне використання потенційних можливостей, які закладені в аліт. Прискорений вихід з рідкої фази агресивних хлор-іонів робить цю добавку менш небезпечною для корозії арматур. Крім цього, нітрит і нітрат кальцію, збільшуючи на тривалий строк іонну силу поровоїрідини, забезпечує прискорення гідратації силікатних фаз цементу. У результаті підвищується не тільки міцність бетону, але і його непроникність. Завдяки сильним інгібіруючим властивостям, нітрат кальцію у весь час знаходження в поровоїрідини гальмує корозію арматур, причому, висока щільність і непроникність цементного каменю є гарантією того, що нітрит кальцію тривалий час не буде вилучений з рідкої фази [39].

У роботах [40] підвищення морозостійкості бетонів з добавками модифікаторів пояснюється утворенням рівномірно розподіленої пористості за рахунок виділення водню, а також часткової гідрофобізації поверхні пор і капілярів. Наприклад, за рахунок введення добавки кремнійорганічного олігомера полігідросілоксанового типу ГКЖ водень виділяється при розриві зв'язку Si-H у середовищі  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і відбувається мозаїчна гідрофобізація внутрішніх поверхонь бетону, що утворюються поліорганокальційсілоксанами [41].

За рахунок спільного застосування добавок і електролітів можливе створення мікропористої структури з наявністю електроліту в поровому просторі, що додатково підвищує морозостійкість за рахунок зниження кількості, що утвориться в структурі льоду [42].

Таким чином, для забезпечення довговічності конструкції в умовах значних механічних впливів (навантажень), можна рекомендувати використовувати ефективні пластифікатори, сучасні гідрофобні добавки для підвищення непроникності та ефективні прискорювачі твердіння.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Демьянова В.С. Высокоэффективные гидрофобизаторы для цементных композиций. / В.Ю. Нестеров, Г.Н. Казина, И.Е. Ильина // Экспресс-информация, 2004. – Вып. 1. – С. 42 – 47.
2. Инчик В.В. Использование отходов химического производства для гидрофобизации строительных материалов // Строительные материалы, 1998. – № 11. – С. 40.
3. Хигеревич М.И. Гидрофобный цемент. – М.: Промстройиздат, 1957. – 206 с.

4. Коваль С.В. Модифицирование – магистральное направление совершенствования технологии и свойств бетона / С.В. Коваль // Будівельні матеріали та вироби, 2004. – № 4. – С. 20-24.
5. Баженов Ю.М. Бетон с химическими добавками / Ю.М. Баженов, Ф.М. Иванов. – М.: ЦМИ-ПКС, 1987. – 59 с.
6. Батраков В.Г. Применение суперпластификатора в бетоне / В.Г. Батраков, Ф.М. Иванов, В.Р.Фаликман // Строительство и архитектура: Обзорная информация. Серия: строительные материалы и изделия. – М.: 1981. – 285 с.
7. Демьянова В.С. Гидрофобизаторы для сухих строительных смесей. / П.Г. Василик, К.Н. Махамбетова // Пластические массы, 2003. – № 7 – С.43 – 44.
8. Каддо М.Б. Гидроизоляция – важный этап реставрации и реконструкции // Строительные материалы, 1998, – № 11. – С. 30 – 31.
9. Смирнов С.В. Отечественные гидроизолирующие материалы на основе вяжущих / Л.Ю. Латышева // Строительные материалы, 1999. – № 9. – С. 16 – 17.
10. Трамбовецкий В.П. Рекомендация применения суперпластификаторов в США // Бетон и железобетон, № 4. – 1995. – С. 31...32.
11. Трамбовецкий В.П. Бетон в высотном строительстве // Бетон и железобетон, 1990. – № 11. – С. 45...46.
12. Матвеева О.И. Бетоны с модификатором ПФМ-НЛК для железобетонных конструкций, работающих в суровых условиях / Г.Д. Федорова, Н.К. Розенталь // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2002. – № 6. – С.10...11.
13. Современные добавки для бетонов и краски необычными свойствами // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2003. – № 4. – С. 11.
14. Шитков Е.С. Лигносulfонатные пластификаторы нового типа для бетонных смесей и бетонов различного назначения / А.М. Кириллов и др. // Строительные материалы, 2002. – № 6. – С. 36-38.
15. «Динамикс» новый пластификатор для строительства // Строительные материалы, 2003. – № 6. – С. 30.
16. Амиш Ф. Использование редиспергируемых порошков «Rhoimat» в производстве сухих смесей / Ф. Амиш, Н. Рюиз // Строительные материалы, 2000. – № 5. – С.8...9.
17. Дорошенко О.Ю. Модифікація цементного залізобетону шпал добавками на основі відходів хімічних випробувань. Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія «Транспортні системи і технології», 2007 р. – Випуск 11. – С. 52...56.
18. Кореев В.И. Цементная гидроизоляция на современном рынке строительных материалов / В.И. Кореев. – «Инфстрой» 2003 №1 (7) – С.4...8.
19. Степанова В.Ф. Защита от коррозии строительных материалов – основа обеспечения долговечности зданий и сооружений / В.Ф. Степанова // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века, 2005, №3 – С.16-19.
20. Дорофеев А.Р. Интегральные капиллярные системы – эффективный способ защиты бетона от воды / А.Р. Дорофеев // Мат-лы 1-й всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия», книга 3. – М: Ассоциация «Железобетон», 2001. – С. 1552...1555.
21. Глекель Ф.Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим / Ф.Л. Глекель. – Ташкент: Фан, – 1975. – 198 с.
22. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость модифицированных бетонов / Н.К. Розенталь // Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение – теория и практика». – М.: Из-во СИП РИА, 2006. – С. 271...273.
23. Хигерович М.И. Гидрофобный цемент и гидрофобно-пластифицирующие добавки / М.И. Хигерович. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1957. – 20 с.
24. Структура и свойства высокопрочных бетонов, содержащий комплексный органоминеральный модификатор «Эмбелит» / [С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян, В.Г. Дондуков] // Бетон и железобетон – пути развития. Том 3. Технология бетона. Сборник трудов 2 всероссийской конференции. – М., 2005. – С. 657...671.
25. Kardumian H. Shrinkage Controlling of Self Compacting High-Strength Concrete/ H. Kardumian, S. Kapriyelov // Ibausil: Proc.15<sup>th</sup> Int. Conf.-Weimar, 2003. –V.2.- p.513...523.
26. Огнев А.К. Восстановление работоспособности железобетонных конструкций гидротехнических сооружений / А.К. Огнев, А.В. Петров, Е.И. Кудрявцев // Гидротехническое строительство. – 2006, №10. – С.6...9.

27. *A high performance polymer cement mortar for repairing cracks in underwater concrete structure* // Lu Z., Huang S., Zhou X., Qi Y. // Ibaasil: Proc. 16<sup>th</sup> Int. Conf.-Weimar, 2006. –V.2.- P. 335-340.
28. *Бовин Г.П.* Возведение водонепроницаемых сооружений из бетона и железобетона / Г.П. Бовин. – М.: Стройиздат, 1979. – 183 с.
29. *Дорошенко Ю.М.* Добавки, повышающие прочность и водонепроницаемость цементных бетонов / Ю.М. Дорошенко, В.Б. Вишневецкий, В.В. Чистяков // Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения. Тезисы докладов всесоюзной конференции. – Ростов-на-Дону, 1981. – С.133...135.
30. *Шаровар М.К.* Водонепроницаемость бетонов марки 600-800 при давлении до 25 МПа. Автореф. дис. канд. тех. наук 05.23.05 / М.К. Шаровар. – М., НИИЖБ, 1976. – 22 с.
31. *Савенков В.В.* Свойства бетона с гидрофобно-кольматирующей добавкой / В.В. Савенков, В.Л. Чернявский, А.И. Рой. – Строительные материалы и конструкции, 1979, № 3. – С. 33.
32. *Гладков В.С.* Добавки в производстве морозостойких бетонов / В.С. Гладков // Бетон и железобетон. – 1977. – № 7. – С. 9...11.
33. *Гладков В.С.* Формирование условно-закрытой пористости в бетонах с воздухововлекающими добавками / В.С. Гладков // Химические добавки и их применение в технологии производства сборного железобетона. – М.: 1992. – С. 51...57.
34. *Стольников В.В.* Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне / В.В. Стольников. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1953. – 168 с.
35. *Powers T.C.* A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete / T.C. Powers // Journal of American Concrete Institute, vol.16 № 4, 1945 – pp. 245...272.
36. *Добавки в бетон:* Справ.пособие / В.С.Рамачандран, Р.Ф.Фельдман, М.Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
37. *Ферронская А.В.* Высококачественный мелкозернистый бетон для дорожных покрытий / А.В. Ферронская, С.Б. Кожиев // Строительные материалы, 2005, № 4. – С. 58-59.
38. *Оценка* методами структурно-имитационного моделирования влияния степени влияния технологических факторов на морозостойкость бетона / Б.В. Гусев, В.И. Кондращенко, В.Д. Кудрявцева, В.П. Сопов, А.В. Ушеров-Маршак // Бетон и железобетон – пути развития. Том 3. Технология бетона. Сборник трудов 2 всероссийской конференции. – М., 2005. – С.67...71.
39. *Чистяков В.В.* Интенсификация твердения бетона / В.В.Чистяков, Ю.М.Дорошенко, И.Г.Гранковський. – К.: Будівельник, 1988. – 16...49 с.
40. *Структура* и морозостойкость гидротехнического бетона с добавкой ГКЖ-94 / В.М. Москвин, В.Г. Батраков, О.В. Кунцевич и др. / – Бетон и железобетон, 1980, № 7 – С.20...22.
41. *Бертов В.М.* Модифицированные бетоны высоких эксплуатационных свойств на строительстве Зейской ГЭС / В.М. Бертов, В.Г. Батраков //Бетон и железобетон – пути развития. Том 3. Технология бетона. Сборник трудов 2 всероссийской конференции. – М., 2005. – С. 636...642.
42. *Добролюбов Г.* Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.

***Oleksandra Doroshenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Building Constructions and Structures Chair,  
State University for Transport Economy and Technologies)  
YuriyDoroshenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Professor of Construction Materials and Chemistry Chair, National  
Transport University)***

## **EFFECTIVE SUPPLEMENTS – MODIFIERS IN THE CONSTRUCTION OF CONCRETE TRANSPORTATION FACILITIES**

***In the article the experience of usingchemical additives modifiers under conditions of considerable mechanical stress (loads)is considered.The article states that supplements-modifiers can increase strength, water resistance and frost resistance of concrete.***

**Keywords:** concrete, transport constructions, additions, plasticizers, superplasticizers, accelerating of consolidation, water-repelling agents.

REFERENCES

1. Dem'janova V.S. Vysokoeffektivnye gidrofobizatory dlja cementnyh kompozicij. / B.Ju. Nesterov, G.N. Kazina, I.E. Il'ina // Jekspres-informacija, 2004. – Vypusk 1. – S. 42...47.
2. Inchik V.V. Ispol'zovanie othodov himicheskogo proizvodstva dlja gidrofobizacii stroitel'nyh materialov. // Stroitel'nye materialy, 1998. – № 11. – S.40.
3. Higerovich M.I. Gidrofobnyj cement. – M.: Promstrojizdat, 1957. – 206s.
4. Koval' S.V. Modificirovanie – magistral'noe napravlenie sovershenstvovanija tehnologii i svojstv betona / S.V. Koval' // Budivel'ni materialy ta virobi, 2004. – № 4. – S.20-24.
5. Bazhenov Ju.M. Beton s himicheskimi dobavkami / Ju.M. Bazhenov, F.M. Ivanov. – M.: CMIPKS, 1987. – 59 s.
6. Batrakov V.G. Primenenie superplastifikatora v betone / V.G. Batrakov, F.M. Ivanov, V.R. Falikman // Stroitel'stvo i arhitektura: Obzornaja informacija. Serija: stroitel'nye materialy i izdelija. – M.: 1981. – 285 s.
7. Dem'janova V.S. Gidrofobizatory dlja suhijh stroitel'nyh smesej. / P.G. Vasilik, K.N. Mahambetova // Plasticheskie massy, 2002. – №7 S.43...44.
8. Kaddo M.B. Gidroizoljacija – vazhnyj jetap restavracii i rekonstrukcii. // Stroitel'nye materialy, 1998. – № 11. – S.30...31.
9. Smirnov S.V. Otechestvennye gidroizolirujushhie materialy na osnove vjazhushhijh. / L.Ju. Latysheva // Stroitel'nye materialy, 1999. – №9. – S.16...17.
10. Tramboveckij V.P. Rekomendacija primenenija superplastifikatorov v CHIA. // Beton i zhelezobeton, № 4. – 1995. – S.31...32.
11. Tramboveckij V.P. Beton v vysotnom stroitel'stve. // Beton i zhelezobeton, 1990. – № 11. – S.45...46.
12. Matveeva O.I. Betony s modifikatorom PFM-NLK dlja zhelezobetonnyh konstrukcij, rabotajushhijh v surovijh uslovijah. / G.D. Fedorova, N.K. Rozental' // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka, 2002. – № 6. – S.10...11.
13. Sovremennye dobavki dlja betonov i kraski s neobychnymi svojstvami. - Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka, 2002. – №4. – S. 11.
14. Shitkov E.S. Lignosul'fonatnye plastifikatory novogo tipa dlja betonnyh smesej i betonov razlichnogo naznachenija. / A.M. Kirillov i dr. // Stroitel'nye materialy, 2002. – № 6. – C. 36-38.
15. «Linamiks» novyj plastifikator dlja stroitel'stva. – Stroitel'nye materialy, 2002. – №6. – S.30.
16. Amish F. Ispol'zovanie redispersiruemyh poroshkov «Rhoimat» v proizvodstve suhijh smesej. / F. Amish, N. Rjuiz // Stroitel'nye materialy, 2000. – №5. – S.8...9.
17. Doroshenko O.Ju. Modifikacija cementnogo zalizobetonu shpal dobavkami na osnovi vidhodiv himichnijh viprobuvan'. Zbirnik naukovijh prac' Kii'vsr'p'kogo universitetu ekonomiki i tehnologii transportu, serija «Transportni sistemi i tehnologii» 2007 r. – Vipusk 11, – S. 52...56.
18. Koreev V.I. Cementnaja gidroizoljacija na sovremennom rynke stroitel'nyh materialov / V.I. Koreev. – «Infstroj» 2003 №1 (7) – S.4...8.
19. Stepanova V.F. Zashhita ot korrozii stroitel'nyh materialov – osnova obespechenija dolgovechnosti zdaniij i sooruzhenij / V.F. Stepanova // Stroitel'nye materialy, oborudovanie i tehnologii XXI veka, 2005, №3 – S.16-19.
20. Dorofeev A.R. Integral'nye kapilljarnye sistemy – jeffektivnyj sposob zashhity betona ot vody / A.R. Dorofeev // Mat-ly 1-j vsrossijskoj konferencii po problemam betona i zhelezobetona «Beton na rubezhe tret'ego tysjacheletija», kniga 3. – M.: Associacija «Zhelezobeton», 2001. – S. 1552...1555.
21. Glekel' F.L. Fiziko-himicheskie osnovy primenenija dobavok k mineral'nym vjazhushhim / F.L. Glekel'. – Tashkent: Fan, – 1975. – 198 s.
22. Rozental' N.K. Korroziionnaja stojkost' modificirovannyh betonov / N.K. Rozental' // Sbornik trudov vsrossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Stroitel'noe materialovedenie – teorija i praktika». – M.: Iz-vo SIP RIA, 2006. – S. 271...273.
23. Higerovich M.I. Gidrofobnyj cement i gidrofobno-plastificirujushhie dobavki / M.I. Higerovich – M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'nym materialam, 1957. – 20 s.
24. Struktura i svojstva vysokoprochnykh betonov, sodержashhij kompleksnyj organomineral'nyj modifikator «Jembelit» / [S.S. Kaprielov, A.V. Shejfel'd, G.S. Kardumjan, V.G. Dondukov] // Beton i

zhelezobeton – puti razvitiya. Tom 3. Tehnologija betona. Sbornik trudov 2 vsrossijskoj konferencii – M. 2005. – S. 657...671.

25. Kardumian H. Shrinkage Controlling of Self Compacting High-Strength Concrete / H. Kardumian, S. Kaprielov // Ibausil: Proc.15th Int.Conf.-Weimar, 2003. –V.2.- p.513...523.

26. Ognev A.K. Vosstanovlenie rabotosposobnosti zhelezobetonnyh konstrukcij gidrotehnicheskikh sooruzhenij / A.K. Ognev, A.V. Petrov, E.I. Kudrjavcev //Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo. – 2006, №10. – S.6...9.

27. A high performance polymer cement mortar for repairing cracks in underwater concrete structure // Lu Z., Huang S., Zhou X., Qi Y. // Ibausil: Proc.16th Int.Conf.-Weimar, 2006. –V.2.- P. 335-340.

28. Bovin G.P. Vozvedenie vodonepronaemnyh sooruzhenij iz betona i zhelezobetona / G.P. Bovin – M.: Strojizdat, 1979. – 183 s.

29. Doroshenko Ju.M. Dobavki, povyshajushhie prochnost' i vodonepronaemost' cementnyh betonov / Ju.M. Doroshenko, V.B. Vishnevskij, V.V. Chistjakov // Povysenie dolgovechnosti konstrukcij vodohozhajstvennogo naznacheniya. Tezisy dokladov vsesozujnoj konferencii. – Rostov-na-Donu, 1981. – S.133...135.

30. Sharovar M.K. Vodonepronaemost' betonov marki 600-800 pri davlenii do 25 MPa. Avtoref. dis.kand.teh.nauk 05.23.05/ M.K. Sharovar. – M., NIIZhB, 1976, –22 s.

31. Savenkov V.V. Svojstva betona s gidrofobno-kol'matirujushhej dobavkoj / V.V. Savenkov, V.L. Chernjavskij, A.I. Roj. – Stroitel'nye materialy i konstrukcii, 1979, №3. – S. 33.

32. Gladkov B.C. Dobavki v proizvodstve morozostojkih betonov / B.C. Gladkov // Beton i zhelezobeton. – 1977. – № 7. – S. 9...11.

33. Gladkov B.C. Formirovanie uslovno-zakrytoj poristosti v betonah s vozduhovovlekajushhimi dobavkami / B.C. Gladkov // Himicheskie dobavki i ih primenenie v tehnologii proizvodstva sbornogo zhelezobetona. – M.: 1992. – S. 51...57.

34. Stol'nikov V.V. Vozduhovovlekajushhie dobavki v gidrotehnicheskom betone / V.V. Stol'nikov. – M.: Gosudarstvennoe jenergeticheskoe izdatel'stvo, 1953 – 168 s.

35. Powers T.C. A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete / T.C. Powers //Journal of American Concrete Institute, vol.16 № 4, 1945 – pp. 245...272.

36. Dobavki v beton: Sprav.posobie / V.S.Ramachandran, R.F.Fel'dman, M.Kollepari i dr. –M.: Strojizdat, 1988. – 575 s.

37. Ferronskaja A.V. Vysokokachestvennyj melkozernistyj beton dlja dorozhnyh pokrytij / A.V. Ferronskaja, S.B. Kozhiev – Stroitel'nye materialy, 2005, №4 – S.58-59.

38. Ocenka metodami strukturno-imitacionnogo modelirovanija vlijaniya stepeni vlijaniya tehnologicheskikh faktorov na morozostojkost' betona / B.V. Gusev, V.I. Kondrashhenko, V.D. Kudrjavceva, V.P. Sopov, A.V. Usherov-Marshak. // Beton i zhelezobeton – puti razvitiya. Tom 3. Tehnologija betona. Sbornik trudov 2 vsrossijskoj konferencii – M. 2005. – S.67...71.

39. Chistjakov V.V. Intensifikacija tverdenija betona / V.V.Chistjakov, Ju.M.Doroshenko, I.G.Grankovs'kij – K.: Budivel'nik, 1988. – 16...49 s.

40. Struktura i morozostojkost' gidrotehnicheskogo betona s dobavkoj GKZh-94 / V.M. Moskvina, V.G. Batrakov, O.V. Kuncovich i dr./ – Beton i zhelezobeton, 1980, №7 – S.20...22.

41. Bertov V.M. Modificirovannye betony vysokih jekspluacionnyh svojstv na stroitel'stve Zejskoj GJeS / V.M. Bertov, V.G. Batrakov //Beton i zhelezobeton – puti razvitiya. Tom 3. Tehnologija betona. Sbornik trudov 2 vsrossijskoj konferencii – M. 2005. – S. 636...642.

42. Dobroljubov G. Prognozirovanie dolgovechnosti betona s dobavkami / G. Dobroljubov, V.B. Ratinov, T.I. Rozenberg. – M.: Strojizdat, 1983. – 212 s.

УДК 629.4

*М. В. Ковтанец, к.т.н.**(старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт»  
Восточнoукраинского национального университета им. В. Даля)***ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАУКОЕМКОГО МЕТОДА ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»**

*В работе представлены теоретико-экспериментальные исследования обоснования эффективности использования струйно-абразивного воздействия на взаимодействующие поверхности колеса и рельса для повышения их коэффициента сцепления. Для проверки эффективности предлагаемого метода были разработаны методики проведения экспериментальных исследований, согласно которым определены величины коэффициента трения и изменения сопротивления движению колеса имитатора экипажа при различных фрикционных условиях контактирования его с рельсом. Экспериментальные исследования проводились на специальной стендовой установке, которая позволяет одновременно исследовать фрикционные свойства системы «колесо-рельс» как при качении со скольжением, так и без него. Определение сопротивления движению выполнялось методом выбега по длине пройденного пути и времени хода до полной остановки имитатора экипажа, предварительно разогнанного до установленной скорости. В основу обработки результатов эксперимента и получения численных значений сопротивления движению положена математическая модель движения имитатора экипажа по рельсовому пути, построенная, исходя из теоремы в теоретической механике: изменение кинетической энергии системы равняется сумме работ внутренних и внешних сил при некотором перемещении этой системы. Статистическая обработка полученных экспериментальных данных, свидетельствует, что песок незначительно повышает коэффициент сцепления и создает более неблагоприятные условия контактирования для взаимодействующих поверхностей. При струйно-абразивном воздействии происходит разрушение загрязнений на поверхности рельса, а так же их унос отраженным ударом, который уносит продукты очистки из зоны контакта. При этом на поверхности рельса практически не остается абразивного материала, который может вызвать сопротивление движению, как в случае с применением песка при исследуемой производительности подачи.*

*Ключевые слова:* коэффициент сцепления, сопротивление движению, имитатор экипажа, струйно-абразивное воздействие, абразивный материал.

© Ковтанець М. В., 2016

*У роботі представлені теоретико-експериментальні дослідження обґрунтування ефективності використання струминно-абразивного впливу на взаємодіючі поверхні колеса та рейки для підвищення їх коефіцієнта зчеплення. Для перевірки ефективності запропонованого методу були розроблені методики проведення експериментальних досліджень, згідно з якими визначено величини коефіцієнта тертя і зміни опору руху колеса імітатора екіпажу при різних фрикційних умовах контактування його з рейкою. Експериментальні дослідження проводилися на спеціальній стендовій установці, яка дозволяє одночасно досліджувати фрикційні властивості системи «колесо-рейка» як при коченні з ковзанням, так і без нього. Визначення опору руху виконувалося методом вибігу по довжині пройденого шляху і часу ходу до повної зупинки імітатора екіпажу, попередньо розігнаного до встановленої швидкості. В основу обробки результатів експерименту і отримання чисельних значень опору руху покладено математичну модель руху імітатора екіпажу по рейковому шляху, побудовану виходячи з теореми в теоретичній механіці: зміна кінетичної енергії системи дорівнює сумі робіт внутрішніх і зовнішніх сил при деякому переміщенні цієї системи. Статистична обробка отриманих експериментальних даних, свідчить, що пісок незначно підвищує коефіцієнт зчеплення і створює більш несприятливі умови контактування для взаємодіючих поверхонь. При струминно-абразивному впливі відбувається руйнування забруднень на поверхні рейки, а так само їх винесення відбитим ударом, який відносить продукти очищення із зони контакту. При цьому на поверхні рейки практично не залишається абразивного матеріалу, який може викликати опір руху, як у випадку із застосуванням піску при досліджуваній продуктивності подачі.*

*Ключові слова:* коефіцієнт зчеплення, опір руху, імітатор екіпажу, струминно-абразивний вплив, абразивний матеріал.

**Постановка проблеми.** При работе локомотив тратит энергию, расходуя ее на преодоление сил сопротивления движению. Таким образом, в направлении движения поезда действует сила тяги локомотива, а против – сила сопротивления движению. Их разность и определяет характер движения поезда: ускоренное, если сила тяги больше суммарной силы сопротивления движению, замедленное – если меньше.

Для обеспечения возможности трогания поезда с места и нормального движения его при разгоне должно быть соблюдено условие

$$F_{cy} < F_k > \Sigma W , \quad (1)$$

где  $F_{cy}$  – сила сцепления движущих колес с рельсами, равная сцепному весу локомотива  $Q_{cy}$ , умноженному на коэффициент сцепления  $\Psi$ ;  $F_k$  – суммарная касательная сила тяги локомотива;  $\Sigma W$  – сумма всех сил сопротивления движению, включая инерционные.

По мере дальнейшего роста скорости движения возрастает сила сопротивления движению, а сила тяги локомотива монотонно снижается и через некоторое время эти силы становятся равными. Начиная с этого момента, поезд на участке неизменного профиля будет двигаться с постоянной скоростью, потому что раз-

ность  $F_m - \Sigma W$  равна нулю, а это значит, что ускорения поезда нет (происходит равномерное движение). Чтобы это не произошло необходимо поддерживать силу тяги  $F_m$  локомотива как можно выше силы сопротивления  $\Sigma W$  движению, но при этом, не превышая значение силы сцепления  $F_{сц}$  ведущих колес с рельсами. Это возможно реализовать путем управления величиной коэффициента сцепления  $\Psi$ . Так как общее сопротивление движению  $\Sigma W$  локомотива и вагонов колеблется в весьма широких пределах в зависимости от состояния пути (геометрии рельсового пути и наличия различного рода поверхностных загрязнений), то его изучение при различных фрикционных условиях контактирования колес с рельсами является актуальной задачей [1-3]. В противном случае сопротивление может значительно возрасти, что в конечном итоге повлечет за собой перерасход топлива или электроэнергии на движение поезда.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Из анализа исследований [4, 5] известно, что величина коэффициента сцепления  $\Psi$  имеет значительный разброс, в среднем – от 0,06 до 0,5. Это обусловлено действием множества случайно изменяющихся в процессе движения факторов: наличие на рельсах различного характера поверхностных загрязнений и влаги, погодные-климатические условия, температура колес и рельсов, нагрузка от колеса на рельс, скорость движения и т.д.

Для повышения коэффициента сцепления применяются различные устройства и методы [6]. Широко распространенным и весьма эффективным является подача песка в зоны контакта с рельсами поверхностей катания движущих колес локомотива. Однако при этом имеющая место чрезмерная и неравномерная подача песка вызывает:

- увеличение сопротивления движению проходящего состава, что особенно заметно при проходе кривых участков пути, где наличие остатков песка на рельсах затрудняет еще и поперечное перемещение вагонных колес и препятствует свободной установке тележек вагонов по направлению кривой;

- повышенный износ или повреждение рельсов и экипажной части (бандажей) локомотива в виде дефектов № 14 (пробоксовка рельсов колесами локомотивов) и № 40 (волнообразная деформация головки рельса – короткие волны);

- возможность возникновения (при повышенной толщине слоя песка) автоколебаний в тяговом приводе при боксовании, что неизбежно сопровождается значительными динамическими и ударными нагрузками в элементах привода и подвески;

- засорение упругих прокладок между подошвами рельсов и шпалами, что приводит к изменению жесткости рельсошпальной решетки.

К тому же, в случае подачи песка при прохождении локомотивом стрелочного перевода нарушается нормальное функционирование переводного механизма и плотное прилегание остряка к рамному рельсу, от чего зависит безопасность движения поезда [7].

**Цель статьи.** Проведение теоретико-экспериментальных исследований и их обработка для обоснования эффективности использования разработанного нового метода струйно-абразивного воздействия на взаимодействующие поверхности трибосистемы «колесо-рельс» для повышения их коэффициента сцепления.

**Изложение основного материала исследования.** На кафедре железнодорожного транспорта ВНУ им. В. Даля разработана система повышения сцепления [8, 9, 10] посредством струйно-абразивного воздействия (САВ) на поверхности рельса (или одновременно колеса и рельса), в которой абразивный материал под действием сжатого воздуха с высоким ускорением действует как очищающее средство, устраняет поверхностные загрязнения, производит (в зависимости от заданного режима работы системы) очистку, или микрорезание, или шаржирование поверхности.

Для проверки эффективности предлагаемого метода экспериментально определены величины коэффициента трения и изменения сопротивления движению колеса имитатора экипажа при различных фрикционных условиях контактирования его с рельсом. Испытания проводились на специальной стендовой установке (рис. 1), которая позволяет одновременно исследовать фрикционные свойства контакта «колесо-рельс» как при качении со скольжением, так и без него [11, 12]. Определение сопротивления движению выполнялось методом выбега по длине пройденного пути и времени хода до полной остановки имитатора экипажа, предварительно разогнанного до установленной скорости. Движение осуществлялось по прямому горизонтальному рельсу типа Р65, который разделялся на два участка: для разгона имитатора экипажа и для его выбега без тяги. На дорожку качения участка выбега наносились поверхностные загрязнения соответствующие реальным условиям контактирования колес и рельсов.



*Рис. 1. Стендовая установка*

При испытаниях осуществлялся разгон имитатора экипажа до начала второго участка. Затем имитатор экипажа переводился в режим выбега (движение по инерции) путем выключения двигателя тягового ролика. Одновременно включался секундомер, фиксируя отсчет времени выбега.

При достижении полной остановки имитатора экипажа секундомер фиксирует полное время выбега, и производится замер длины пройденного пути. Для получения более точных данных опыты в каждой серии испытаний повторяются не менее пяти раз. Результаты замеров заносились в сводную таблицу для дальнейшей обработки.

В основу обработки результатов эксперимента и получения численных значений сопротивления движению положена математическая модель движения

имитатора экипажа по рельсовому пути [13], построенная, исходя из теоремы в теоретической механике: изменение кинетической энергии системы равняется сумме работ внутренних и внешних сил при некотором перемещении этой системы  $dS$ . Если пренебречь упругими деформациями в приводах имитатора экипажа, то работу внутренних сил можно считать равными нулю.

Тогда

$$dK = W \cdot dS, \quad (2)$$

где  $K$  – функция кинетической энергии системы.

Кинетическая энергия системы представляется суммой энергии поступательного движения и энергии вращающихся элементов приводов и ходовой части имитатора экипажа

$$K = \frac{1}{2} m_{mm} \cdot V^2 + \frac{1}{2} J_{pp} \cdot \omega_{pp}^2 + \frac{1}{2} J_{mp} \cdot \omega_{mp}^2 + \frac{1}{2} J_{я1} \cdot \omega_{я1}^2 + \frac{1}{2} J_{я2} \cdot \omega_{я2}^2, \quad (3)$$

где  $J_{pp}$ ,  $\omega_{pp}$ ,  $J_{mp}$ ,  $\omega_{mp}$ ,  $J_{я1}$ ,  $\omega_{я1}$ , и  $J_{я2}$ ,  $\omega_{я2}$  – момент инерции и угловая скорость вращения относительно собственной оси соответственно рабочего ролика, тягового ролика, якоря двигателя рабочего ролика и якоря двигателя тягового ролика.

Угловые скорости вращения названных элементов непосредственно зависят от скорости поступательного движения имитатора экипажа

$$\omega_{pp} = V / r_{pp}; \quad \omega_{mp} = V / r_{mp}; \quad \omega_{я1} = (V / r_{pp}) \cdot \mu_1; \quad \omega_{я2} = (V / r_{mp}) \cdot \mu_2, \quad (4)$$

где  $r_{pp}$ ,  $r_{mp}$  – радиус соответственно рабочего и тягового ролика;  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  – передаточное число соответственно тягового редуктора двигателя рабочего ролика и тягового ролика.

Подставив соотношения (4) в (3) и выполнив процедуры по алгоритму (2), получим

$$m_{mm}(1 + \gamma) \cdot V \cdot dV = W \cdot dS, \quad (5)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{1}{m_{mm}} \cdot \left( \frac{J_{pp}}{r_{pp}^2} + \frac{J_{mp}}{r_{mp}^2} + \frac{J_{я1}}{r_{я1}^2} \cdot \mu_1^2 + \frac{J_{я2}}{r_{я2}^2} \cdot \mu_2^2 \right), \quad (6)$$

Коэффициент  $\gamma$  учитывает инерцию вращающихся элементов ходовой части имитатора экипажа.

Разделив правую и левую части равенства (5) на  $m_{mm}(1 + \gamma) \cdot V \cdot dS$ , получаем математическую модель движения имитатора экипажа в форме

$$\frac{dV}{dS} = \frac{W}{(1 + \gamma) \cdot V \cdot m_{mm}}, \quad (7)$$

Отношение  $w_o = W / m_{mm}$  обычно называют удельным сопротивлением движению. Тогда (7) можно представить в общепринятом в тяге поездов виде

$$\frac{dV}{dS} = \frac{I}{I + \gamma} \cdot \frac{w_o}{V} \quad (8)$$

Выражение (8) является дифференциальным уравнением первого порядка с разделяющимися переменными вида

$$dS = \frac{I + \gamma}{w_o} \cdot V \cdot dV ; \quad (9)$$

Откуда при условии  $w_o = const$

$$\int_{S_H}^{S_K} dS = \frac{I + \gamma}{w_o} \cdot \int_{V_H}^{V_K} V \cdot dV \quad \text{и} \quad S_K - S_H = \frac{I + \gamma}{w_o} \cdot \frac{1}{2} (V_K^2 - V_H^2), \quad (10)$$

где  $S_H$  и  $S_K$ ,  $V_H$  и  $V_K$  – соответственно отметки пути, пройденного имитатором экипажа, и его скорости в начале и в конце замеров.

В условиях эксперимента  $S_H = 0$  и  $S_K = S_T$ , где  $S_T$  – путь, пройденный имитатором экипажа от начала выбега до полной остановки, т. е. до  $V_K = 0$ .

Отсюда вытекает выражение для определения удельного сопротивления движению имитатора экипажа

$$w_o = -\frac{I + \gamma}{2S_T} \cdot V_H^2 ; \quad (11)$$

Для решения, поставленной в данной работе цели, выбраны такие фрикционные состояния поверхности рельса: чистый и сухой, покрытый водой, покрытый дизельным топливом (ДТ) и покрытый отработанным маслом (ОМ) дизеля локомотива.

Методика проведения экспериментов предусматривала три серии поездок со следующей последовательностью действий:

1. рельс приводился в одно из перечисленных фрикционных состояний, после чего осуществлялась серия измерительных поездок машины трения и определялись фрикционные характеристики контактирующих поверхностей;

2. далее на рельс наносился кварцевый песок в количестве ( $\approx 0,1-0,2$  кг/м<sup>2</sup>), что соответствует нормативной подаче песка 1 кг/мин песочной системой при скорости движения локомотива 5 км/ч и определялись характеристики данного модифицированного фрикционного состояния;

3. после этого рельс подвергался струйно-абразивному воздействию (рис. 2) с использованием наиболее эффективного режима очистки, и вновь определялись фрикционные характеристики.

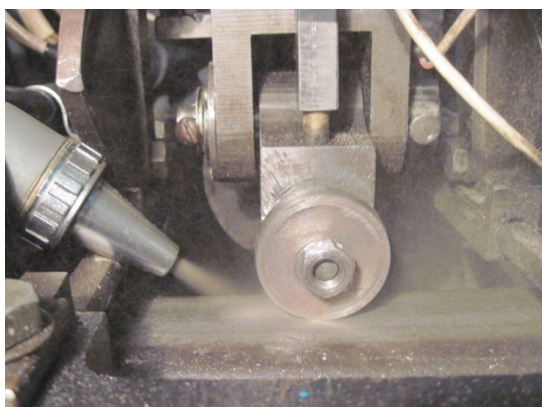


Рис. 2. Струйно-абразивное воздействие на стендовой установке

В процессе проведения экспериментов после каждой поездки проводилось измерение сопротивления движению, только менялось состояние поверхности рельса (пункт 1).

По результатам проведенных экспериментальных исследований, перед измерением сопротивления движению, на стендовой установке определены зависимости коэффициента трения от температуры в контакте для всех видов фрикционных состояний поверхностей (рис. 3-6).

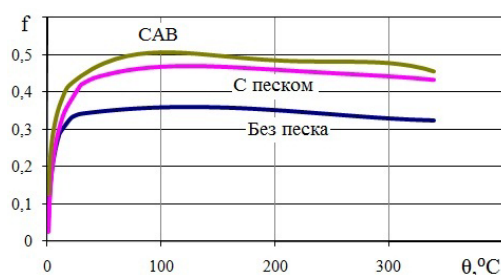


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс чистый, сухой)

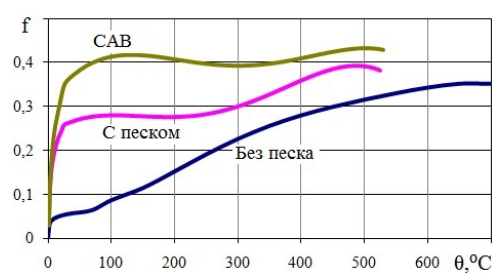


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый водой)

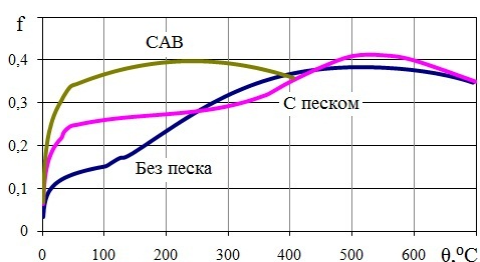


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый ДТ)

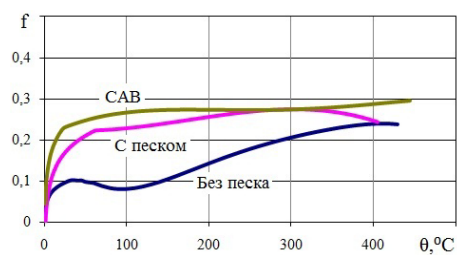


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый ОМ)

За эталонний случай, для каждого опыта, было принято качение имитатора экипажа по чистому и сухому рельсу ( $w_o = 0$ ). Статистическая обработка данных, полученных при экспериментальных испытаниях на стендовой установке методом выбега, показывает (рис. 7), что подача песка на поверхность головки рельса при любом ее состоянии (чистая и сухая, покрытая водой, ДТ или ОМ) вызывает увеличение сопротивления движению (знак «-» означает уменьшение сопротивления движению от эталонного случая), что связано с повышением коэффициента трения рабочего ролика о рельс (см. рис. 3-6).

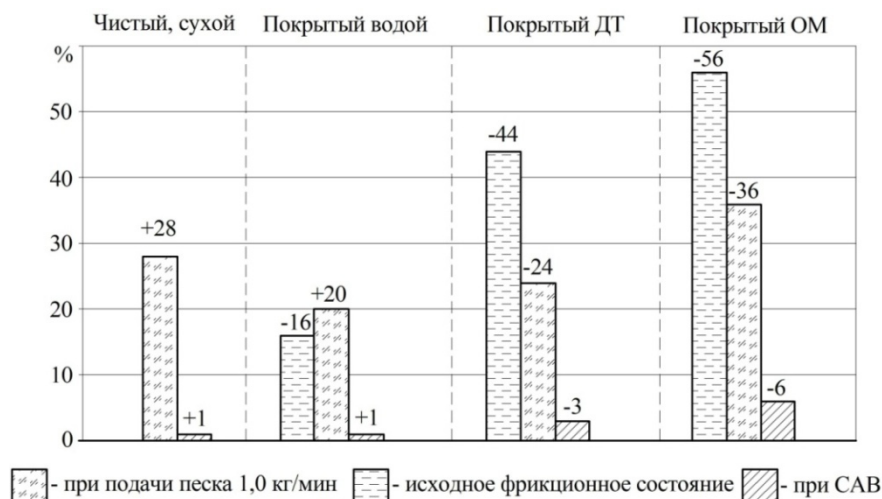
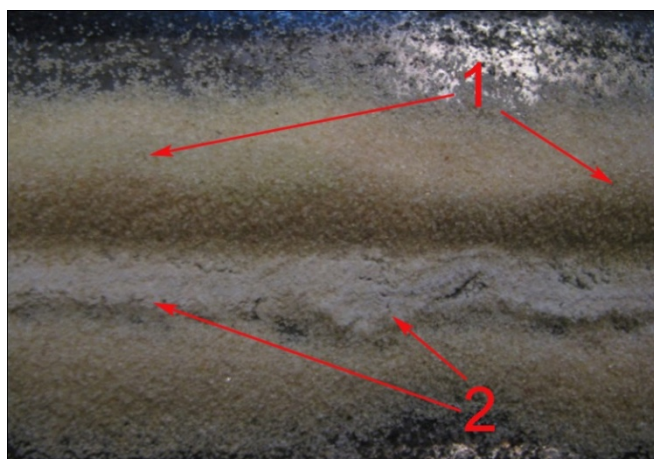


Рис. 7. Изменение сопротивления движению в сравнении с эталонным случаем

Подача песка с производительностью  $\approx 1,0$  кг/мин требует предварительной затраты больших усилий на раздавливание частиц песка (рис. 8), которые имея большую прочность, вызывают повышение на 20-36% (в сравнении с исходным фрикционным состоянием) сопротивление движению. Разрушение частиц вызывает интенсивный абразивный износ поверхности ролика и головки рельса.



1 – частицы, не попавшие в контакт; 2 – продукты разрушения частиц

Рис. 8. Слой песка на поверхности рельса после прохождения колеса

Важным недостатком подачи песка на рельс, покрытый жидкими (вода, ДТ или ОМ) загрязнениями, является его аккумулялирование (налипание) вместе с загрязнениями на поверхность роликов стеновой установки и последующий разнос их по поверхности рельса (рис. 9, а). Так же на рис. 9 представлены виды тягового (б) и рабочего (в) ролика после проезда по рельсу покрытого жидкими загрязнениями с подачей песка.

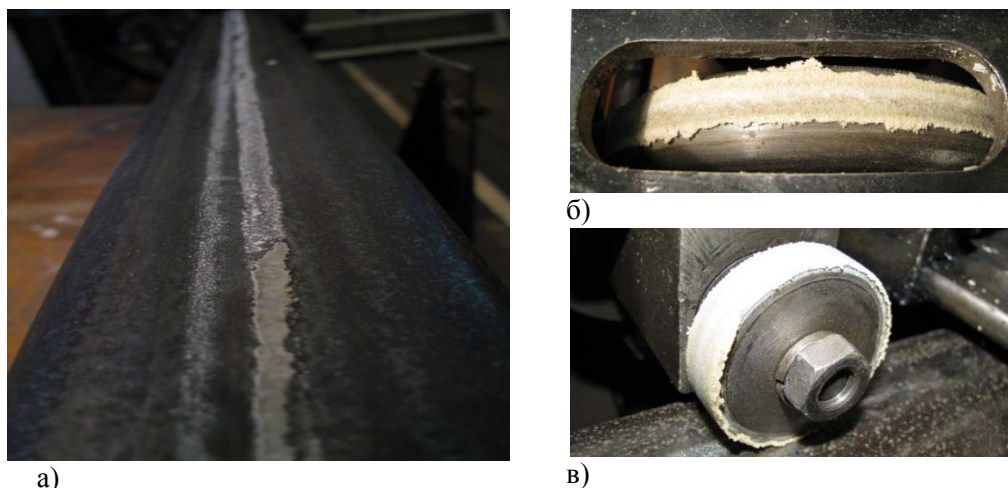


Рис. 9. Аккумулялирование на роликах загрязненного песка и его разнос по рельсу

Таким образом, проведенные исследования показывают, что песок незначительно повышает коэффициент сцепления и создает более неблагоприятные условия контактирования для взаимодействующих поверхностей. При САВ происходит разрушение загрязнений на поверхности рельса, а так же их унос отраженным ударом, который уносит продукты очистки из зоны контакта. При этом на поверхности рельса практически не остается абразивного материала, который может вызвать сопротивление движению, как в случае с применением песка при исследуемой производительности подачи.

При САВ наблюдается увеличение коэффициента сцепления при всех видах поверхностных загрязнений, которые использовались в эксперименте (от 6% до 32%), а незначительное повышение сопротивления движения объясняется случайно попавшими на поверхность частиц (увеличение на 1% или уменьшение на 6%), в отличие от подачи песка (рис. 7).

**Выводы и перспективы дальнейшего использования.** На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований обоснована целесообразность использования разработанной системы струйно-абразивной очистки поверхности рельса от различных поверхностных загрязнений, как более прогрессивной, которая позволяет создать эффективные условия контактирования колеса с рельсом для повышения тягово-сцепных качеств локомотива, не вызывая при этом дополнительного сопротивления движению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Текст]/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст]/ О.В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichka-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
4. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. – 144 с.
5. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчикова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
6. Gorbunov N. Clutch control in the system of «wheel-rail»/ N. Gorbunov, M. Kovtanets, O. Prosvirova, E. Garkushin // Silesian University of Technology Faculty of Transport(Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440
7. Горбунов Н.И. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной системы локомотива / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Н.Н. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.А. Кравченко // Наукові вісті Давіського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. №3, 2011. – [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_3/Tehno/11gnipsl.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf) – Дата доступу: 22.12.2011.
8. Голубенко А.Л. Повышение сцепных качеств локомотивов управлением фрикционным взаимодействием «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, В.С. Ноженко, И.А. Цыгановский, В.В. Чмелёв // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – Ч.1, № 5 (147). – С. 7-14.
9. Горбунов Н.И. Математическая модель процесса взаимодействия единичной абразивной частицы с очищаемой поверхностью рельса / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, И.А. Цыгановский, М.Н. Коршко, В.А. Левандовский // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – Ч.2, № 4 (158). – С. 38-45.
10. Ковтанец М.В. Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / М.В. Ковтанец; ВНУ им. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.
11. Патент на корисну модель №65999, кл. G01N 3/40 Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» / Костюкевич О.І., Горбунов М.І., Ковтанец М.В., Ноженко В.С., Черніков В.Д., Цигановський І.О.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – u201105040; заявл. 20.04.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 4 с.
12. Голубенко А.Л. Экспериментальные исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, А.И. Костюкевич, Е.А. Кравченко, С.В. Попов, В.С. Ноженко, М.В. Ковтанец // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – Ч.1, № 5 (147). – С. 14-20.
13. Слащов В.А. Тягові та гальмові розрахунки на рейковому транспорті / В.А. Слащов. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2005. – 182 с.

***Maksim Kovtanets, PhD (Technical Sciences)***  
***(Senior Lecturer of Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)***

**THE RATIONALE FOR THE USE OF HIGH-TECHNOLOGY METHOD FOR IMPROVING THE COHESION IN THE «WHEEL-RAIL» SYSTEM**

***The paper presents theoretical and experimental studies that justify the efficiency of jet-abrasive effect on the interacting surfaces of wheel and rail to increase their***

*coefficient of friction. To check the effectiveness of the proposed method the methods of experimental research were developed, according to which the values of the coefficient of friction and the change of resistance to movement of the wheel simulator of the carriage under various conditions of frictional contact with the rail. Experimental studies were carried out on a special bench setup that allows to investigate the frictional properties of the «wheel-rail» system as rolling with sliding or without it. The definition of resistance was carried out by coasting along the traversed path length and operating time until complete stop of the simulator crew, pre-accelerated to the set speed. The basis of processing of experimental results and obtaining the numerical values of the running resistance based on a mathematical model of the motion simulator of the carriage along the track, built on the basis of a theorem in theoretical mechanics: the change in kinetic energy of the system is equal to the sum of works of internal and external forces with movement of this system. Statistical processing of obtained experimental data shows that the sand slightly increases the coefficient of friction and creates more adverse conditions of contacting for interactive surfaces. In jet-abrasive impact is the destruction of contaminants on the surface of the rail, as well as their carryover reflected shock, which carries refined products from the zone of contact. Thus on the surface of the rail is virtually no abrasive material that can cause a resistance to movement, as in the case of the use of sand in the studied feeding performance.*

**Keywords:** friction coefficient, resistance to movement, the carriage simulator, jet-abrasive impact, abrasive material.

## REFERENCES

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Текст]/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text]/ A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukreat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Luzhnov Ju.M. *Sceplenie koljos s rel'sami (priroda i zakonomernosti)* [Clutch wheel rails (nature and regularity)]. Moscow, Intekst Publ., 2003. 144 p.
5. Osenin Ju.I., Marchenko D.M., Shvedchikova I.O. *Frikcijna vzaemodija koleasa z rejkiju* [Friction interaction with rail wheels]. Lugansk, EUSU Publ., 1997. 227 p.
6. Gorbunov N. *Clutch control in the system of «wheel-rail»*/ N. Gorbunov // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440.
7. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Gorbunov N.N., Nozhenko V.S., Kravchenko E.A. Obespechenie bezopasnosti jekspluatacii zheleznodorozhnyh transportnyh sredstv sozdaniem innovacionnyh reshenij pesochnoj sistemy lokomotiva [Ensuring the safety of operation of rail vehicles provide innovative solutions to the sand of the locomotive system]. *Naukovi visti Dalivskogo universitetu – Science news Dahl University*. 2011. issue 3. Available at: [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_3/Tehno/11gnipsl.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf)
8. Golubenko A.L., Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Nozhenko V.S., Cyganovskij I.A., Chmeljov V.V. Povyshenie scepnyh kachestv lokomotivov upravleniem frikcionnym vzaimodejstviem «koleso-rel's» [Increasing the quality of coupling locomotives operated frictional interaction «wheel-rail»]. Visnik

Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2010, issue 1, № 5 (147), pp. 7-14.

9. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Cyganovskij I.A., Korshko M.N., Levandovskij V.A. Matematicheskaja model' processa vzaimodejstvija edinichnoj abrazivnoj chasticy s ochishhaemoj poverhnost'ju rel'sa [A mathematical model of the interaction of a single abrasive particles from the cleaning surface of the rail]. *Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2011, issue 2, № 4 (158), pp. 38-45.

10. Kovtanets M.V. *Uluchshenie scepnyh karakteristik lokomotiva strujno-abrazivnym vozdejstviem na zonu kontakta dvizhushhego koleasa s rel'som* PhD Diss. [Improving the cohesion characteristics of the locomotive with the jet-abrasive impact on the contact zone of the driving wheel and rail PhD Diss.]. Severodonetsk, 2015. 206 p.

11. Kostjukevich O.I., Gorbunov M.I., Kovtanec' M.V., Nozhenko V.S., Chernikov V.D., Ciganovs'kij I.O. *Mashina tertja dlja vivchennja frikciynih vlastivostej kontaktu «koleso-rejka»* [Machine to study friction frictional contact properties «wheel-rail»]. Patent UA, no. u201105040, 2011.

12. Golubenko A.L., Kostjukevich A.I., Kravchenko E.A., Popov S.V., Nozhenko V.S., Kovtanec M.V. Jeksperimental'nye issledovanija frikcionnyh svojstv kontakta «koleso-rel's» [Experimental studies of frictional contact properties «wheel-rail»]. *Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2010, issue 1, № 5 (147), pp. 14-20.

13. Slashov V.A. *Tjagovi ta gal'movi rozrahunki na rejkovomu transporti* [Traction and braking calculations rail transport]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2005, 182 p.

УДК 622.278

*М. І. Горбунов, д.т.н., професор  
(професор кафедри «Залізничний транспорт» Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля)*

*О. В. Просвірова  
(молодший науковий співробітник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля)*

*М. В. Ковтанець, к.т.н.  
(старший викладач кафедри «Залізничний транспорт» Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля)*

*К. О. Кравченко, к.т.н., доцент  
(доцент кафедри «Залізничний транспорт» Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля)*

## **АНАЛІЗ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ ФРИКЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ «КОЛЕСО-ГАЛЬМО-РЕЙКА»**

*Проаналізовані стратегічні принципи розвитку залізничного транспорту, намічені Міжнародним союзом залізниць. На підставі експертного оцінювання виділені найбільш значущі кластери напрямків досліджень. Відповідність напрямку дослідження пріоритетам стратегічного розвитку в значній мірі визначає його перспективи розвитку та впровадження у виробництво. Ефективність гальмових засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускної і провізної спроможності залізних доріг. Від властивостей і стану гальмового обладнання рухомого складу в значній мірі залежить безпека руху. Згідно з пріоритетними напрямами розвитку міжнародної залізничної системи розроблена система методів підвищення енергоефективності та безпеки руху за рахунок управління фрикційною передачею «колесо-рейка», управління трибологічними і теплофізичними процесами фрикційних елементів гальм. Запобігання юзу, надійність екстреного гальмування, забезпечення стабільного коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою – важливі завдання, вирішення яких сприятиме значному зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій, що призводять до негативних екологічних наслідків. Методологія запропонованих інноваційних методів управління температурою гальмових фрикційних поверхонь сприятиме подальшому розвитку високошвидкісного руху локомотивів.*

*Ключові слова: залізничний транспорт, стратегічні принципи, експертне оцінювання, гальмівна система, енергоефективність.*

**© Горбунов М. І., Просвірова О. В., Ковтанець М. В., Кравченко К. О., 2016**

*Проанализированы стратегические принципы развития железнодорожного транспорта, намеченные Международным союзом железных дорог. На основании экспертного оценивания выделены наиболее значимые кластеры направлений исследований. Эффективность тормозных средств является одним из важнейших условий, определяющих возможность повышения веса и скорости движения поездов, пропускной и провозной способности железных дорог. От свойств и состояния тормозного оборудования подвижного состава в значительной степени зависит безопасность движения. В соответствии с приоритетными направлениям развития международной железнодорожной системы разработана система методов повышения энергоэффективности и безопасности движения за счет управления фрикционной передачей «колесо-рельс», управления трибологическими и теплофизическими процессами фрикционных элементов тормозов. Предотвращение юза, надежность экстренного торможения, обеспечения стабильного коэффициента сцепления колеса с рельсом – важные задачи, решение которых способствует значительному снижению риска возникновения аварийных ситуаций, приводящих к негативным экологическим последствиям. Методология предложенных инновационных методов управления температурой тормозных фрикционных поверхностей будет способствовать дальнейшему развитию высокоскоростного движения локомотивов.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, стратегические принципы, экспертное оценивание, тормозная система, энергоэффективность.*

**Постановка проблеми.** Діяльність залізничного транспорту як частини єдиної транспортної системи країни сприяє нормальному функціонуванню всіх галузей суспільного виробництва, соціальному і економічному розвитку та зміцненню обороноздатності держави, міжнародному співробітництву України. Конкурентоспроможність галузі залізничного транспорту можна підвищити впровадженням інноваційних рішень у системі експлуатації локомотивів.

Встановлення принципів стратегічного розвитку залізничного транспорту – складна багаторівнева задача, вирішенням якої займаються провідні світові фахівці. Відповідність напрямку дослідження пріоритетам стратегічного розвитку в значній мірі визначає його перспективи розвитку та впровадження у виробництво.

Ефективність гальмових засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускної і провізної спроможності залізних доріг. Від властивостей і стану гальмового обладнання рухомого складу в значній мірі залежить безпека руху.

У зв'язку з постійним підвищенням швидкостей руху поїздів пред'являються високі вимоги до гальмових засобів. Застосування відомої конструкції колодкового гальма, яка передбачає взаємодію гальмової колодки з поверхнею катання коліс, обмежене границями їх допустимого нагріву. До числа найбільш важливих проблем відносяться: підвищення коефіцієнта зчеплення коліс з рейками за дисковому гальмі; зменшення впливу несприятливих атмосферних умов на роботу дискових гальм; створення гальмівних накладок з високим стабільним коефіцієнтом тертя і великий зносостійкістю; розробка надійної і довговічної конструкції гальмівних дисків, що забезпечують ефективне розсіювання енергії. Використання дискових гальм набуває все більшого поширення, адже потрібна гальмова потужність не досягається за допомогою колодкових гальм. Викорис-

тання колодкових гальм на високих швидкостях також є небажаним через суттєве збільшення зносу коліс. Експлуатація рухомого складу з дисковими гальмами показала ряд істотних недоліків конструкції елементів фрикційної пари: спроектована без відповідних розрахункових обґрунтувань вентиляційна система гальмівних дисків не забезпечує ефективну тепловіддачу і підвищує опір руху поїзда [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі проведеного комплексного аналізу експериментальних і теоретичних досліджень, висвітленого в роботах [4, 5], визначено, що однією з найважливіших проблем гальмових пристроїв є підтримання поверхневих температур їх пар тертя в певних межах. Перевищення допустимих температур фрикційних поверхонь призводить до втрати ними зносо-фрикційних властивостей, спостерігається дестабілізація експлуатаційних параметрів (динамічного коефіцієнта тертя, гальмового моменту, механічних і теплових деформацій, зносу і т.д.) гальмових пристроїв. Зважаючи на це, доцільно для забезпечення вимог щодо стабілізації температури фрикційної пари гальм застосовувати нові перспективні методи адаптивного охолодження, керування вентиляцією та самовентиляцією гальм.

**Метою роботи** є аналіз структури пріоритетних напрямів досліджень в галузі залізничного транспорту, подання перспективних методів підвищення ефективності роботи гальмового обладнання управлінням фрикційною системою «колесо-гальмо-рейка».

**Викладення основного матеріалу.** Міжнародний союз залізниць (МСЗ) – міжнародна організація, що об'єднує національні залізничні компанії більш ніж восьмидесяти країн з метою спільного вирішення завдань в області розвитку залізничного транспорту. На 83-й генеральній асамблеї МСЗ намічені наступні стратегічні принципи розвитку світової залізничної системи на перспективу до 2050 року (рис. 1).

Відштовхуючись від намічених принципів, проведено спільне дослідження наукових організацій-учасників з метою визначення пріоритетних напрямів наукових досліджень, розробка яких буде сприяти ефективному розвитку залізничного транспорту.

Внаслідок різноманіття принципів розвитку членами МСЗ створено деталізований список напрямів досліджень, структурований за допомогою кластерів.

Скориставшись методом експертного оцінювання, в рамках дослідження МСЗ проведена обробка близько ста анкет опитування галузевих наукових працівників з країн-учасників дослідження, які представляють індивідуальний дослідницький досвід разом з досвідом вирішення конкретних завдань залізничної галузі у своїх державах.

Для визначення затребуваних напрямків досліджень експерти:

– попарно порівняли кожен напрямок з усіма іншими, з точки зору пріоритетності виставляючи 1 бал більш пріоритетному і 0 балів менш пріоритетним напрямом досліджень (якщо обидва мають однаковий пріоритет – виставлялось по 0,5 бала).

– за методом рангової кореляції розставили бали всім напрямками від 100 для самого пріоритетного – до 5 для найменш пріоритетного, на думку експерта;

– присвоїли напрямам відповідні місця від 1-го до 20-го.

Результати обробки експертних даних наведені у табл. 1.



*Рис.1. Стратегічні принципи розвитку світової залізничної системи*

Аналіз результатів експертного опитування (табл. 1) показав, що найбільш затребуваними виявилися напрямки:

1. Стійка конструкція рухомого складу (кластер «Рухомий склад»).
2. Безпека руху та особиста безпека пасажирів (кластер «Система як єдине ціле»).
3. Технології для моніторингу шляху рухомого складу і сумісність (кластер «Інфраструктура»).
4. Розробка нових матеріалів і технологій для інфраструктури (кластер «Інфраструктура»).
5. Нові матеріали і виробничі процеси для рухомого складу (кластер «Рухомий склад»).
6. Взаємодія в системі колесо-рейка (кластер «Інфраструктура»).

*Таблиця 1. Результати експертного оцінювання*

№	Напрямок дослідження	Кластер	Середнє значення
1	Стійка конструкція рухомого складу	Рухомий склад	0,9853
2	Безпека руху та особиста безпека пасажирів	Система як ціле	0,9326
3	Технології для моніторингу шляху рухомого складу і сумісність (запобігання сходу з рейок і т. д.)	Інфраструктура	0,9215
4	Розробка нових матеріалів і технологій для інфраструктури	Інфраструктура	0,9052
5	Нові матеріали і виробничі процеси для рухомого складу	Рухомий склад	0,8876
6	Взаємодія в системі колесо-рейка	Інфраструктура	0,8727
7	Конструкція рухомого складу високої продуктивності	Рухомий склад	0,8148
8	Управління активами (ефективність, збільшений термін служби, зменшення вартості конструкції та її обслуговування)	Інфраструктура	0,7874
9	Оптимізація енергоспоживання в залізничних системах	Енергія, екологія	0,7846
10	Інтегровані системи для пасажирських і вантажних перевезень	Система як ціле	0,7617
11	Інтелектуальні автоматизовані системи управління рухом	Інтелектуальні системи	0,7194
12	Збільшення пропускної здатності	Система як ціле	0,7136
13	Залізничні системи майбутнього	Система як ціле	0,6412
14	Управління інформацією (бази даних, доступність клієнтам і т. д.)	Інтелектуальні системи	0,6074
15	Внутрішнє оснащення поїздів	Рухомий склад	0,6065
16	Шум і вібрація	Енергія, екологія	0,5939
17	Скорочення шкідливих викидів від дизельного рухомого складу	Енергія, екологія	0,5847
18	ERTMS рівень 2/3 (GSM): Економічна рентабельність для вантажного транспорту	Інтелектуальні системи	0,5687
19	Взаємодія між залізничними енергетичними системами і інтелектуальними енергосистемами	Енергія, екологія	0,5306
20	Враження клієнта	Система як ціле	0,4306

*Джерело:* [6, 10].

Аналізуючи 6 найбільш пріоритетних напрямів досліджень, можна виділити закономірність з найбільшою концентрацією і затребуваністю напрямків у рамках наукових кластерів «Інфраструктура» та «Рухомий склад». Експерти-фахівці визначають надійну і безпечну роботу інфраструктури та рухомого складу як основу ефективного функціонування залізничного транспортного комплексу. Ефективність гальмових засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускної і провізної спроможності залізничних доріг. Від властивостей і стану гальмового обладнання рухомого складу в значній мірі залежить безпека руху.

У зв'язку з постійним підвищенням швидкостей руху поїздів висовуються високі вимоги до гальмових засобів. Застосування відомої конструкції колод-

кового гальма, яка передбачає взаємодію гальмової колодки з поверхнею катання коліс, обмежене границями їх допустимого нагріву. Використання дискових гальм набуває все більшого поширення, адже потрібна гальмова потужність не досягається за допомогою колодкових гальм. Використання колодкових гальм на високих швидкостях також є небажаним через те, що дуже суттєво збільшується знос коліс.

У процесі експлуатації поверхні катання й гребені ходових коліс взаємодіють із рейками, а у випадку колодкового гальмування – і з колодками на гальмових осях. Внаслідок цього обидві пари тертя взаємно впливають на процес зношування коліс і рейок, на формування контактної зони між ними й рівень контактних напружень, що виникають, і, отже, на сили зчеплення, що визначають величину тягових і гальмових зусиль рухомого складу.

Для підвищення ефективності гальмування рейкового рухомого складу необхідно створити гальмовими пристроями достатню гальмову потужність і забезпечити стійке зчеплення коліс із рейками. Керування температурою в парі тертя є одним із перспективних методів підвищення ефективності гальмування.

На основі аналізу провідних сучасних досліджень та патентів технічних рішень, спрямованих на удосконалення фрикційних властивостей гальмових засобів, розроблена наступна класифікація способів реалізації терморегулюючої і енергорозсіювальної функцій в гальмових системах.

1. Терморегулювання засноване на поглинанні чи виділенні теплоти металевими або неметалевими фрикційними елементами гальмових пристроїв. У цьому випадку можуть бути використані:

1.1. Хімічні реакції стосовно матеріалів фрикційних накладок з виділенням або поглинанням теплоти.

1.2. Ефекти виділення і поглинання енергії при зміні агрегатного стану фрикційних елементів (плавлення, випаровування, сублімація, кристалізація та ін.).

1.3. Фізичні властивості матеріалів фрикційних елементів, що забезпечують високу тепловіддачу.

2. Терморегулювання засноване на відводі теплоти назовні від пар тертя фрикційних елементів.

2.1. Вентиляція і самовентиляція.

2.2. Відведення теплоти спеціальними охолоджуючими елементами.

Відвід теплової енергії із зони фрикційного контакту елементів дискового гальма сприяє підвищенню стабільності гальмових характеристик.

Для визначення найбільш ефективного методу підвищення терморегулюючої і енергорозсіювальної спроможності в гальмових системах, використана інтелектуальна підтримка прийняття рішень, заснована на розробленому автором програмному забезпеченні з обробки результатів експертного оцінювання [7]. Опитування компетентних експертів-фахівців у даній області знань дозволило визначити найбільш перспективні методи удосконалення гальмової фрикційної системи з метою підвищення ефективності гальмування керуванням температурою в парі тертя. Аналіз результатів обробки експертних даних свідчить, що, за оцінками експертів, найбільш ефективними методами є охолодження фрикційного контакту, удосконалення вентиляційного апарату дискових гальм.

Зазначене завдання можливо виконати тільки на основі нових науково-технічних рішень в галузі гальмового обладнання, що дозволять створити систему примусового охолодження дискового гальма, яка забезпечить ефективні характе-

ристики процесу охолодження, буде мати прийнятні масо-габаритні і протипожежні показники та істотно зменшить залежність коефіцієнта тертя від температури, що генерується в зоні контакту робочих елементів при гальмуванні.

Авторами пропонується декілька способів вирішення цієї задачі, один з яких полягає в тому, що при гальмуванні в зону контакту пари тертя вводиться активне газоподібне середовище [8]. Для цього конструкцію гальмівної колодки забезпечено вставками з газоутворюючих матеріалів – порофорів. При гальмуванні залізничного рухомого складу колодки притискаються до колеса або диску. Температура в трибопарі підвищується. Під дією температури в колодці починається процес термічного розкладання елементів колодки порофорів, що приведе до виділення з великою швидкістю значної кількості газових продуктів. Одним з основних продуктів розкладу є газ – азот, який взаємодіє з тонкими поверхневими шарами фрикційних вузлів. Це позитивно впливає на фрикційні властивості пари тертя – підвищує коефіцієнт зчеплення, різко зміцнює і стабілізує поверхню матеріалів, тим самим підвищуючи їх довговічність та зносостійкість.

Також проблема охолодження фрикційної пари, підвищення ефективності способу гальмування локомотива та обладнання для його здійснення може бути вирішена шляхом ефективного використання стисненого повітря [9], яке стравлюється з гальмівного циліндру, та сприяє охолодженню гальмових фрикційних поверхонь, віднесення продуктів фрикційного зносу від трибопари. Для цього стиснене повітря з гальмівного циліндру через розподільник повітря та зворотний клапан стравлюється в сильфон, при наступному гальмуванні спрацьовує регульований клапан, який пов'язує гальмову колодку з сильфоном, за допомогою якого акумульоване повітря по гумовому трубопроводу через виконані в гальмівній колодці отвори та жолобоподібні канали подається в зону контакту фрикційних поверхонь, охолоджує його і відносить продукти зносу у довкілля.

**Висновки і перспективи подальшого використання.** За результатами намічених стратегічних принципів розвитку світової залізничної системи, аналізу експертного опитування фахівців дослідних організацій у сфері залізничного транспорту, підвищення ефективності роботи гальмового обладнання є одним з найважливіших факторів для підвищення швидкостей руху, безпеки та енергоефективності залізничного транспорту. Запропоновані інноваційні багатофункціональні методи управління температурою гальмових фрикційних поверхонь сприятимуть подальшому розвитку високошвидкісного руху локомотивів. Ці методи відрізняються новизною розроблених рішень, представляють теоретичну та практичну цінність в напрямку вдосконалення експлуатаційних характеристик гальм, що матиме велике значення в стратегічному розвитку залізничного транспорту в цілому.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Fomin, O.* Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Текст]/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. *Fomin, A. V.* The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. *Фомін, О.В.* Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст]/ О.В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С. 68-76 – Режим доступу:

<http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>

4. *Горбунов М.І.* Аналіз технічних рішень по підвищенню енергорозсіючої спроможності елементів гальмових систем / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, О.В. Просвірова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: в 2 – х ч. Ч.1. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013 – № 18 (207) – С. 57-61.

5. *Горбунов М.І.* Технічні рішення по стабілізації температури фрикційних елементів гальм / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, О.С. Ноженко, О.В. Просвірова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля:– Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013 – № 4(193) – С. 68 – 72.

6. *Лапидус Б.М.* Приоритетные направления железнодорожных исследований в рамках глобальной экономики / Б.М. Лапидус // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». №5, 2013. – С. 1-10.

7. *Свідоцтво* про реєстрацію авторського права на твір № 45058 від 06.08.2012. Комп'ютерна програма «Прийняття рішень у задачах залізничного транспорту з використанням методу експертних оцінок» / Горбунов М.М., Ковтанець М.В., Кравченко К.О., Просвірова О.В.

8. *Пат.* 91595 Україна МПК (2014.01): F16D 69/00. Спосіб взаємодії гальмівної колодки із колесом залізничного транспортного засобу / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Ноженко В.С., Просвірова О.В.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – опубл. 10.07.2014, бюл. № 13/2014.

9. *Пат.* 109064 Україна МПК (2015.01): B61H 1/00, F16D 65/04 (2006.01), F16J 3/00. Спосіб гальмування локомотива та система для його здійснення / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Просвірова О.В., Слюсарєва Л.О.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – опубл. 10.07.2015, бюл. № 13/2015.

10. *Горбунов Н.І.* Методология инновационного развития железнодорожного транспорта / Н.І. Горбунов, М.В. Ковтанец, Р.Ю. Дёмин // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2014. – № 3 (210). – С. 22-28.

***Nikolay Gorbunov, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Professor of the Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)***

***Olga Prosvirova***

***(Junior Researcher, East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)***

***Maksim Kovtanets, PhD (Technical Sciences)***

***(Senior Lecturer of Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)***

***Ekaterina Kravchenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor***

***(Associate Professor of Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)***

## **ANALYSIS OF THE MULTIFUNCTIONAL METHODS OF CONTROLLING THE FRICTION IN «WHEEL-BRAKE-RAIL» SYSTEM**

***The paper provides the analysis of the strategic principles for the development of railway transport, established by the International Union of Railways. Based on the expert evaluation the most significant clusters of research areas were highlighted. The braking means is one of the most important conditions that determine the possibility of increasing the weight and speed of trains, capacity and carrying capacity of Railways. From the properties and state of the braking equipment of the rolling stock depends largely on traffic safety. In accordance with priority directions of***

*development of international railway systems was developed a system of methods for increasing the efficiency and traffic safety by controlling the friction transmission «wheel-rail», control tribological and thermophysical processes of the friction elements of the brakes. Prevent skidding and reliability of the emergency braking, to ensure stable cohesion coefficient of wheel and rail, is an important task, the solution of which contributes to a significant reduction in the risk of accidents leading to negative environmental consequences. The methodology proposed innovative methods to manage the temperature of the brake friction surfaces will contribute to the further development of high-speed locomotives.*

**Keywords:** railway transport, strategic principles, expert evaluation, brake system, energy efficiency.

## REFERENCES

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Текст] / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text] / A. V. Fomin // East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text] / A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V. *Analiz tekhnichnykh rishen po pidvyschennyu enerhorozsnyuyuchoyi spromozhnosti elementiv halmovyykh system* [Analysis of technical solutions to improve energoresursu ability of braking systems] / Vestnik of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl: in 2 p. p. 1. No. 18(207). Lugansk, VDEUNU, 2013. P. 57-61.
5. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Nozhenko O.S., Prosvirova O.V. *Tekhnichni rishennya po stabilizatsiyi temperatury fryktsiynykh elementiv halm* [Technical solutions for temperature stabilization of the friction elements of the brakes] / Gorbunov M. I., K. A. Kravchenko, A. S. Nozhenko, A. V. Prosvirov // Vestnik of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl No. 4(193). Lugansk, VDEUNU, 2013. P. 68 – 72.
6. Lapidus B.M. *Prioritetnye napravlenyya zheleznodorozhnykh issledovaniy v ramkakh globalnoj ekonomiki* [Priority directions of railway research in the global economy] / Lapidus B.M. // [Bulletin of the ous JSC RZD]. No. 5, 2013. – S. 1-10.
7. Gorbunov N.I., Kovtanets M.V., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V. *Komp'yuterna prohrama «Pryynyattya rishen u zadachakh zaliznychnoho transportu z vykorystanniam metodu ekspertnykh otsinok»* [The computer program «decision Making in problems of railway transport with the use of expert evaluation method»]. The certificate of copyright registration UA, no. 45058, 2012.
8. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Nozhenko V.S., Prosvirova O.V. *Sposib vzayemodiyi halmivnoyi kolodky iz kolesom zaliznychnoho transportnoho zasobu* [The method of interaction of the brake pads with the wheel of the rail vehicle] Patent UA, no. 91595, 2014.
9. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V., Slusareva L.A. *Sposib halmuvannya lokomotyva ta systema dlya yoho zdiysnennya* [The method of braking a locomotive and system for its implementation] Patent UA, no. 109064, 2015.
10. Gorbunov N.I., Kovtanets M.V., Dyomin R.Y. *Metodologiya innovatsionnogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta* [Methodology of railway transport innovative development] / Vestnik of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl No. 3(210). Lugansk, VDEUNU, 2014. P. 57-61.

УДК 629.46.015:531.44

*А. В. Донченко, к.т.н., с.н.с.*

*(директор ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)*

*С. В. Бондарев*

*(завідуючий лабораторією ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)*

*О. М. Багров*

*(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)*

### **ВПЛИВ ПРОХОДЖЕННЯ ДВОВІСНОГО ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА В КРИВИХ МАЛОГО РАДІУСА НА БОКОВУ РАМУ ВІЗКА**

*У статті розглянуто вплив проходження візками кривих малого радіуса на міцність литих бокових рам вантажних вагонів. Виконані дослідження з метою визначення максимальних напружень при схемах навантажень, аналогічних експлуатаційним.*

*Ключові слова:* лита бокова рама, візок вантажного вагона, консольна частина бокової рами, внутрішній кут буксового прорізу.

*В статье рассмотрено влияние прохождения тележками кривых малого радиуса на прочность литых боковых рам грузовых вагонов. Выполнены исследования с целью определения максимальных напряжений при схемах нагрузок, аналогичных эксплуатационным.*

*Ключевые слова:* литая боковая рама, тележка грузового вагона, консольная часть боковой рамы, внутренний угол буксового проема.

Для успішного освоєння обсягу перевезень вантажів залізничним транспортом виконується програма технічного вдосконалення вантажних вагонів. Вагонний парк залізниць поповнюється новими вагонами, візки яких допускають швидкість руху до 120 км/год.

Однак, на жаль, останнім часом почастишали випадки зламів бокових рам візків вантажних вагонів. Статистика показує, що 90% всіх руйнувань відбувається в зоні внутрішнього кута буксового прорізу (в зоні R55).

Існує безліч причин, що сприяють зародженню і росту тріщин з подальшим руйнуванням деталі: наявність ливарних дефектів, зміни в конструкціях складових частин візка при недостатньому врахуванні бокових і поздовжніх сил, що діють на візок вантажного вагона під час руху.

Найбільш небезпечним режимом руху вагона, з точки зору можливості сходу вагона з рейок, є проходження кривих ділянок колії малого радіуса, при цьому

© Донченко А. В., Бондарев С. В., Багров О. М., 2016

траєкторію руху візка можна розділити на три фази [1]: від точки сполучення прямої і кривої ділянок до точки набігання передньої колісної пари на зовнішню рейку; від кінця першої фази до защемлення між боковими рамами і буксами колісних пар; від кінця другої фази до набігання задньої колісної пари на зовнішню рейку. Таким чином, передня колісна пара візка у всіх випадках одним зі своїх гребенів набігає на зовнішню рейку, а задня, в залежності від сил, що діють на візок з боку вагона і рейок, може або притискатися гребенем до зовнішньої рейки, або зберігати горизонтальні зазори між гребенями коліс і обома рейками, або набігати одним з гребенів на внутрішню рейку.

Результати випробувань [1] показують, що двовісні візки майже всіх моделей набігають обома колісними парами на зовнішню рейку, проте у деяких візків другі колісні пари рухаються з зазором по відношенню до зовнішньої рейки. Це пояснюється тим, що ці візки мають малі зазори між рамами і буксами.

Під час руху вагона по прямій ділянці шляху в штатному режимі, на візок, як правило, діють вертикальна динамічна сила, прикладена до підп'ятника, сила тяги вагона, сили, що виникають при взаємодії консольної частини бокової рами і букси колісної пари. Схема впливу цих сил показана на рис. 1.

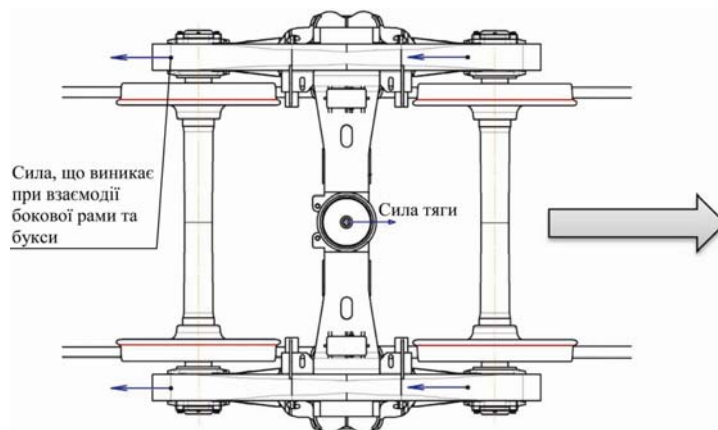


Рис. 1. Схема впливу сил під час руху візка по прямій

Під час руху вагона по кривій ділянці шляху [2] (вписування вагона в криву) до сил, що діють на візок в штатному режимі, додаються бокові сили, прикладені до підп'ятника, горизонтальні реакції рейок і сили тертя між колесами і рейками. Схема впливу сил під час руху візка в кривій показана на рис. 2.

На рис. 2 видно, що при проходженні візком кривої спостерігається забігання бокових рам відносно одне одного, відбувається зміна форми візка, з'являється паралелограмність, при цьому змінюється кут між боковою рамою і колісною парою. Під дією відцентрової сили відбувається зміщення бокової рами.

При розгляді взаємодії зовнішньої бокової рами з буксовими вузлом другий по ходу руху колісної пари, можна зробити висновок, що до площадки контакту між буксою і консольною частиною бокової рами додатково прикладається бокове навантаження. Це бокове навантаження створює крутний момент і викликає збільшення напружень в зоні R55. Про це так само свідчать результати ходових випробувань на міцність візків – аналогів візка моделі 18-100.

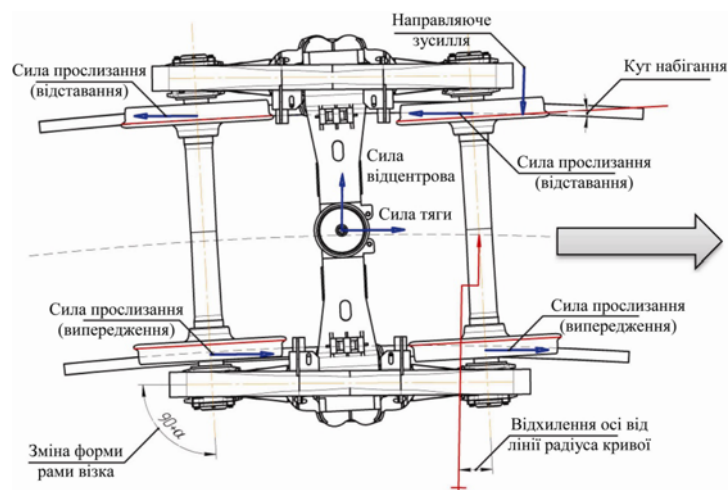


Рис. 2. Схема впливу сил під час руху візка в кривій

Для порівняння представлені результати випробувань проведених ІЦ ПВ ДП «УкрНДІВ». Випробування проводилися на ділянці Новомосковськ-Дніпровський – Балівка – Дніпродзержинськ-Лівобережний і Зустрічний – Сухачівка Придніпровської залізниці. Об’єкт випробувань – навантажений напіввагон на візках аналогах 18-100, на прямих і кривих ділянках колії з радіусами кривизни 680 і 906 метрів, рух здійснювався з різними швидкостями. На рисунках 3 і 4 показані осцилограми запису динамічного процесу навантаження внутрішнього кута буксового прорізу (R55) в місцях встановлення тензодатчиків. Як видно з результатів випробувань під час руху вагона по кривій, в порівнянні з прямими ділянками шляху, в зоні R55 зростають напруги на 13-19%.

Аналіз характеру взаємодії буксового вузла і бокової рами показує, що в режимі тяги букси колісних пар контактують з вертикальними направляючими консольних частин бокових рам зі сторони протилежної напрямку руху вагона.

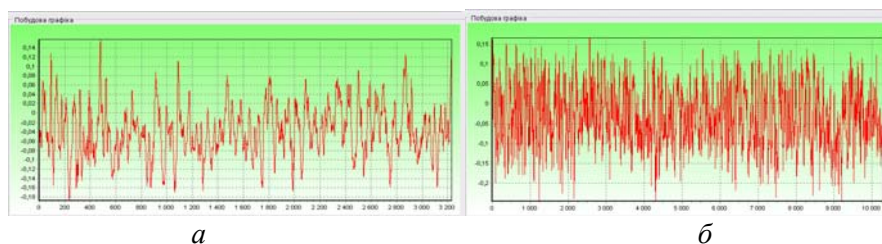
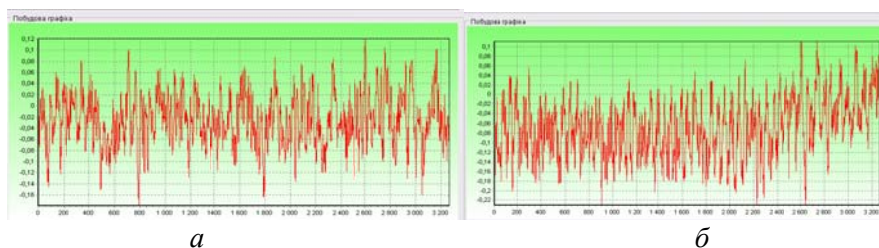


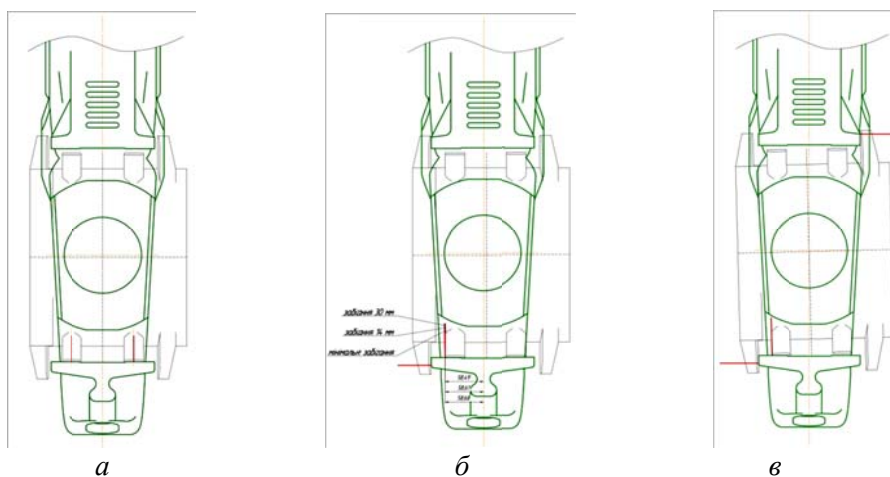
Рис. 3. Осцилограми запису динамічного процесу навантаження внутрішнього кута буксового прорізу (R55) (а – на прямій ділянці шляху, б – в кривій радіусом 680 метрів, збільшення напруження на 19 %) під час руху зі швидкістю 60 км/год

Під час руху візка по прямим ділянкам шляху відсутня дія поздовжніх сил, форма геометрії візка прямокутна тому можна сказати про відсутність забігання, при цьому відбувається рівномірний розподіл навантаження, тобто обидві контактні площадки букси торкаються двох контактних площадок бокової рами (рис. 5а).



**Рис. 4. Осцилограми запису динамічного процесу навантаження внутрішнього кута буксового прорізу (R55) (а – на прямій ділянці шляху, б – в кривій радіусом 906 метрів, збільшення напруження на 13 %) під час руху зі швидкістю 90 км/год**

При входженні візка в криві малого радіуса форма візка змінюється на паралелограм, виникає забігання бокових рам, букса своєю направляючою спирається на зовнішню напрямну консольної частини бокової рами (рис. 5б) та за рахунок перекосу букси вона спирається тільки на одну внутрішню контактну площадку консольної частини, але розташування зони контакту незначно залежить від величини забігання бокових рам.



**Рис. 5. Схеми спирання букси на консольну частину бокової рами**

Також при значному забіганні можливо защемлення бокової рами на буксу воно характеризується зміщенням передньої колісної пари відносно задньої на величину, що дорівнює 39 мм і більше в залежності від геометрії візка [1]. В такому випадку з'являється додаткова зона контакту букси та бокової рами, що викликає збільшення напружень в внутрішньому куті буксового прорізу (рис. 5в).

З метою визначення напруженого стану бокової рами від поєднання експлуатаційних навантажень, зазначених на рисунку 5, був виконаний розрахунок навантажень, що прикладаються відповідно до «Норм ...» [3], данні для розрахунку приймалися як для напіввагона з осьовим навантаженням 23,5 тс. У програмі SolidWorks розроблена твердотільна модель бокової рами візка 18-100 за номінальними розмірами деталі. Далі модель експортувалася до прикладного

кінцево-елементного пакету AnsysWorkbench для умовного розбиття на кінцеві елементи, створення граничних умов, прикладання навантажень і визначення напруженого стану. Результати розрахунку навантажень наведені в табл. 1. Для розрахунку були прийняті наступні допущення: матеріал конструкції – лита легрована сталь, модуль пружності прийнятий відповідно до «Норм...» [3] і дорівнює  $2,1 \cdot 10^5$  МПа, коефіцієнт Пуассона дорівнює 0,3, температура для розрахунку 22 °С.

Таблиця 1. Величини навантажень для розрахунку бокової рами візка на міцність

Тип навантаження	Прикладення навантажень	Значення, кН
Поздовжнє навантаження	Сила інерції маси візка при N=3,5 МН (п.2.4.2 «Норм...»). Прикладається до внутрішніх направляючих консольної частини бокової рами, що розташовані з протилежного від руху боку	25,728
Вертикальне навантаження на одну консольну частину	Сила ваги кузова вагона брутто, що діє на бокову раму візка (п.2.2.3 «Норм...») та половина вертикальної добавки від дії поздовжньої сили інерції кузова на бокову раму візка при N=3,5 МН (п.2.4.3 «Норм...»). Для однієї консольної частини розраховується як половина від зазначених сил та прикладається до опорної площадки буксового перерізу	177,907
Бокове навантаження	Бокове навантаження на консоль, що виникає під час руху в кривій. Прикладається до площадки контакту між буксою і консольною частиною бокової рами	47,393

Зовнішній вигляд прикладення навантажень та результати розрахунків наведено на рисунках 6-11.

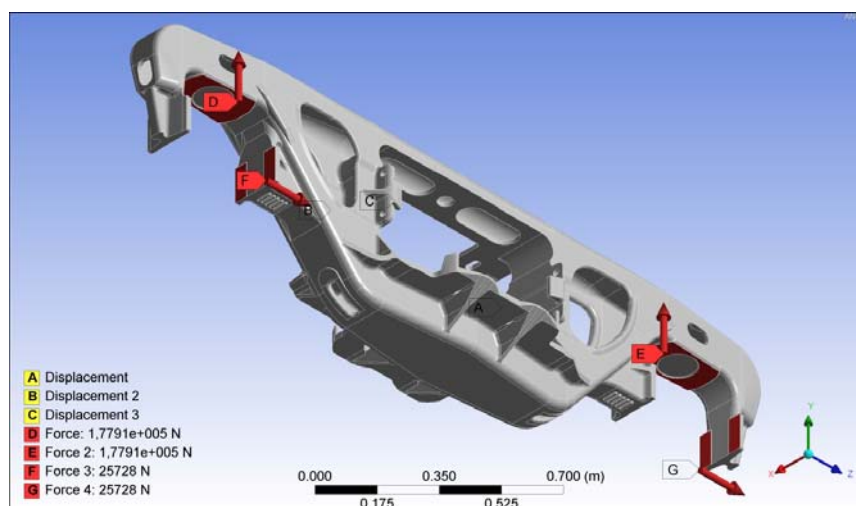


Рис. 6. Прикладення навантажень під час руху по прямій ділянці шляху (відсутнє бокове навантаження)

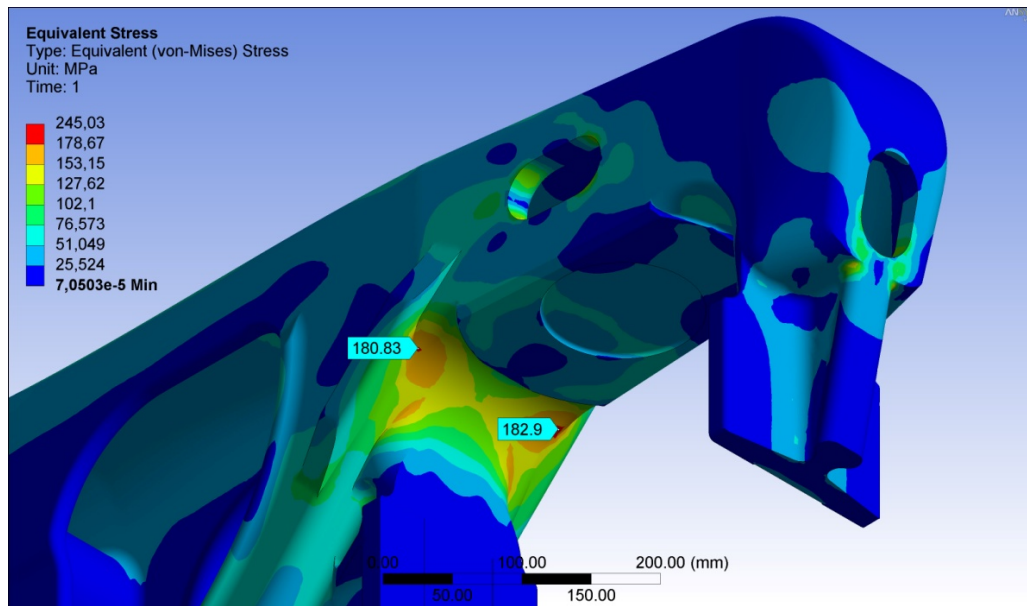


Рис. 7. Напруження в консольній частині під час руху по прямій ділянці шляху (відсутнє бокове навантаження)

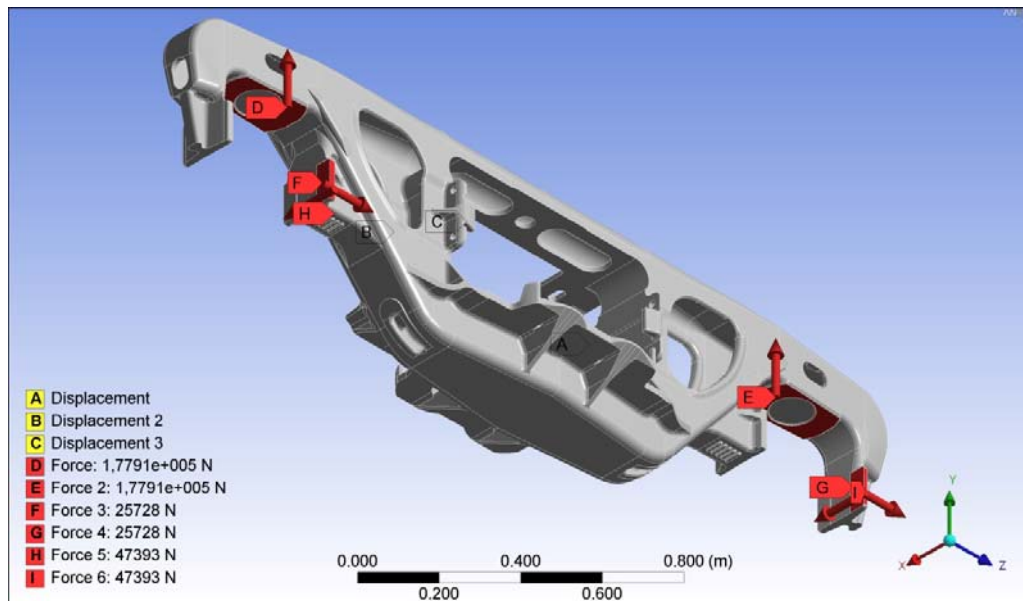


Рис. 8. Прикладання навантажень під час руху в кривій ділянці шляху

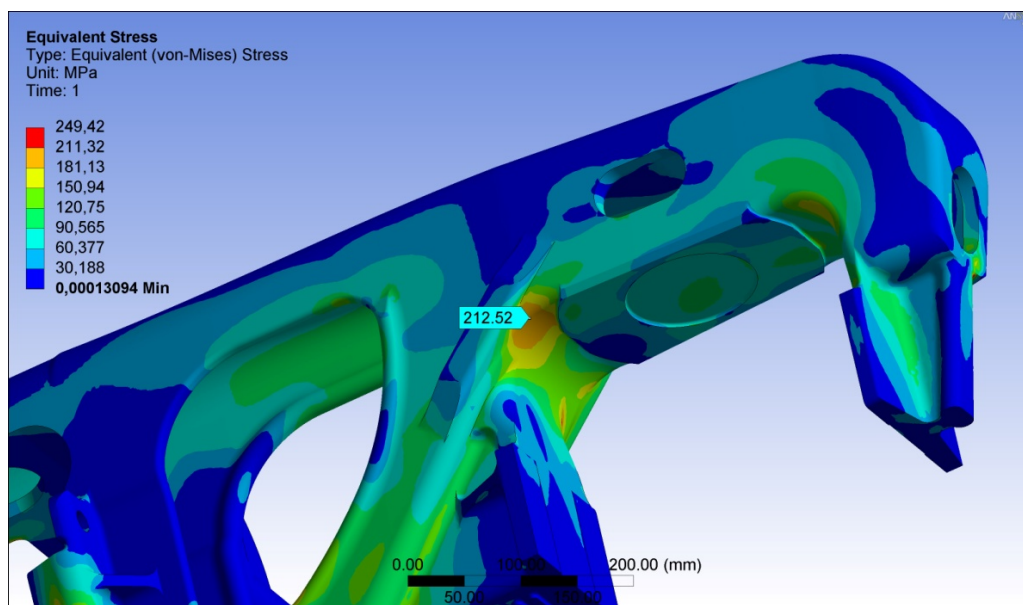


Рис. 9. Напруження, що виникають під час руху бокової рами в кривій ділянці шляху

Під час защемлення бокової рами на буксу, встановлюється додаткове обмеження для переміщення, що розташоване на зовнішній частині направляючої для букси з протилежного боку від прикладення навантаження (рисунок 10).

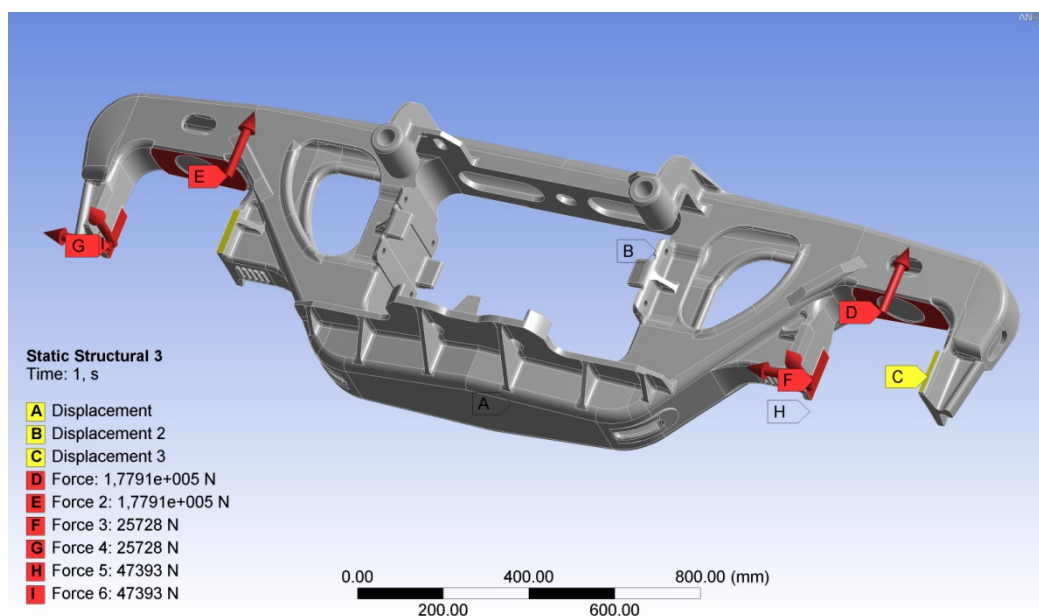


Рис. 10. Прикладання навантажень під час руху в кривій ділянці шляху с защемленням бокової рами

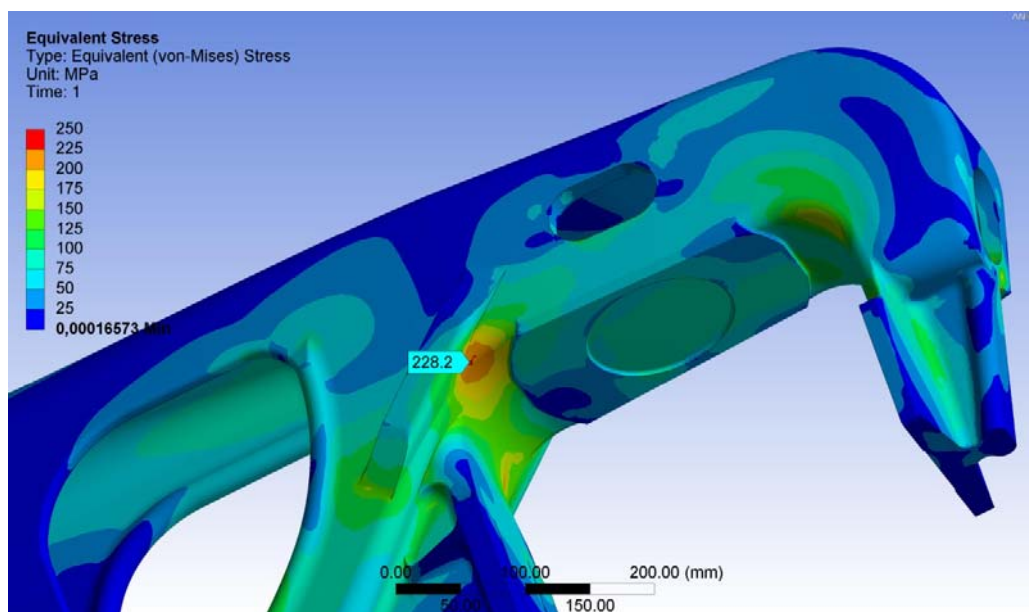


Рис. 11. Напруження, що виникають під час руху бокової рами в кривій ділянці шляху с защемленням бокової рами

Отримані максимальні напруження в досліджуваній зоні наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Напруження в досліджуваній зоні

№ з/п	Схема навантаження	Максимальне напруження в досліджуваній зоні, МПа	Збільшення напруження, %
1	Прикладання навантажень під час руху по прямій (відсутнє бокове навантаження)	182,9	-
2	Прикладання навантажень під час руху по кривій ділянці шляху	212,5	16
3	Прикладання навантажень під час руху в кривій ділянці шляху с защемленням бокової рами	228,2	25

Отримані результати дослідження показують, що під час руху по кривим малого радіуса спостерігається збільшення навантаження в досліджуваній зоні (R55) на 16 %, а при защемленні бокових рам напруження зростають на 25 %, ці показники в деякій мірі збігаються з даними отриманими під час випробувань вагонів на ділянках шляху.

**Висновки.** Лита бокова рама є елементом візка, досить складного конструкційного вузла ходової частини вагона. В експлуатації на вагон в цілому і візок зокрема діє цілий ряд різного роду сил, впливів тощо. Тому для зменшення імовірності виникнення зламів бокових рам з коробчастим перерізом консольних частин необхідно знизити вплив згинальних і крутних моментів в зоні R55 внутрішнього кута буксового прорізу, що виникають під час руху на кривих ділянках шляху та під час защемлення бокових рам.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 *Сцепляемость и проходимость вагонов в кривых малого радиуса и по горкам*. Под ред. Ю.А. Хапилова. Изд-во «Транспорт», 1971 г., – 96 стр.
- 2 *Расчет вагонов на прочность*. Вершинский С.В. и др. Изд. 2-е. Под ред. Л.А. Шадура. М., «Машиностроение», 1971. – 432 с.
- 3 *Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)*. ГосНИИВ – ВНИИЖТ, Москва, 1996 г.

*Anatoliy V. Donchenko, PhD (Technical Sciences), Senior Research Associate*

*(Director of State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)*

*Sergiy V. Bondarev*

*(Research Laboratory Head, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)*

*Oleksandr M. Bahrov*

*(Senior Researcher, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)*

**EFFECT CAUSED BY A FREIGHT CAR DOUBLE-BOGIE  
ROUNDING SHORT RADIUS CURVES ON A BOGIE SIDE FRAME**

*Effect caused by bogies rounding short radius curves on the strength of freight cars cast side frames is presented in the article. The most dangerous car running mode, in terms of derailment is rounding of the short radius curves. Researches on determination of the maximum stresses at load diagrams corresponding to operational ones were performed. Research results reveal that stresses increase for 16% in the internal angle of the pedestal jaw opening and in case of side frames restraint for 25% during rounding the short radius curves. These data coincide with results obtained during running tests of the cars. Therefore to reduce the probability of side frames breakage with a box section of the cantilever part it is necessary to decrease impact of bending and twisting moments in sector R55 of the internal angle of the pedestal jaw opening arising during rounding short radius curves and side frames restraint.*

*Keywords: cast side frame, side frame of a freight car, cantilever part of the side frame, internal angle of the pedestal jaw opening*

REFERENCES

- 1 *Coupling ability and cars negotiability in short radius curves and on humps*. Edited by Y.A.Hapilov. Publishing company «Transport», 1971, -96 p.
- 2 *Cars strength calculation*. Vershinsky S.V. and others . Edition 2. Edited by L.A. Shadur. M., «Machine Building», 1971. -432 p.
- 3 *Norms of cars calculation and design of Ministry of Transportation Railways with 1520 mm gauge (unpowered)*. GosNIIV- VNIIZhT, Moscow, 1996.

УДК [629.45-592::621.313.12]001.5:001.891.5

*А. В. Донченко к.т.н., с.н.с.*

*(директор ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)*

*Д. В. Федосов-Ніконов*

*(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)*

### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ ДОВГОБАЗНОЇ ПЛАТФОРМИ

*У статті розглянуто питання щодо застосування методів теоретичних і експериментальних досліджень міцності основних несучих елементів конструкції довгобазних платформ. Виконано розрахунок несучих елементів конструкції на втому з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінчених елементів (МСЕ).*

*Ключові слова:* довгобазні платформи, міцність елементів, коефіцієнт запасу опору втомі, розрахункові та експериментальні напруження.

*В статье рассмотрен вопрос о применении методов теоретических и экспериментальных исследований прочности основных несущих элементов конструкции длиннобазных платформ. Выполнен расчет элементов рамы на усталость с использованием вычислительного комплекса, реализующего метод конечных элементов (МКЭ).*

*Ключевые слова:* длиннобазные платформы, прочность элементов, коэффициент запаса сопротивления усталости, расчетные и экспериментальные напряжения.

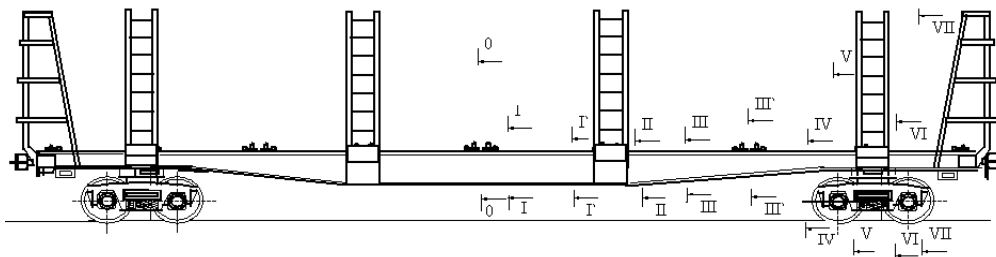
Починаючи з 2003 року, різко зросла кількість контейнерних перевезень і, як наслідок, зріс попит на платформи для перевезення контейнерів. Для задоволення ринкового попиту і зростаючих потреб перевізників, розширення номенклатури своєї продукції та зниження собівартості перевезень виробниками України, Росії та інших країн СНД було розроблено і поставлено на серійне виробництво безліч нових моделей довгобазних вагонів-платформ для перевезення контейнерів різного конструктивного виконання. В процесі експлуатації довгобазних платформ виникли проблеми з міцністю основних несучих елементів конструкції. У багатьох моделях в основних несучих елементах конструкції були виявлені тріщини втомного характеру. Аналіз руйнувань і пошкоджень рам довгобазних платформ свідчить, що причиною цього є недостатня міцність елементів конструкції та динамічні навантаження, зумовлені як нерівностями рейкової колії, так і конструктивними особливостями платформи.

© Донченко А. В., Федосов-Ніконов Д. В., 2016

Проблеми динаміки та міцності рухомого складу розглядалися в роботах В.А. Лазаряна, Є.П. Блохіна, С.В. Мямліна, В.М. Бубнова й інших учених. Однак і сьогодні, під час розробки нових моделей довгобазних платформ різного конструктивного виконання, дослідження міцності елементів довгобазних платформ викликає багато запитань.

Для дослідження міцності несучих елементів довгобазних платформ потрібно застосовувати спеціальні методи як теоретичного, так і експериментального характеру. Один із таких методів дослідження із застосуванням математичної моделі, що адекватно відображає конструкцію і навантаження, які діють на неї, наведений у статті. Під час дослідження міцносних якостей довгобазних платформ особливу увагу потрібно приділяти вибору розрахункової схеми та математичної моделі. Спрощення реальної схеми приведе до невірних результатів. Прагнення більш докладно описати її ускладнить математичну модель і відповідно, вирішення завдання.

Розрахунок елементів рами на втому проводився за дії на платформу максимально допустимих навантажень, для перерізів з високим рівнем напружень (рис. 1).



**Рис. 1. Схема розташування перерізів з максимальними напруженнями на універсальній довгобазній платформі**

Розрахунок виконувався з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінченних елементів (МСЕ) на ПЕОМ стандарту ІВМ-РС, застосовувалася пластинчаста скінченно-елементна модель і скінченні елементи типу SHELL 63. Скінченні елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи в кожному вузлі: переміщення уздовж осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  і повороти навколо цих осей. В якості глобальної системи координат при складанні розрахункової схеми була обрана права, декартова система з центром на поздовжній осі вагона в площині нейтральної осі лобової балки. Вісь « $X$ » системи координат спрямована уздовж поздовжньої осі вагона, вісь « $Y$ » – вертикально вгору. Навантаження власною вагою проводилося шляхом завдання щільності матеріалу моделі, з подальшим прикладенням до кожного вузла розрахункової схеми прискорення  $9,81 \text{ м/с}^2$  уздовж вертикальної осі « $Y$ ». Оцінка втомної міцності проводилася за коефіцієнтом запасу опору втомі за формулою :

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,3}} \geq [n], \quad (1)$$

де:  $\sigma_{a,N}$  – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі і сталому режимі навантаження за базовою кількістю циклів  $N_0 = 10^7$ ;

$\sigma_{a,\varphi}$  – величина амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до базової кількості циклів  $N_0$ , еквівалентна пошкоджуючій дії реального режиму експлуатаційних напружень за розрахунковий термін служби;

[n] – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втомі за обраний термін служби.

Статичні напруги від сили ваги бруто вагона були отримані із застосуванням методу скінченних елементів. Розрахунок проводився для двох варіантів завантаження з найбільшими згинальними моментами (рис. 2 та 3).

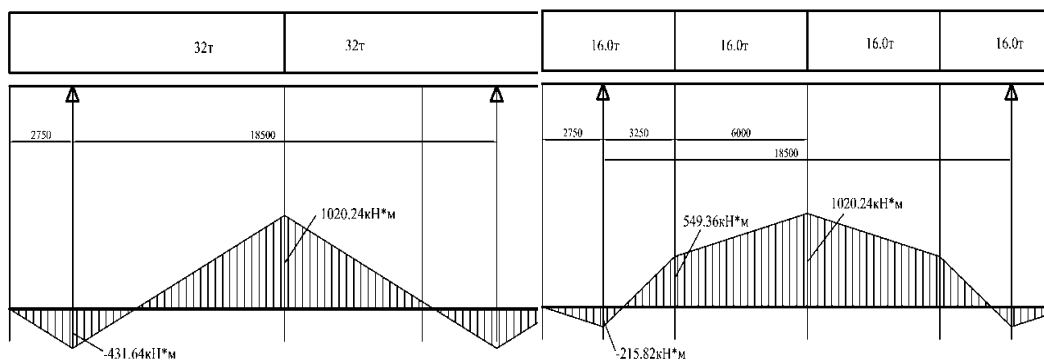


Рис. 2. Два 40-футових контейнери

Рис. 3. Чотири 20-футових контейнери

Напружено деформований стан вагона від дії статичного вертикального навантаження (брутто) наведено на рисунку 4 та 5.

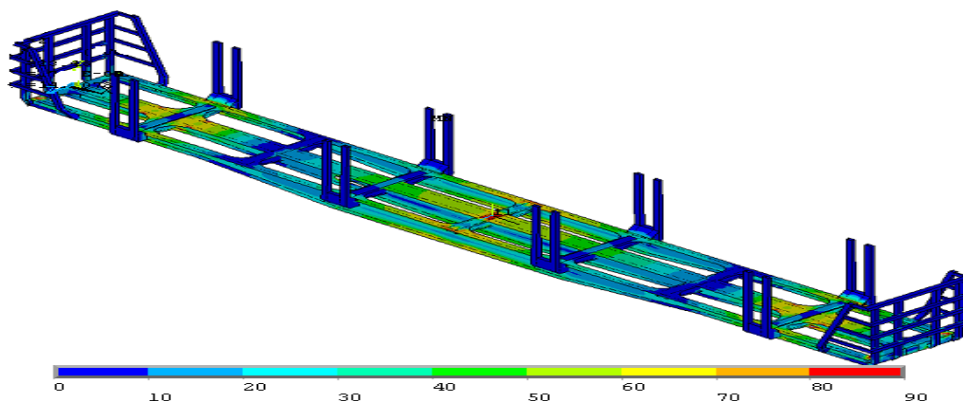
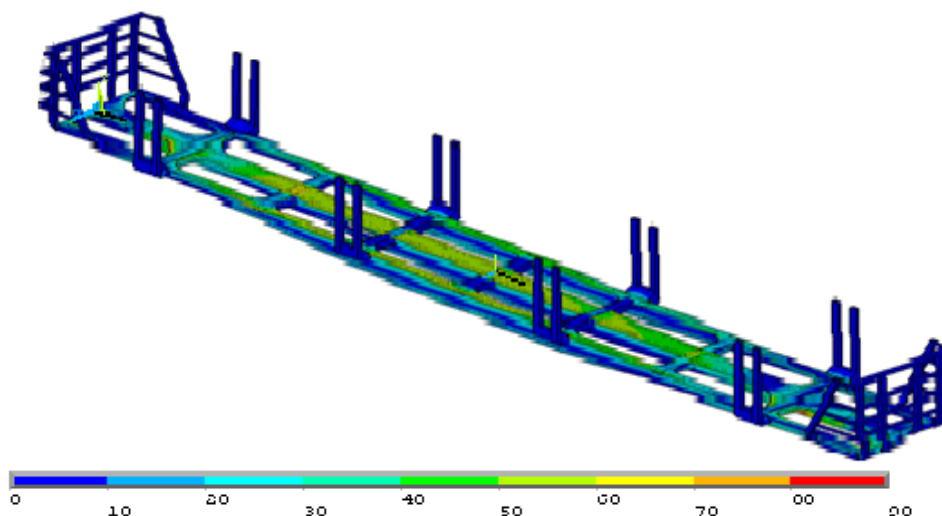


Рис. 4. Напруження від дії статичного вертикального навантаження двох 40-футових контейнерів



**Рис. 5. Напруження від дії статичного вертикального навантаження чотирьох 20-футових контейнерів**

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі у разі завантаження платформи двома 40-футовими контейнерами наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1. Коефіцієнт запасу опору втомі у разі завантаження платформи двома 40-футовими контейнерами**

Елемент	переріз	точка	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	$\sigma_{аN}$	n
Хребтова балка	I-I	т.1	6948	83,2	46,383	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	I-I	т.3	43015	93,4	52,069	4,0	46,455	0,89
Хребтова балка	I-I	т.4	40158	83,4	46,494	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	III-III	т.5	39428	86,8	48,390	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	III-III	т.6	6179	87,4	48,724	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	V-V	т.7	39523	65,4	36,459	3,0	61,940	1,70
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	65,8	36,682	3,0	61,940	1,69
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	10,1	5,631	3,0	61,940	11,00
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	10	5,575	3,0	61,940	11,11
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	58,9	32,836	4,0	46,455	1,41
Шворнева балка	I-I	т.17	10504	29,5	16,446	4,5	41,293	2,51
Шворнева балка	I-I	т.19	22893	28,4	15,833	4,5	41,293	2,61
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	58,9	32,836	4,5	41,293	1,26
Шворнева балка	0I-0I	т.18	43684	29,5	16,446	4,5	41,293	2,51
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	28,5	15,888	4,5	41,293	2,60
Балка бокова	0-0	т.23	23455	98,8	55,079	4,0	46,455	0,84
Балка бокова	0-0	т.24	504	68,8	38,355	4,0	46,455	1,21

Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	93,3	52,013	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	I'-I'	т.28	94116	91,1	50,787	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.30	126001	91,1	50,787	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	93,3	52,013	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	II-II	т.31	59382	111,2	61,992	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	II-II	т.32	26006	111,4	62,104	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	III-III'	т.33'	66644	76,3	42,536	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III-III'	т.35'	52273	2,9	1,617	4,5	41,293	25,54
Балка бокова	III-III'	т.34'	33092	76,1	42,425	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III-III'	т.36'	23918	93,1	51,902	4,5	41,293	0,80
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	69,6	38,801	4,0	46,455	1,20
Балка бокова	V-V	т.35	66121	56,6	31,554	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	V-V	т.36	32578	56,5	31,498	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VII-VII	т.39	58800	0,9	0,502	4,0	46,455	92,59
Балка бокова	VII-VII	т.40	1661	3,5	1,951	4,0	46,455	23,81

Як видно з таблиці 1, коефіцієнт запасу опору втомі елементів рами платформи, завантаженої двома 40-футовими контейнерами, нижче допустимого значення  $[n] = 1,5$ . Це підтверджується результатами стендових випробувань. Руйнування виявлені в двох зонах: в перерізі I-I, в зоні закінчення накладки, і в перерізі III-III хребтової балки на прорізи для горизонтального важеля автогальма. Напружено-деформований стан цих зон для випадку завантаження двома 40-футовими контейнерами показано на рис. 5 і 6. Руйнування у цих зонах, при випробуваннях на опір втомі, показано на рис. 7 і 8.

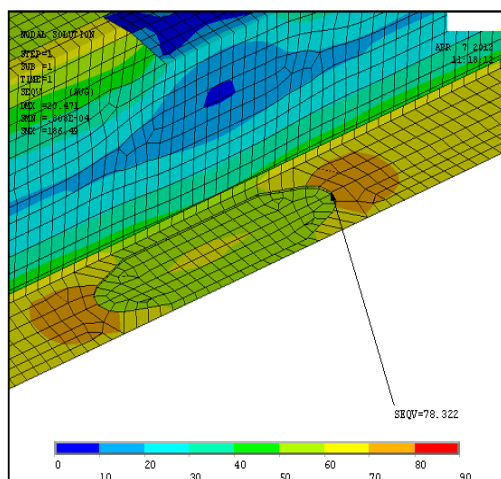


Рис. 5. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки до пропонованого доопрацювання

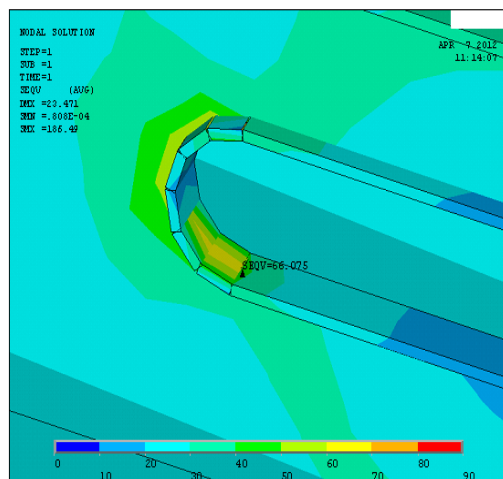


Рис. 6. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до пропонованого доопрацювання



**Рис. 7. Фото руйнування конструкції платформи, при випробуваннях на опір втомі, в зоні шва накладки в центрі бічній балки**



**Рис. 8. Фото руйнування конструкції платформи, при випробуваннях на опір втомі, у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки**

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі у цих зонах представлені в таблиці 2.

**Таблиця 2. Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань у разі завантаження двома 40-футовими контейнерами**

Елемент	переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\overline{k_{\sigma}})_k$	$\sigma_{aN}$	n
Бокова балка	I-I	34553	66,1	27,3	5,0	37,2	1,36
Хребтова балка	III-III	64578	78,3	32,3	5,0	37,2	1,15

Як впливає з табл. 2, значення коефіцієнта запасу опору втомі нижче допустимого  $[n] = 1,5$ . Отже, ці зони потребують посилення. Для зони руйнування в перерізі I-I було запропоновано виключити накладку на нижньому поясі, що дало змогу видалити концентратор біля шва і знизити коефіцієнт концентрації  $(\overline{k_{\sigma}})_k$  з 5,0 до 2,5.

Для зони руйнування по вікну, в перерізі III-III, пропонується перенести стиковий шов підсилюючого обода в зону з більш низькими напруженнями, що дало змогу знизити рівень напруження з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Напружено-деформований стан зазначених зон після конструктивних змін показано на рисунках 9 і 10, а результати розрахунку наведені в табл. 3.

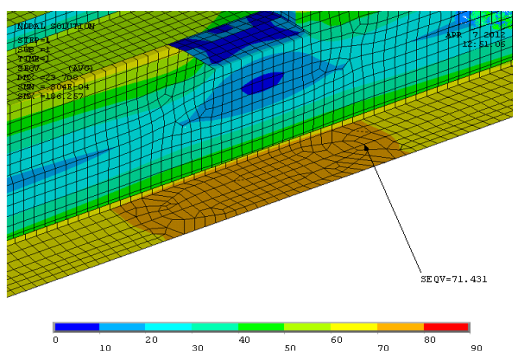


Рис. 9. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки після пропорованого доопрацювання

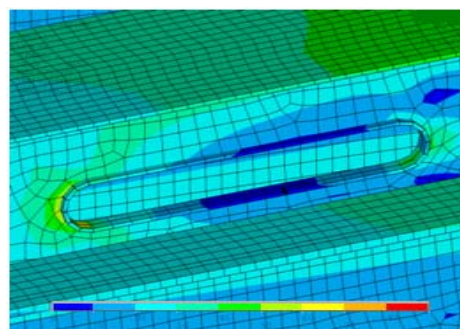


Рис. 10. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки після пропорованого доопрацювання

Таблиця 3. Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань після доопрацювання, для випадку завантаження двома 40-футовими контейнерами

Елемент	переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\bar{k}_\sigma)_k$	$\sigma_{aN}$	n
Бокова балка	I-I	34553	71,4	2,1	2,5	37,2	17,67
Хребтова балка	III-III	64578	5,1	29,5	1,6	116,1	3,94

Як видно з таблиці 3, втомна міцність рами забезпечується на весь термін експлуатації для схем навантаження чотирма 20-ти футовими і двома 40-ка футовими контейнерами.

**Висновок.** Після вдосконалення конструкції рами був проведений розрахунок на відповідність платформи вимогам [1] за I, III і ремонтним режимами навантажень та на співудар. Розрахункові та експериментальні напруження у всіх елементах довгобазного вагона-платформи від усіх експлуатаційних навантажень, згідно з [1], не перевищують допустимих значень. Задовільна збіжність результатів розрахунків і випробувань свідчить про достовірність і правильність проведених розрахунків.

### ЛІТЕРАТУРА

1. «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (не-самоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ. Москва. 1996. Изменения и дополнения».
2. Годыцкий-Цвирко А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог / Годыцкий-Цвирко А.М. – М.: Гострансиздат, 1931. – 214 с.
3. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава / Марье Г. – М.: Госжелдориздат, 1933. – 338 с.
4. Винокуров М.В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов / М.В. Винокуров // Научн. тр. ДИИТ, 1989. – Вып. 12. – 292 с.
5. Лазарян. В.А. Динамика вагонов / Лазарян. В.А. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.

6. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог / Лазарян В.А. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 220 с.
7. Вершинский С.В. Динамика вагона / С.В. Вершинский // Технический справочник железнодорожника. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – Т.6. – С. 651 – 712.
8. Шапошников Н.Н. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость // Н.Н. Шапошников, Н.Д. Тарабасов, В.В. Петров, В.И. Мяченков. – М.: Машиностроение, 1981. – 333 с.
9. Блохин Е.П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
10. Блохин Е.П. О возможности понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущениях, распространяющихся вдоль его длины / Е.П. Блохин, Л.Г. Маслеева // Межвуз сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1978. – Вып. 199/25.– С. 47 – 54.
11. Мямлин С.В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52 – 54.

### METHOD OF THE CALCULATION-EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE LONG-WHEELBASE PLATFORM DESIGN

*The paper considers the question of application of methods of theoretical and experimental studies of the strength of main load-bearing elements of construction long-wheelbase platforms. The questions about the strength of the main load-bearing structural elements in the long wheelbase flatcar and the use of the special methods of theoretical and experimental nature. The calculation of the elements frames fatigue is performed using calculated complex that implements the finite element method (FEM).*

*Keywords: the long-wheelbase flatcar, elements strength, fatigue safety factor, calculated and experimental stress.*

### REFERENCES

1. The norms for calculation and design of railcars on the track width 1520mm (unpowered). GosNII VNIIZHT. Moscow /1996. Amendments and additions.
2. Godytskiy-Tsvirko A.M. Interoperability of the railway and a rolling stock. / Godytskiy-Tsvirko A.M.- M.: Gostansizdat, 1931.-214p.
3. Mar'ye G. Interoperability of the railway track and a rolling stock./ Mar'ye G.- M.: Goszhelezdorizdat,1933.- 338p.
4. Vinokurov M.V. The research of waves and stability of the railcars./ M.V. Vinokurov// Scientif. Res. DIIT,1989 – issue 12-292p.
5. Lasaryan V.A. The railcars dynamic./ Lasaryan V.A.- Transport,1964 – 256p.
6. Lasaryan V.A. – The usage of the mathematical machines of continuous operation in problems solution of the rolling stock dynamic on the railway lines/ Lasaryan V.A. – M.: Transzhelezdorogizdat,1962. – 220p.
7. Vershinskiy C.V. The railcar dynamic./ C.V. Vershinskiy// The technical guide of a railman.- M. Transzheldorizdat, 195 T6 – pp 651-712.
8. Shaposhnikov N.N. The strength and rigidity calculation of machine building construction./ N.N.Shaposhnikov , N.D.Tarabasov, V.V. Petrov, V.I. Myachenkov – M.: Mashinostroenie, 1981 -333p.
9. Blochin E.P. The railcar dynamic (non-steady extension vibration). / E.P Blochin, L.A. Manashkin.- M.: Transport, 1982 – 222p.
10. Blochin E.P The reducing possibility of differential equations order system in railcar running during the perturbation along its length/ E.P Blochin, L.G. Masleeva // Dnepropetrovsk: DIIT, 1978 – issue 199/25 – pp. 47-54
11. Myamlin C.V. The spatial vibration modeling program of a rolling stock./ C.V. Myamlin// Zaliznychniy transport Ukraine.- 2000- №3- pp.52-54.

УДК 006.06:311.108

*Кульбовський І. І., к.т.н., доцент*

*(доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

*Агарков О. В., к.т.н., доцент*

*(доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

*Кияшко В. Т., к.т.н., доцент*

*(доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

## **ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ КВАЛІФІКАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ З НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ**

*Розглянуто критерії кваліфікації персоналу з неруйнівного контролю. Наведено основні вимоги до кожного рівня кваліфікації працівників. Розглянуто права та обов'язки атестаційних центрів.*

*Ключові слова: неруйнівний контроль, сертифікація, персонал, стандарт, міжнародний стандарт, атестація.*

*Рассмотрены критерии квалификации персонала по неразрушающему контролю. Приведены основные требования к каждому уровню квалификации работников. Рассмотрены права и обязанности аттестационных центров.*

*Ключевые слова: неразрушающий контроль, сертификация, персонал, стандарт, международный стандарт, аттестация.*

Неруйнівний контроль (НК) представляє собою контроль властивостей та параметрів об'єкта, що не впливає на придатність його до подальшої експлуатації. Згідно з [1] це контроль якості продукції, за якого не повинна бути порушена придатність щодо застосування із повним збереженням закладених із самого початку функцій.

Неруйнівний контроль важливий при створенні та експлуатації життєво важливих конструкцій та об'єктів. Для виявлення різних дефектів використовуються різні методи НК, такі як рентгенівські промені, на знімках з використанням яких добре видно дефекти (тріщини, непровари, шлакові чи газові включення, раковини, тріщини). Ультразвукова дефектоскопія [2], що широко використовується в машинобудуванні, зокрема на залізницях, також є методом НК.

Для якісного виконання НК необхідним є наявність кваліфікованого персоналу, перевірку професійної придатності якого має забезпечувати незалежний від виробників продукції орган.

© *Кульбовський І. І., Агарков О. В., Кияшко В. Т., 2016*

Система кваліфікації і сертифікації персоналу, що виконує неруйнівний контроль промислової продукції визначається [3]. Термін «промислова продукція» не поширюється на продукцію медичної галузі виробництва. Орган із сертифікації персоналу в галузі неруйнівного контролю (НК) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки – суб'єкт господарювання або його структурний підрозділ, який отримав призначення на виконання робіт з оцінки відповідності фахівців галузі НК та який у своїй діяльності керується вимогами [4, 5].

Уповноважений орган повинен:

- працювати під контролем органу з сертифікації;
- мати засоби, необхідні для проведення екзаменів через екзаменаційні центри, враховуючи калібрування і перевірку устаткування;
- готувати проведення і спостерігати за ходом екзаменів, відповідальність за які несе екзаменатор, уповноважений органом із сертифікації;
- бути незалежним у визначеній галузі діяльності;
- застосовувати документовану систему управління якістю, затверджену органом із сертифікації;
- мати засоби і досвід, які необхідні для створення екзаменаційних центрів;
- гарантувати, щоб зразки для екзаменів не використовували для цілей підготовки.

У разі, якщо діяльність уповноваженого органу поширюється на який-небудь певний сектор, цей уповноважений орган повинен охоплювати більше ніж одне підприємство, що працює у даному секторі.

Якщо немає вповноважених органів, вимоги, що висувають до вповноваженого органу, повинен виконувати орган із сертифікації.

Атестаційний (екзаменаційний) центр з неруйнівного контролю (АЦНК) – суб'єкт господарювання або його структурний підрозділ, який не залежить від роботодавців, у яких працюють фахівці, що атестуються, визнаний органом із сертифікації персоналу і який здійснює проведення кваліфікаційного екзамену повинен:

- працювати під контролем органу із сертифікації чи вповноваженого органу;
- застосовувати документовані процедури системи якості, затверджені органом із сертифікації;
- мати засоби, необхідні для проведення екзаменів, враховуючи калібрування і перевірку устаткування;
- готувати і провадити екзамени, відповідальність за які несе екзаменатор, призначений органом із сертифікації;
- гарантувати, щоб зразки для екзаменів не використовували для цілей підготовки.

Орган із сертифікації повинен:

- упроваджувати, просувати, підтримувати і керувати системою сертифікації відповідно до положень стандарту;
- може передавати повноваження щодо конкретного здійснення процедури сертифікації під свою пряму відповідальність уповноваженим органам, які повинні представляти виробничі сектори;
- затверджувати безпосередньо атестаційні центри, відповідним чином забезпечені персоналом і устаткуванням, і періодично їх контролювати;
- установлювати відповідну систему заповнювання протоколів, які потрібно зберігати не менше від одного сертифікаційного циклу (10 років);

- нести відповідальність за видачу всіх сертифікатів, але може передати повноваженням органам свої повноваження на видачу сертифікатів I і 2-го рівнів;
- нести відповідальність за визначення секторів;
- відповідно до документованої процедури здійснювати контроль за всіма переданими функціями.

Атестаційний(екзаменаційний) центр може бути розміщено на виробничих площах працедавця. При цьому екзамени потрібно провадити тільки у присутності і тільки під безпосереднім контролем уповноваженого представника органу із сертифікації. Атестаційний центр повинен:

- мати відповідний кваліфікований персонал, приміщення й устаткування для забезпечення належного проведення кваліфікаційних екзаменів стосовно рівнів кваліфікації, методів і секторів;
- використовувати тільки ті документи і екзаменаційні питальники, які розробив і затвердив орган із сертифікації;
- для практичних екзаменів, що провадить цей центр, використовувати тільки ті екзаменаційні зразки, що підготував чи затвердив орган із сертифікації;
- заповнювати і зберігати відповідну кваліфікаційну й екзаменаційну документацію відповідно до вимог органу із сертифікації.

Працедавець повинен представити кандидата в орган із сертифікації чи в уповноважені органи і підтвердити документами справжність наданих відомостей про кандидата, ураховуючи дані про освіту, підготовку і стаж, необхідні для допуску кандидата до екзаменів. Проте працедавця не можна безпосередньо залучати до процедури кваліфікаційного екзамену.

Щодо кандидатів на сертифікацію, то працедавець несе відповідальність за:

- а) видачу виробничої характеристики;
- б) підтвердження гостроти зору;
- в) підтвердження безперервності стажу за визначеним методом неруйнівного контролю без значної перерви у роботі.

Якщо кандидат є приватним підприємцем, то він повинен брати на себе всю відповідальність, що приписана працедавцеві.

Відповідно до стандарту атестованому фахівцеві присвоюють один із трьох рівнів залежно від його кваліфікації.

Фахівець, сертифікований на I рівень кваліфікації, компетентний виконувати НК за письмовими інструкціями та під наглядом фахівців II або III рівня кваліфікації. У межах компетентності, зазначеної у сертифікаті, фахівець I рівня кваліфікації має право:

- налаштовувати апаратуру НК;
- виконувати НК;
- фіксувати, обробляти і класифікувати результати НК на основі встановлених критеріїв;
- заносити результати НК до протоколу.

Фахівець I рівня кваліфікації повинен знати:

- термінологію та загальні поняття методу НК;
- фізичні основи методу НК та пов'язані з ним теоретичні знання;
- загальні знання властивостей машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки (метал та зварні з'єднання, машини, механізми, устаткування та їх елементи тощо), можливостей методу НК та особливості технології НК;
- обладнання, що використовується для проведення НК у цьому методі.

Фахівець I рівня кваліфікації повинен уміти:

- здійснювати налаштування апаратури та виконувати НК машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки за детальною інструкцією з НК та під наглядом фахівців II або III рівня кваліфікації;

- на підставі письмово сформульованих критеріїв проводити інтерпретацію результатів НК (розшифровку індикацій, R-плівок тощо) та класифікацію виявлених несучільностей;

- складати звіт за результатом НК.

Фахівець I рівня кваліфікації не відповідає за:

- вибір методу НК або його спосіб, що використовуватиметься;

- оцінку результатів НК.

Фахівець, сертифікований на II рівень кваліфікації:

- компетентний виконувати НК відповідно до встановлених чи прийнятих процедур;

- відповідає за результати НК, технічні засоби та фахівців з НК, що йому підпорядковуються.

У межах компетенції, зазначеної у сертифікаті, фахівець II рівня кваліфікації має право:

- обирати методіку для методу НК, який використовуватиметься;

- визначати обмеження у застосуванні методу НК;

- інтерпретувати вимоги стандартів стосовно НК і специфікації в інструкціях з НК;

- налагоджувати і перевіряти налагодження апаратури;

- виконувати і здійснювати нагляд за НК;

- оцінювати результати НК відповідно до вимог стандартів, правил чи специфікацій;

- готувати інструкції з НК;

- виконувати і здійснювати нагляд за всіма завданнями, передбаченими для фахівців I та II рівнів кваліфікації;

- керувати фахівцями II рівня кваліфікації і нижче;

- складати та оформляти протоколи за результатами НК;

- складати та підписувати остаточний висновок про результати НК.

Фахівець II рівня кваліфікації повинен знати:

- загальну термінологію з НК та загальні поняття методу НК;

- фізичні основи методу НК та пов'язані з ним теоретичні знання;

- детальні знання властивостей машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки (конструктивні особливості, технології виготовлення, умови експлуатації) та її характерні недоліки, можливості та обмеження методу НК для контролю якості машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки, особливості технології НК;

- обладнання, що використовується для проведення НК у цьому методі;

- загальні питання та спеціальні знання, визначені для фахівців I рівня кваліфікації.

Фахівець II рівня кваліфікації повинен вміти:

- здійснювати вибір методіки НК, проводити налагодження апаратури та виконувати НК машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки;

- контролювати роботу фахівця I рівня кваліфікації;

- на підставі встановлених стандартів, правил або специфікацій проводити інтерпретацію результатів НК (розшифровку індикацій, R-плівок тощо) та класифікацію виявлених несутцільностей;

- складати звіт за результатом НК та проводити оцінку якості машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки;

- на підставі встановлених стандартів, правил або специфікацій складати інструкції з НК;

- здійснювати нагляд за роботою або керувати фахівцями I та II рівнів кваліфікації.

Фахівець, сертифікований на III рівень кваліфікації:

- компетентний виконувати і керувати операціями з того методу НК, з якого він сертифікований;

- відповідає за результати НК, технічні засоби та фахівців з НК, що йому підпорядковуються.

У межах компетенції, зазначеної у сертифікаті, фахівець III рівня кваліфікації має право:

- розробляти та перевіряти правильність інструкцій з НК та їх методик;

- інтерпретувати стандарти, норми, специфікації та процедури з НК;

- призначати конкретні методи НК, методики НК і інструкції з НК, які мають використовуватися;

- виконувати всі обов'язки фахівців I та II рівнів кваліфікації, а також здійснювати нагляд за їх виконанням;

- забезпечувати керівництво фахівцями з НК всіх рівнів кваліфікації;

- складати та підписувати остаточний висновок про результати НК.

Фахівець III рівня кваліфікації повинен знати:

- загальні питання, фізичні основи та спеціальні знання з методу НК у межах компетенції фахівців II рівня кваліфікації;

- історію розвитку, сучасний стан та інноваційну техніку і технологію з даного методу НК;

- теоретичні та спеціальні знання з інших методів НК;

- правила, процедури сертифікації фахівців з НК;

- загальні питання та спеціальні знання, визначені для фахівців I та II рівнів кваліфікації.

Фахівець III рівня кваліфікації повинен вміти:

- здійснювати вибір методики НК, проводити налагодження апаратури та виконувати НК машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки;

- контролювати роботу фахівців I та II рівнів кваліфікації: здійснювати перевірку налагодження апаратури та нагляд за проведенням НК машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки;

- на підставі встановлених стандартів, правил або специфікацій проводити інтерпретацію результатів НК (розшифровку індикацій, R-плівок тощо), класифікацію виявлених несутцільностей та визначати критерії їх приймання;

- складати звіт за результатом НК, проводити інтерпретацію результатів НК та оцінку якості машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки;

- здійснювати інтерпретацію встановлених стандартів, правил або специфікацій, та на їх основі складати інструкції з НК або розробляти методики НК;

- забезпечувати керівництво фахівцями з НК всіх рівнів та нагляд за технічними засобами з НК.

Фахівець, сертифікований на I, II, III рівні кваліфікації з RT-методу НК, також повинен:

- знати норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки, включаючи Вимоги та умови безпеки (ліцензійні умови) під час провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання у радіоізотопній дефектоскопії, затверджені наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 21 вересня 2010 року за № 121, зареєстровані у Міністерстві юстиції України 20 жовтня 2010 року за № 950/18245;

- розуміти властивості іонізуючого випромінювання та його характеристики;
- знати правила, вимоги і методики ремонту і налаштування приладів з джерелами іонізуючого випромінювання, вміти перевіряти придатність приміщення/майданчика для розміщення джерела іонізуючого випромінювання, проведення інших радіометричних вимірювань, необхідних для контролю

Строк дії сертифіката та кваліфікаційного посвідчення фахівців з НК I та II рівнів кваліфікації – 3 роки, III рівня кваліфікації – 5 років.

Сертифікат та кваліфікаційне посвідчення анулюються у випадках:

- закінчення терміну дії;
- перерви у роботі в галузі НК більше 12 місяців;
- особа за станом здоров'я не може виконувати свої професійні обов'язки, що підтверджується відповідною медичною довідкою;
- негативного результату інспекційного нагляду за виробничою діяльністю сертифікованого фахівця з НК (для фахівців з НК I та II рівнів кваліфікації).

Питання щодо анулювання сертифіката та кваліфікаційного посвідчення фахівця з НК є виключною компетенцією органу з сертифікації персоналу.

Отже, проаналізувавши наведені рекомендації та вимоги, можна зробити висновки, що персонал зайнятий неруйнівним контролем на виробництві повинен володіти як теоретичними так і практичними знаннями, що підтверджуються шляхом екзаменаційної перевірки під час процедури атестації і сертифікації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення.
2. Білокур І.П. Основи дефектоскопії: Підручник. – К.: Азимут – Україна, 2004 – 497 с.
3. ДСТУ EN 473:2012. Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу з неруйнівного контролю.
4. ДСТУ EN ISO/IEC 17024:2014. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до органів, що проводять сертифікацію персоналу.
5. ISO 9712:2012. Кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі неруйнівного контролю. Основні вимоги.

***Ivan I. Kulbovskiy, PhD (Technical Sciences)***

***(Associate Professor, Building Structures and Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)***

***Oleksandr V. Agarkov, PhD (Technical Sciences)***

***(Associate Professor, Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

***Volodymyr T. Kuyashko, PhD (Technical Sciences)***

*(Associate Professor, Building Structures and Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)*

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF MEASURING LABORATORY  
STAFF QUALIFICATIONS**

*Non-Destructive Testing (NDT) is a control object properties and parameters that do not affect its suitability for further use.*

*For proper implementation of NDT is necessary availability of qualified personnel, verification of professional competence which should provide producers independent organization.*

*The paper considered the criteria of qualification of NDT personnel. The basic requirements for each level skills. Consider the rights and duties of certifying centers.*

**Keywords:** *non-destructive testing, certification, staff, standard, an international standard, certification.*

**REFERENCES**

1. DSTU 2865-94. Kontrol neruinivnyi. Terminy ta vyznachennia.
2. Bilokur I.P. Osnovy defektoskopii: Pidruchnyk. – K.: Azymut – Ukraina, 2004 – 497 s.
3. DSTU EN 473:2012. Neruinivnyi kontrol. Kvalifikatsiia ta sertyfikatsiia personalu z neruinivnoho kontroliu.
4. DSTU EN ISO/IEC 17024:2014. Otsinka vidpovidnosti. Zahalni vymohy do orhaniv, shcho provodiut sertyfikatsiiu personalu.
5. ISO 9712:2012 «Kvalifikatsiia i sertyfikatsiia personalu v haluzi neruinivnoho kontroliu. Osnovni vymohy.

УДК 656.13:004.896:004.891.3

*О. Л. Петрашевський, д.т.н., професор  
(професор кафедри «Аеропорти» Національного транспортного  
університету, м. Київ)*

*В. І. Данилевський, к.т.н.  
(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного  
економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*О. В. Алексєєнко  
(старший викладач кафедри «Аеропорти» Національний транспо-  
ртний університет, м. Київ)*

*В. В. Данилевський  
(здобувач кафедри «Аеропорти» Національний транспортний уні-  
верситет, м. Київ)*

## **ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ТА ПОБУДОВА ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКИХ КРИТЕРІЇВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОНАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ ПРОЕКТІВ**

*Математичний апарат теорії нечіткої логіки, що використовує нечіткі моделі систем (алгоритмів, інтегралів), на даний момент, вже представлений у вигляді програмного продукту. Разом з тим, використання готових програм не прибирає вимогу більш докладного викладу методики роботи з нечіткими моделями систем. В теорії нечіткої логіки нечіткі моделі займають верхню ступінь ієрархії понять і найбільш адекватно відображають реальні системи управління, з якими мають справу дослідники.*

*Ключові слова: нечітка логіка, нечіткі множини, нечітка функція, функція належності, експертна система з нечіткими висновками*

*Математический аппарат теории нечеткой логики, которая использует нечеткие модели систем (алгоритмов, интегралов), на данный момент, уже представлен в виде программного продукта. Вместе с тем, использование готовых программ не убирает требование более подробного изложения методики работы с нечеткими моделями систем. В теории нечеткой логики нечеткие модели занимают верхнюю степень иерархии понятий и наиболее адекватно отображают реальные системы управления, с которыми имеют дело исследователи.*

*Ключевые слова: нечеткая логика, нечеткие множества, нечеткая функция, функция принадлежности, экспертная система с нечеткими выводами.*

**Постановка проблеми.** В рамках теорії нечіткої логіки доцільно сформувати ієрархічну послідовність ключових категорій, які з різним ступенем адекватності відображають логіку застосування понять ТНЛ у процесі обробки нечітких

© *Петрашевський О. Л., Данилевський В. І., Алексєєнко О. В., Данилевський В. В., 2016*

даних і моделювання нечітких чисел і систем в умовах невизначеності. Як варіант даного висновку представимо таку послідовність у вигляді семантичного ряду: нечіткі множини (НМ) → нечіткі відносини (НВ) → нечіткі змінні (НЗ) → нечіткі числа (НЧ) → нечіткі лінгвістичні змінні (НЛЗ) → нечіткі висловлювання (НВ) → нечіткі моделі систем (НМС) [нечіткі моделі процесів (НМП), нечіткі алгоритми (НА), нечіткі інтегралі (НІ)].

Ключовою категорією є поняття нечіткої множини, яке бере участь у формуванні визначень для всіх наступних категорій, з яких тільки дві втілені в методи розв'язання задач з невизначеностями, в першу чергу, з інформаційними, шляхом обробки нечітких даних і моделювання в умовах невизначеності. Виходячи зі сказаного, доцільно навести наступне визначення НМ [1].

Визначення 1. Нечітка множина  $A$  універсальної множини  $E$  є множинами впорядкованих пар  $A = \{\mu_A(x)/x\}$ , де  $\mu_A(x)$  – функція належності, набираюча значень у деякій цілком упорядкованій множині  $M$ .

Для більш повного розуміння сенсу поняття НМ додатково наведемо наступне [3]. Нечітка множина характеризує модельоване нечітке поняття і представляється у вигляді функції належності, яка задає для кожного значення  $x$  ступінь впевненості (можливості) в належності його до деякого класу значень, яка вимірюється в деякій шкалі оцінок. Звернемо особливу увагу на термін «можливість» звідки пішло друге найменування теорії нечіткої логіки – теорія можливості [3]. Весь ряд нечітких категорій базується на основних поняттях і характеристиках НМ таких, як [1]:

$E$  – універсальна множина (універсум), графічно зазвичай представляється на осі  $X$ ;

$x$  – елемент  $E$ ,  $x \in E$  (або область міркувань);

$R$  – деяка властивість (зазвичай приймає вид відносини);

$A$  – нечітка множина, підмножина універсуму;

$M$  – упорядкована множина, графічно зазвичай представляється на осі  $Y$  і межі його, як правило,  $M = [0,1]$ ;

$\mu_A(x)$  – функція належності, приймаюча значення на множині  $M$ , тому  $M$  ще називають – множина належності.

Значення  $\mu_A(x) = 0$  означає відсутність належності значення  $x$  до множини  $A$ ,  $\mu_A(x) = 1$  – повну належність. Таким чином, НМ є множиною впорядкованих пар. Графічно являє собою графік кривої для завдання функції належності. При роботі з НМ (моделюванні) виконується значна кількість обчислювальних операцій з лінгвістичними змінними, тому, для зручності, бажано працювати з  $\mu_A(x)$  стандартної форми, яка поряд з графічною реалізацією володіє і аналітичною формою запису. Найчастіше застосовуються три типові форми  $\mu_A(x)$ : трикутна, трапецеїдальна і гаусова функція належності [3]. Наявність ФН дає наступні характеристики нечітким множинам:

- висотою НМ  $A$  називається величина  $\sup_{x \in E} \mu(x) = H_A$ ;

- при  $H_A = 1$  нечітка множина  $A$  нормальна, якщо  $H_A < 1$ , то НМ називається субнормальним;

- НМ порожньо, якщо  $\forall x \in E \mu_A(x) = 0$ ;

- нечітка множина унімодальна, якщо  $\mu_A(x) = 1$ , тільки для одного  $x$ ;

- звичайна множина  $N$  з властивостями  $\mu_A(x) > 0$ , називається носієм НМ  $A$ , тобто  $\forall x \in E \{x/\mu_A(x) > 0\}$ ;

- точкою переходу НМ є точка для якої  $\forall x \in E \mu_A(x) = 0,5$ .

Нечіткі множини в процесі роботи з ними підлягають наступним операціям (A і B) нечіткі множини на універсумі E) [5]:

- включення, A міститься в B –  $A \subset B$ , якщо  $\forall x \in E \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ;

- рівність, A і B рівні –  $A = B$ , якщо  $\forall x \in E \mu_A(x) = \mu_B(x)$ ;

- доповнення, при  $M = [0,1]$  A і B доповнюють один одного –  $B = \bar{A}$  або  $A = \bar{B}$ , якщо  $\forall x \in E \mu_A(x) = 1 - \mu_B(x)$ ;

- перетин,  $A \cap B$  – найбільша нечітка підмножина, що міститься одночасно в A і B, при цьому  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ ;

- об'єднання,  $A \cup B$  – найменша нечітка підмножина, що включає як A, так і B, при цьому  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ ;

- рівність,  $A - B = A \cap \bar{B}$ , при цьому ФН дорівнює  $\mu_{A-B}(x) = \mu_A \cap \bar{B}(x) = \min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x))$ ;

- диз'юнктивна сума,  $A \oplus B = (A - B) \cup (B - A) = (A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)$ , при цьому  $\mu_{A \oplus B}(x) = \max\{\min\{\mu_A(x), 1 - \mu_B(x)\}; \min\{1 - \mu_A(x), \mu_B(x)\}\}$ .

До нечітких множин, наприклад A і B, застосовні алгебраїчні операції:

- вираз,  $A \cdot B$  і  $\forall x \in E \mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x)$ ;

- суми,  $A \tilde{+} B$ , при цьому  $\forall x \in E \mu_{A \tilde{+} B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x)$ ;

- зведення в степінь  $\alpha$  НМ A, де  $\alpha$  – позитивне число, при цьому  $A^\alpha$  визначається ФН  $\mu_{A^\alpha} = \mu_A^{\alpha*}(x)$ . Окремими випадками зведення в степінь є:

$CON(A) = A^2$  – операція концентрування, } використовується при роботі з  
 $DIL(A) = A^{0,5}$  – операція розтягування; } лінгвістичними змінними

- множення на позитивне число  $\alpha$ , то НМ  $\alpha A$  має ФН  $\mu_{\alpha A}(x) = \alpha \mu_A(x)$ ;

- декартовий вираз нечітких множин, нехай  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – НМ універсальних множин  $E_1, E_2, \dots, E_n$  відповідно. Декартовий вираз

$A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  є НМ множини  $E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$  з функцією належності  $\mu_A(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min\{\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\}$ ;

- чітка множина  $\alpha$ -рівня (або рівня  $\alpha$ ), множиною  $\alpha$ -рівня НМ A універсальної множини E називається чітка підмножина  $A_\alpha$  універсуму E, яка визначається у вигляді:  $A_\alpha = \{x / \mu_A(x) \geq \alpha\}$ , де  $\alpha \leq 1$ .

Наступною категорією нечіткості (невизначеності) є нечітке відношення, яке відіграє істотну роль при роботі з завданнями шляхом застосування НЛ. Нехай множина  $E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$  – прямий вираз універсальних множин і M – деяка множина належності (типу  $M = [0,1]$ ). Нечітке n-арне відношення визначається як нечітка множина R на E, що приймає свої значення в M.

При  $n = 2$  НВ R між множинами  $X = E_1$  і  $Y = E_2$  буде називатися нечітка функція  $R: (X, Y) \rightarrow [0,1]$ , яка ставить у відповідність кожній парі елементів  $(x, y) \in X \times Y$ , величину  $\mu_R(x, y) \in [0,1]$ , при цьому НВ на  $X \times Y$  запишеться так:  $x \in X, y \in Y: xRy$ . Якщо  $X = Y$  НВ  $R: X \times X \rightarrow [0,1]$  називається нечітким відношенням на множині X.

Найбільш характерним НВ є ставлення  $x \gg y$  (x багато більше y). Це нечітке відношення задається ФН виду:

$$\mu_R(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq y \\ 1 \\ 1 + \frac{1}{(x-y)^2}, & \text{якщо } y < x \end{cases}$$

Нечітке відношення  $R$ , для якого  $\mu_R(x, y) = e^{-k(x-y)^2}$ , при досить великих  $k$  можна інтерпретувати так: « $x$  і  $y$  близькі один до одного числа». Операції, вироблені з двома НВ  $R_1$  і  $R_2$  практично ті ж, що і операції, які застосовуються до НМ (об'єднання, перетин, алгебраїчний вираз, сума, доповнення, диз'юнктна сума, композиція і декомпозиція,  $\alpha$ -рівень НВ  $R$  та інші). При описі організаційно-технічних об'єктів, явищ, суб'єктів які виконуються природною (декларативною) мовою, використовуються поняття нечіткої і лінгвістичної змінних. Нечітка змінна описується кортежем  $\langle \alpha, X, A \rangle$ , де  $\alpha$  – назва НЗ,  $X$  універсальна множина (область визначення  $\alpha$ ),  $A$  – НМ на  $X$ , що описує обмеження –  $\mu_A(x)$  на значення НЗ  $\alpha$ .

Окремим варіантом нечітких змінних є нечіткі числа. Нечіткі числа – НЗ, визначені на числовій осі, тобто нечітке число визначається як НМ  $A$  на множині дійсних чисел  $R$  з функцією належності  $\mu_A(x) \in [0,1]$ , де  $x$  – дійсне число –  $x \in R$ . Нечіткі числа досить часто використовують для обліку невизначеностей при прогнозних розрахунках комерційних проектів. На сьогоднішній день розрахунки з НЧ можна проводити при використанні програмних продуктів FC (Fuzzy Calculator) v.2.1 і FE (Fuzzy for Excel) v.10 [4].

Лінгвістичною змінною називається набір  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де:

$\beta$  – найменування лінгвістичної змінної;

$T$  – множина значень  $\beta$  (терм-множина) – найменування НЗ, областю визначення кожної з яких є множина  $X$ . Множина  $T$  називається базовою терм-множиною НЛЗ;

$G$  – синтаксична процедура, що дозволяє оперувати елементами терм-множини  $T$ , зокрема, генерувати нові терми (значення) за допомогою нечітких зв'язок і модифікаторів «і», «або», «не», «дуже», «злегка» і виконувати операції над НМ виду:  $A \cap B, A \cup B, \bar{A}, \text{CONA} = A^2, \text{DILA} = A^{0.5}$  та ін.

Значення НЛЗ можуть бути визначені у вигляді нечітких чисел, множина  $T \cup G(T)$ , де  $G(T)$  – множина згенерованих термінів, називається розширювальною терм-множиною НЛЗ;

$M$  – семантична процедура, що дозволяє перетворити кожне нове значення НЛЗ, утворене процедурою  $G$ , в нечітку змінну, тобто сформувати відповідну НМ.

Перейдемо до наступної категорії ряду 3.1 – нечітким висловлюванням [ ]. Нечіткий вислів це вислів  $\langle \beta \in \beta \text{ '}' \rangle$  (вид 1), де  $\beta$  – найменування НЛЗ,  $\beta'$  – її значення, якому відповідає НМ на універсальній множині  $X$ . Часто значення НВ приймає семантичний вигляд у терм-множини:  $T = \{\text{«маленьке»}, \text{«середнє»}, \text{«велике»}\}$ . Нечітким є висловлювання  $\langle \beta \in m\beta \text{ '}' \rangle$  (вид 2), де  $m$  – модифікатор, якому відповідають слова: «дуже», «більш-менш», «багато більше» та ін. Складові НВ утворюються з висловлювань видів 1 і 2 та спілок «І», «АБО», «ЯКЩО ..., ТО ...», «ЯКЩО ..., ТО ..., ІНАКШЕ». Якщо НВ на множині значень фіксованої лінгвістичної змінної, то значення НЛЗ відповідає нечітким множинам однієї і тієї ж універсальної множини  $X$ , що дозволяє ототожнювати модифікатори «дуже» або «не» з операціями «CON» і «додаток», а сполучники «І», «АБО» з операціями «перетин» і «об'єднання» над НМ.

Припустимо маємо дві НЛП  $\langle \beta, T\alpha, X, G\alpha, M\alpha \rangle$  і  $\langle \beta, T\beta, X, G\beta, M\beta \rangle$  (вид 3), і висловлювань  $\langle \alpha \in \alpha \text{ '}' \rangle$ ,  $\langle \beta \in \beta \text{ '}' \rangle$  відповідають НМ  $A$  і  $B$  задані на  $X$  і  $Y$ . Складові НВ виду 3, що зв'язують значення НЛП  $\alpha$  і  $\beta$ , можна навести до НВ виду 1. Ввівши лінгвістичну змінну  $(\alpha, \beta)$ , значенням якої будуть відповідати НМ на  $X \times Y$ . Нечіткі множини, відповідні складовим висловлювань  $\langle \alpha \in \alpha \text{ '}' \text{ І } \beta \in \beta \text{ '}' \rangle$  і  $\langle \alpha \in \alpha \text{ '}' \text{ АБО } \beta \in \beta \text{ '}' \rangle$ ,

визначаються за правилами перетворення до виду 1, при умові не взаємодії змінних, тобто множини  $X$  і  $Y$  такі, що їх елементи не пов'язані будь-якою функціональною залежністю. Правила перетворення НВ складаються з:

- кон'юнктивної форми –  $\langle \alpha \in \alpha' \text{ і } \beta \in \beta' \rangle \Rightarrow \langle (\alpha, \beta) \in (\alpha' \cap \beta') \rangle$ , де  $\Rightarrow$  – знак підстановки;

- диз'юнктивної форми –  $\langle \alpha \in \alpha' \text{ і } \beta \in \beta' \rangle \Rightarrow \langle (\alpha, \beta) \in (\alpha' \cup \beta') \rangle$ ;

- імплікативної форми –  $\langle \text{якщо } \alpha \in \alpha', \text{ то } \beta \in \beta' \rangle \Rightarrow \langle (\alpha, \beta) \in (\alpha' \rightarrow \beta') \rangle$ , де значення  $(\alpha' \rightarrow \beta')$  НЛЗ  $(\alpha, \beta)$  відповідає нечіткому відношенню  $XY$  на  $X \times Y$ . Функція належності  $\mu_R(x, y)$  залежить від обраного способу завдання нечіткої імплікації.

Таким чином, з послідовності (1) поки не розглянуті нечіткі моделі систем. У ТНЛ нечіткі моделі найбільш адекватно відображають реальні системи управління, з якими мають справу дослідники. Математичний апарат теорії нечіткої логіки, що використовує нечіткі моделі систем (алгоритмів, інтегралів), на даний момент, вже представлений у вигляді програмного продукту, що і буде прийнято при моделюванні організаційно-технічних ризиків НДП з транспортної тематики. Разом з тим, використання готових програм не прибирає вимогу більш докладного викладу методики роботи з нечіткими моделями систем.

В теорії нечіткої логіки (ТНЛ) нечіткі моделі займають верхню ступінь ієрархії понять і найбільш адекватно відображають реальні системи управління, з якими мають справу дослідники.

За своєю суттю нечіткі моделі (НМ) ґрунтуються на логіко-лінгвістичних описах систем, що є описами різних аспектів функціонування систем в природній розмовній формі або слабо формалізованій формі вербальних (декларативних) висловів, виразів та висновків, використовуваних дослідниками виходячи з особистих баз знань. Вхідні і вихідні показники системи при цьому є лінгвістичними змінними, а словесний опис функціонування системи задається сукупністю висловів вигляду [2]:

L1: якщо  $\langle A1 \rangle$ , то  $\langle B1 \rangle$ ,

L2: якщо  $\langle A2 \rangle$ , то  $\langle B2 \rangle$ ,

.....

LK: якщо  $\langle AK \rangle$ , то  $\langle BK \rangle$ ,

де  $A1, A2, \dots, AK$  – нечіткі множини, задані на декартовому виразі  $X$  універсальних множин вхідних лінгвістичних змінних;

$B1, B2, \dots, BK$  – нечіткі множини, задані на декартовому виразі  $Y$  універсальних множин вихідних лінгвістичних змінних.

Сукупність  $\{ L1, L2, \dots, LK \}$  відбиває функціональний взаємозв'язок вхідних та вихідних змінних і є основою побудови нечіткого відношення між  $X$  та  $Y$ , заданого на декартовому виразі  $X \times Y$  універсальних множин вхідних та вихідних змінних. Якщо на множині  $X$  задана нечітка множина  $A$ , то композиційне правило виводу визначає на  $Y$  нечітку множину  $B$  з функцією належності

$$\mu_A(y) = V_x (\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y)), \quad (1)$$

де  $R$  – нечітке відношення між  $X$  та  $Y$ .

В цьому випадку композиційне правило виводу визначає закономірності функціонування нечіткої системи.

Зупинимося детальніше на джерелах нечітких моделей. Як вже було зазначено при побудові будь-якої моделі, як правило, присутні в значній мірі такі фактори: суб'єктивізм («я так вважаю»); волюнтаризм («моя воля, що хочу, те й роблю»); неоднозначність в інформаційному плані («начебто так, а начебто інакше»), які призводять до повної невизначеності процесу побудови складних моделей. Тому нечіткість моделей слід закладати вже на стадії побудови теоретико-множинних моделей і паралельно інфологічних моделей.

Для виявлення механізму появи нечіткостей в оцінці ризиків виконання НДП звернемося до моделей (2.1) и (2.2). Множини апріорних  $S_{ц_{апр}}$  та апостеріорних  $S_{ц_{апт}}$  сценаріїв з високою ступінню можливості будемо вважати чіткими множинами з характеристичними функціями, наприклад для  $S_{ц_{апр}}$ :

$$\mu(S_{ц_{апр}}) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \mu(\widetilde{S}_{ц_{апр}}) < 0,5 \\ 1, \text{ якщо } \mu(\widetilde{S}_{ц_{апр}}) > 0,5 \\ 0 \text{ або } 1, \text{ якщо } \mu(\widetilde{S}_{ц_{апр}}) = 0,5, \end{cases} \quad (2)$$

зазвичай приймають  $\mu(S_{ц_{апр}}) = 0$ , якщо  $\mu(\widetilde{S}_{ц_{апр}}) = 0,5$ . Надрядковий знак «~» (тильда) означає, що змінні (множини) носять цей знак і беруть участь у моделях носять нечіткий характер і до них застосовні методи ТНЛ. Аналогічний висновок можна зробити відносно множин  $S_{б_{поч}}$ ,  $S_{б_{кін}}$ ,  $T_{пл}$ ,  $T_{ф}$ ,  $T$ . Що стосується множин  $IS_{3H1}(Pr1, S_{ц_{апр}})$ ,  $IS_{3H2}(S_{ц_{апр}}, Pr2)$  та  $\Pi$  в даному випадку слід зробити висновок, що саме тут знаходиться нечіткість лінгвистичних змінних. Таким чином, моделі (2.1) та (2.2) несуть в собі дуальний характер

$$\widetilde{M}_1: S_{ц_{апр}} \times S_{б_{поч}} \times Repr \widetilde{IS}_{3H1}(Pr1, S_{ц_{апр}}) \times T_{пл} \times T \rightarrow Pr1(\widetilde{\Pi}) \times T; \quad (3)$$

$$\widetilde{M}_2: S_{ц_{апт}} \times S_{б_{кін}} \times Repr \widetilde{IS}_{3H2}(S_{ц_{апт}}, Pr2) \times T_{ф} \times T \rightarrow Pr2(\widetilde{\Pi}) \times T; \quad (4)$$

Моделі  $\widetilde{M}_1$  та  $\widetilde{M}_2$  можна спростити з точки зору оцінки ступеня нечіткості

$$\widetilde{M}_1 \Rightarrow \widetilde{M}_{28}: \widetilde{IS}_{3H1} \rightarrow \widetilde{\Pi}; \quad (5)$$

$$\widetilde{M}_2 \Rightarrow \widetilde{M}_{29}: \widetilde{IS}_{3H2} \rightarrow \widetilde{\Pi}. \quad (6)$$

Носії нечіткості інформаційного забезпечення попередньої і остаточної баз знань у повній мірі відповідають характеру невизначеності через значно нечіткі значення критеріїв якості інформації: достовірності  $\Delta$ , повноти  $\Pi$ , однорідності  $O$  та безперервності  $N$ , а також таких характеристик інформаційного забезпечення в цілому, як : оперативність  $\Omega$  і економічність  $\Sigma$ . Спрощуємо інші моделі, переносячи нечіткість на основі лінгвистичних змінних і розглядаючи їх апріорні і апостеріорні значення

$$\widetilde{M}_9 \Rightarrow \widetilde{M}_{30}: \widetilde{\Delta}_{апр} \times \widetilde{\Pi}_{апр} \times \widetilde{O}_{апр} \times \widetilde{N}_{апр} \times \widetilde{\Omega}_{IS_{апр}} \times \widetilde{\Sigma}_{IS_{апр}} \rightarrow \widetilde{IS}_{3H1}; \quad (7)$$

$$\widetilde{M}_{10} \Rightarrow \widetilde{M}_{31}: \widetilde{\Delta}_{апт} \times \widetilde{\Pi}_{апт} \times \widetilde{O}_{апт} \times \widetilde{N}_{апт} \times \widetilde{\Omega}_{апт} \times \widetilde{\Sigma}_{апт} \rightarrow \widetilde{IS}_{3H2}; \quad (8)$$

$$\widetilde{M}_{17} \Rightarrow \widetilde{M}_{32}: \widetilde{R}(IS_{3H1}) \rightarrow \widetilde{R}(\Pi); \quad (9)$$

$$\widetilde{M}_{18} \Rightarrow \widetilde{M}_{33}: \widetilde{R}(IS_{3H2}) \rightarrow \widetilde{R}(\Pi); \quad (10)$$

$$\widetilde{M}_{23} \Rightarrow \widetilde{M}_{34}: \widetilde{R}(\Delta_{апр}) \times \widetilde{R}(\Pi_{апр}) \times \widetilde{R}(O_{апр}) \times \widetilde{R}(N_{апр}) \times \widetilde{R}(\Omega_{апр}) \times \widetilde{R}(\Sigma_{апр}) \rightarrow \widetilde{IS}_{3H1}; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{24} \Rightarrow \tilde{M}_{35}: \tilde{R}(\Delta I_{\text{апт}}) \times \tilde{R}(\Pi_{\text{апт}}) \times \tilde{R}(O I_{\text{апт}}) \times \tilde{R}(N I_{\text{апт}}) \times \tilde{R}(\Omega_{\text{апт}}) \times \\ \tilde{R}(\Sigma I_{\text{апт}}) \rightarrow \tilde{I}S_{3H2}; \quad (12) \\ \tilde{M}_{27} \Rightarrow \tilde{M}_{36}: \tilde{A} \times \tilde{B} \rightarrow \tilde{R}_D \quad (13) \end{aligned}$$

Наступним етапом оцінки нечіткого ризику виконання науково-дослідних проектів з транспортної тематики йдуть:

- конкретизація області предметної діяльності в сенсі вибору НДП в діяльності виду транспорту;
- визначення списку вхідних і вихідних лінгвістичних змінних;
- визначення списку (при необхідності) модифікаторів для значень лінгвістичних змінних;
- складання терм-множини нечітких лінгвістичних змінних;
- побудова функцій належності для кожної лінгвістичної змінної.

Однією з найбільш складних задач при використанні математичного апарата ТНЛ являється побудова функцій належності нечітких множин які зв'язані з лінгвістичними змінними через нечіткі змінні та НМ. Існують прямі і непрямі методи побудови ФН. Найбільш ефективним є прямий метод для одного експерта який запропонований Осгудом і називається – метод семантичних диференціалів [5]. Практично в будь-якій ОПД можна отримати безліч оцінок, якщо слідувати процедурі:

- визначити одну або декілька властивостей, за якими оцінюється об'єкт, подія або стан процесу;
- для конкретних властивостей знайти крайові (екстремальні) точки і сформулювати протилежні пари понять;
- для кожної пари понять визначити в якій мірі вони позитивні відносно властивостей.

Застосуємо цей метод шляхом послідовного використання окремих особистісних баз знань 3-х експертів, які тривалий час працюють в галузі науково-практичної діяльності шляхом застосування результатів виконаних науково-дослідних проектів у сфері залізничного транспорту. Експерт Э1 у своїй роботі більше практикує застосування аналітичних методів дослідження і надає більше уваги побудові, аналізу та використанню моделей області предметної діяльності щодо розробки та впровадження результатів виконання НДП. Експерт Э2 є фахівцем в області реалізації конкретних розробок, в основному діагностичних комплексів, що застосовуються як в ремонтних умовах, так і при експлуатації діагностованих виробів на рухомому складі ж/д транспорту. Експерт Э3 схильний до оцінки умов прояву несправностей виробів і агрегатів, їх опису та аналізу наслідків відмов виробів в експлуатаційній обстановці. Така спеціалізація експертів мала проявитися при побудові індивідуальних ФН стосовно ЛЗ, описують показники репрезентативності системи інформаційного забезпечення. Подібна СІЗ охоплює інформаційну область наукових розробок, практичного застосування, як правило, діагностичних комплексів, і результатів впровадження виконаних науково-дослідних проектів в експлуатаційних умовах.

До оцінки та конкретизації функцій належності, опишемо більш докладно вихідні передумови щодо наступних лінгвістичних змінних:

- «рівень достовірності інформації» ( $\Delta$ )
  - «рівень повноти інформації» ( $\Pi$ );
  - «рівень однорідності інформації» ( $O$ );
  - «рівень неперервності інформації» ( $N$ );
  - «рівень оперативності інформаційного забезпечення» ( $\Omega$ );
  - «рівень економічності інформаційного забезпечення» ( $\Sigma$ ).
- Лінгвістичною змінною називається – набір  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де:

$\beta$  – найменування лінгвістичної змінної, наприклад, « $\Delta$ »;

$T$  – базова терм-множина,  $T = \{\langle \text{«низьке»}, \text{«середнє»}, \text{«високе»} \rangle\}$ ;

$X$  – універсальна множина (універсум),  $E\Delta = X = [0, 1]$ ;

$G$  – синтаксична процедура, що дозволяє розширити базову терм-множину, шляхом створення нових терм-нечітких значень [5].

$M$  – семантична процедура, що дозволяє перетворити кожне нове значення ЛЗ, утворене процедурою  $G$ , в нечітку змінну, тобто сформувані відповідну нечітку множину.

Дано визначення для  $\Delta$  – достовірності інформації (інформаційного елемента).

Визначення 1 Достовірність інформації (ІЕ) –  $\Delta$  форма існування істини, що полягає в адекватному відображенні системних подій та/або станів процесу виконання НДП в термінах науково-дослідної діяльності.

Отже,  $\beta \equiv \Delta$ , так як достовірність інформації характеризується своїм рівнем, а із 2.5 випливає, що  $\Delta = [0, 1]$ . Лінгвістична змінна пов'язана з нечіткою змінною  $\langle \alpha, X, A \rangle$  універсальною множиною  $X$  (область застосування НЗ  $\alpha$ ), де  $\alpha$  – найменування нечіткої змінної,  $A$  – НМ на  $X$ , що описує обмеження – функції належності  $\mu_A(x)$  на значеннях НП  $\alpha$ ,  $A = \{\mu_A(x)/x\}$ ,  $x \in X$  – відображає міру задоволення деякій властивості  $R$ . У нашому випадку:  $\alpha_1 = \langle \text{«рівень достовірності інформації низький»} \rangle$ ,  $x \in E_\Delta \equiv X$ ,  $\tilde{A}_1 \equiv A = \{\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^i)/x_{\Delta_1}^i\}$ . Конкретизуємо властивість  $R\Delta$  яке для  $\Delta$  визначається наступним чином (перший етап методу Осгуда):

Визначення 2. Властивість достовірності інформаційного відображення –  $R\Delta$ , полягає в можливості ІЕ, формованих об'єктивними чи суб'єктивними методами, достовірно описати системні події та/або стану процесу виконання НДП шляхом істинного, адекватного відображення предметів і явищ дійсності науково-дослідної діяльності.

Користуючись даним визначенням експерти  $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$  дали свою особисту суб'єктивну оцінку ступеня належності змінної,  $x \in E_\Delta$  нечіткою підмножиною  $\tilde{A}_i$ ,  $i = \overline{1,3}$ . На рис. 1 – 3 показані функції належності  $\mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_i)$ , окремо по кож-

ному експерту (другий етап методу Осгуда):

$$\tilde{A}_1(\mathcal{E}_1) = \left\{ \mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_1)/x \right\} = 1 \text{ при } 0 \leq x \leq 0,15 \text{ і } \left\{ \mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_1)/x \right\} = 0 \text{ при } x \geq 0,4, \text{ рис. 1, табл. 1;}$$

$$\tilde{A}_1(\mathcal{E}_2) = \left\{ \mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_2)/x \right\} = 1 \text{ при } 0 \leq x \leq 0,2 \text{ і } \left\{ \mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_2)/x \right\} = 0 \text{ при } x \geq 0,7, \text{ рис. 2, табл. 1;}$$

$$\tilde{A}_1(\mathcal{E}_3) = \left\{ \mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_3)/x \right\} = 1 \text{ при } 0 \leq x \leq 0,4 \text{ і } \left\{ \mu_{\Delta_1}(x, \mathcal{E}_3)/x \right\} = 1 \text{ при } x \geq 0,7, \text{ рис. 3, табл. 1.}$$

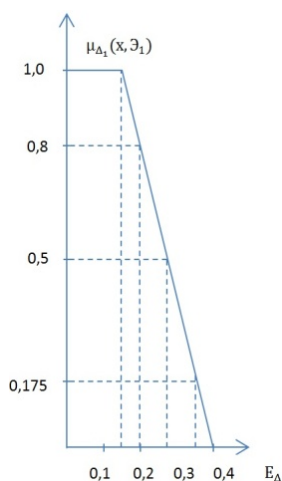


Рис. 1. Суб'єктивна ФН експерта Э<sub>1</sub> НМ  $\tilde{L}_{\Delta 1}$  нечіткої змінної «рівень достовірності інформації низький»

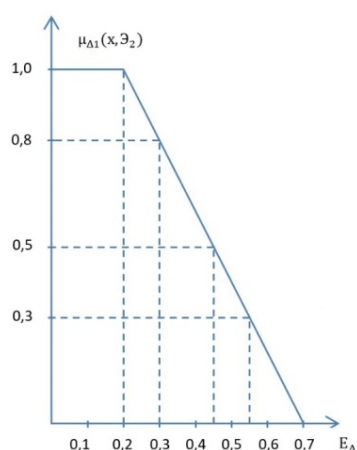


Рис. 2. Суб'єктивна ФН експерта Э<sub>2</sub> НМ  $\tilde{L}_{\Delta 2}$  нечіткої змінної «рівень достовірності інформації низький»

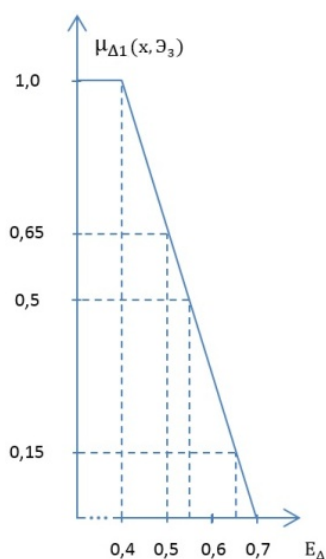


Рис. 3. Суб'єктивна ФН експерта Э<sub>3</sub> НМ  $\tilde{L}_{\Delta 1}$  нечіткої змінної «рівень достовірності інформації низький»

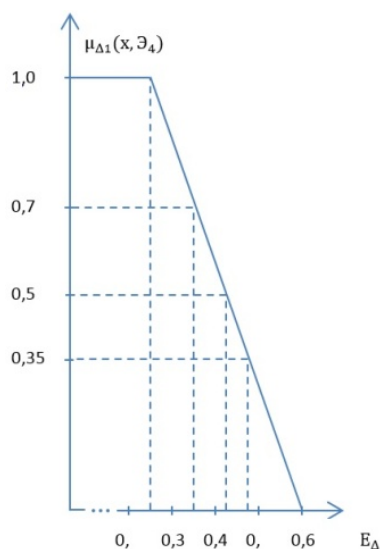


Рис. 4. Усреднення (по трьом суб'єктивним) ФН нечіткої множини  $\tilde{L}_{\Delta 1}$  «рівень достовірності інформації низький»

Усреднення графіків ФН  $\tilde{\Delta}_1(\mathcal{E}_i)$  дозволило отримати  $\tilde{\Delta}_1$ , рис. 4, табл. 1:

$$\tilde{\Delta}_1 = \left\{ \frac{\mu_{\Delta 1}(x)}{x} \right\}_{x \in E_{\Delta}} = 1 \text{ при } 0 \leq x \leq 0,25 \text{ і } \left\{ \frac{\mu_{\Delta 1}(x)}{x} \right\}_{x \in E_{\Delta}} = 0 \text{ при } x \geq 0,6.$$

Аналогічно отримані крайові значення для нечіткої змінної  $\tilde{\Delta}_2 - \alpha_2 =$  «рівень достовірності середній» і  $\tilde{\Delta}_3 - \alpha_3 =$  «рівень достовірності високий», табл. 1.

Ці три ФН зведені в один малюнок, рис. 5, це допустимо, оскільки вони визначені на одній і тій самій універсальній множині (область визначення  $\alpha_i, i = \overline{1,3}$ ). Кожен графік функції належності має свої характерні параметри (точки графіка). Так, для ФП, показаного на рис. 5, висота НМ  $\tilde{L}_{\Delta_1} - \tilde{\Delta}_1$  дорівнює  $\sup_{x \in E_{\Delta}} \mu_{\Delta_1}(x) = 1$ , тобто  $\tilde{\Delta}_1$  нормальна нечітка множина.

Функція належності приймає значення  $\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}) = 1$ , на інтервалі  $0 \leq x_{\Delta_1} \leq 0,25$ , з чого випливає, що НМ  $\Delta_1$  не унімодальне. Носій нечіткої множини  $\tilde{\Delta}_1 -$  звичайна множина  $\Delta_1$  з властивістю  $\mu_{\Delta_1}(x) > 0, \Delta_1 = \forall x \in$

$E_{\Delta}\{x/\mu_{\Delta_1}(x) > 0\}$ , а саме  $\Delta_1 = \{0,25, 0,35, 0,425, 0,475\}$ . Точка переходу НМ  $\tilde{\Delta}_1, x \in E_{\Delta}$  для яких  $\mu_{\Delta_1} = 0,5$ , тобто при  $x_{\Delta_1}^3 = 0,425, \mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^3) = 0,5$ , табл. 2, рис. 5. Таким чином виконаний і третій етап методу Осгуда.

Таблиця 1

Оцінка	НМ				
	$\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^1)/x_{\Delta_1}^1$	$\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^2)/x_{\Delta_1}^2$	$\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^3)/x_{\Delta_1}^3$	$\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^4)/x_{\Delta_1}^4$	$\mu_{\Delta_1}(x_{\Delta_1}^5)/x_{\Delta_1}^5$
$(\exists_1)\tilde{\Delta}_1$	1,0/0,15	0,8/0,2	0,5/0,275	0,175/0,35	0/0,4
$(\exists_2)\tilde{\Delta}_1$	1,0/0,2	0,8/0,3	0,5/0,45	0,3/0,55	0/0,7
$(\exists_3)\tilde{\Delta}_1$	1,0/0,4	0,65/0,5	0,5/0,55	0,15/0,65	0/0,7
$\tilde{\Delta}_1$	1,0/0,25	0,7/0,35	0,5/0,425	0,35/0,475	0/0,6
$(\exists_1)\tilde{\Delta}_2$	0/0,3	0,5/0,5	1,0/0,7	0,5/0,825	0/0,95
$(\exists_2)\tilde{\Delta}_2$	0/0,4	0,5/0,625	1,0/0,825	0,5/0,86	0/0,9
$(\exists_3)\tilde{\Delta}_2$	0/0,5	0,5/0,6	1,0/0,7	0,5/0,775	0/0,85
$\tilde{\Delta}_2$	0/0,4	0,5/0,575	1,0/0,75	0,5/0,825	0/0,9
$(\exists_1)\tilde{\Delta}_3$	0/0,75	0,25/0,775	0,5/0,8	0,75/0,825	1,0/0,85
$(\exists_2)\tilde{\Delta}_3$	0/0,7	0,2/0,725	0,5/0,775	0,675/0,8	1,0/0,85
$(\exists_3)\tilde{\Delta}_3$	0/0,8	0,25/0,85	0,5/0,9	0,75/0,95	1,0/1,0
$\tilde{\Delta}_3$	0/0,75	0,3/0,8	0,5/0,825	0,65/0,85	1,0/0,9

Наступною характеристикою інформації є повнота – П. Дамо визначення для П і властивості РП.

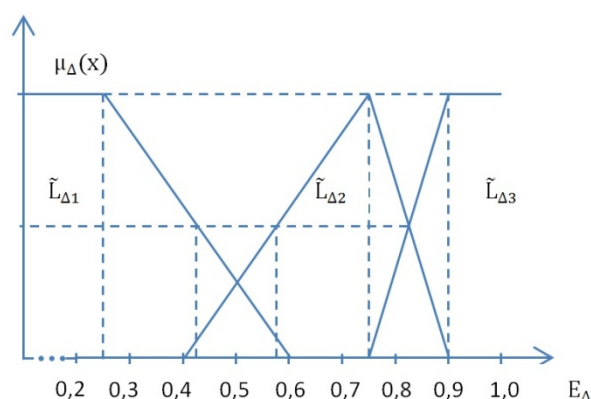
Визначення 3. Повнота інформації (ІЕ) – достатність інформаційних засобів, що формують ІЕ об'єктивними чи суб'єктивними методами, адекватно відобразити реальні системні події та/або стан процесу виконання НДП в термінах науково-дослідної діяльності.

Визначення 4. Властивість повноти інформаційного відображення – РП, полягає в можливості ІЕ досить повно описати системні події та/або стан процесу виконання НДП шляхом логістичної (математичної) достатності відображення предметів і явищ дійсності науково-дослідної діяльності.

На рис. 6 представлені функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_i \equiv \tilde{P}_i$  нечітких змінних «рівень повноти інформації низький», «рівень повноти інформації середній», «рівень повноти інформації високий», як значень ЛЗ – «рівень повноти інформації, табл. 2. Наведемо визначення для лінгвістичної змінної ЛП – «рівень однорідності інформації та властивості RO.

Таблиця 2

Оцінка	НМ					
	$\mu_{x \in X}(x^1)/x^1$	$\mu_{x \in X}(x^2)/x^2$	$\mu_{x \in X}(x^3)/x^3$	$\mu_{x \in X}(x^4)/x^4$	$\mu_{x \in X}(x^5)/x^5$	$\mu_{x \in X}(x^6)/x^6$
$\tilde{\Delta}_1$	1,0/0,25	0,7/0,35	0,575/0,4	0,5/0,425	0,35/0,475	0/0,6
$\tilde{\Delta}_2$	0/0,4	0,5/0,575	0,7/0,65	1,0/0,75	0,5/0,825	0/0,9
$\tilde{\Delta}_3$	0/0,75	0,3/0,8	0,5/0,825	0,65/0,85	0,8/0,875	1,0/0,9
$\tilde{\Pi}_1$	1,0/0,4	0,735/0,425	0,5/0,45	0,35/0,465	0,225/0,475	0/0,5
$\tilde{\Pi}_2$	0/0,4	0,5/0,5	1,0/0,6	1,0/0,7	0,5/0,75	0/0,8
$\tilde{\Pi}_3$	0/0,75	0,325/0,8	0,5/0,825	0,65/0,85	0,825/0,875	1,0/0,9
$\tilde{O}_1$	1,0/0,25	0,85/0,3	0,725/0,35	0,5/0,425	0,275/0,5	0/0,6
$\tilde{O}_2$	0/0,4	0,5/0,475	1,0/0,55	1,0/0,7	0,5/0,75	0/0,8
$\tilde{O}_3$	0/0,7	0,325/0,75	0,5/0,775	0,65/0,8	0,675/0,825	1,0/0,85
$\tilde{N}_1$	1,0/0,35	0,675/0,4	0,5/0,425	0,325/0,45	0,175/0,475	0/0,5
$\tilde{N}_2$	0/0,35	0,5/0,425	1,0/0,55	1,0/0,75	0,5/0,775	0/0,8
$\tilde{N}_3$	0/0,75	0,25/0,775	0,375/0,787	0,5/0,8	0,75/0,825	1,0/0,85
$\tilde{\Omega}_1$	1,0/0,5	0,75/0,525	0,5/0,55	0,25/0,575	0,1/0,587	0/0,6
$\tilde{\Omega}_2$	0/0,5	0,5/0,6	0,75/0,65	1,0/0,7	0,5/0,75	0/0,8
$\tilde{\Omega}_3$	0/0,75	0,3/0,825	0,5/0,875	0,8/0,95	0,975/0,9	1,0/1,0
$\tilde{\Sigma}_1$	1,0/0,3	0,75/0,35	0,5/0,4	0,25/0,45	0,125/0,475	0/0,5
$\tilde{\Sigma}_2$	0/0,4	0,5/0,5	0,75/0,55	1,0/0,6	0,5/0,7	0/0,8
$\tilde{\Sigma}_3$	0/0,7	0,25/0,775	0,325/0,8	0,5/0,85	0,75/0,925	1,0/1,0



Лінгвістична змінна –  $\Delta$  = «рівень достовірності інформації» з базовою термножиною  $T = \{ \text{«низький», «середній», «високий»} \}$   
 $x_{\Delta 1}, x_{\Delta 2}, x_{\Delta 3} \equiv x \in E_{\Delta}$   
 $E_{\Delta} = [0,1]$

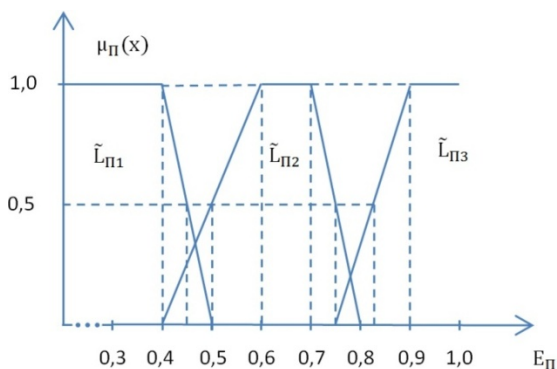
Рис. 5. Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{\Delta 1}, \tilde{L}_{\Delta 2}, \tilde{L}_{\Delta 3}$  лінгвістичної змінної  $\Delta$  на універсальній множині  $E_{\Delta}, (x \in E_{\Delta})$

Визначення 5. Однорідність інформації (ІЕ) – причинно-наслідковий поділ (принцип МОКО) інформаційних реквізитів, що формуються об’єктивними і суб’єктивними методами, шляхом казуального відображення системних подій та/або станів процесу виконання НДП в термінах науково-дослідної діяльності.

Визначення 6. Властивість однорідності інформаційного відображення  $RO$ , полягає в можливості ІЕ, формованих об’єктивними і суб’єктивними методами, в достатній мірі описати причинно-наслідковий зв’язок при відображенні реаль-

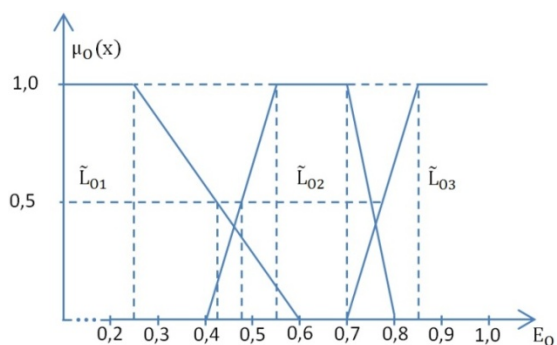
них системних подій та/або станів процесу виконання НДП шляхом розкриття казуальності предметів і явищ дійсності науково-дослідної діяльності.

Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{0,1}, \tilde{L}_{0,2}, \tilde{L}_{0,3} \equiv \tilde{O}_1, \tilde{O}_2, \tilde{O}_3$  показані на рис. 7, а параметри графіків поміщені в табл. 2. Аналогічно, щодо ЛЗ – «рівень безперервності інформації» та властивості RN, рис. 8, табл. 2.



Лінгвістична змінна – П = «рівень повноти інформації» з базовою терм-множиною  $T = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$   
 $x_{P1}, x_{P2}, x_{P3} \equiv x \in E_P$   
 $E_P = [0,1]$

Рис. 6. Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{P1}, \tilde{L}_{P2}, \tilde{L}_{P3}$  лінгвістичної змінної П на універсальній множині  $E_P, (x \in E_P)$

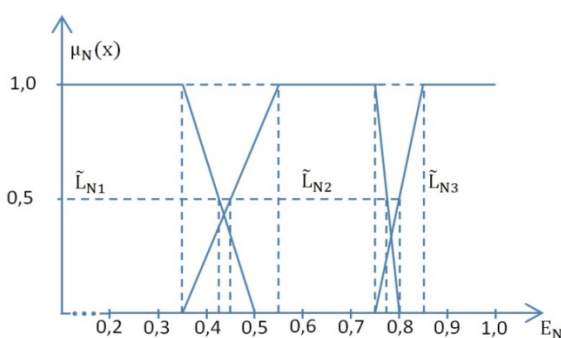


Лінгвістична змінна – О = «рівень однорідності інформації» з базовою терм-множиною  $T = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$   
 $x_{O1}, x_{O2}, x_{O3} \equiv x \in E_O$   
 $E_O = [0,1]$

Рис. 7. Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{O1}, \tilde{L}_{O2}, \tilde{L}_{O3}$  лінгвістичної змінної О на універсальній множині  $E_O, (x \in E_O)$

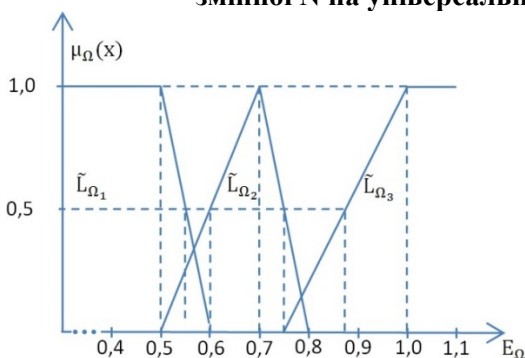
Визначення 7. Безперервність інформації (ІЕ) – нерозривність інформації, що відображає системні події та/або стан процесу виконання НДП у вигляді ІЕ, формованих і трансформованих у просторі та часі інформаційними процедурами, шляхом послідовного та обов'язкового відображення характеристик процесу в термінах науково-дослідної діяльності.

Визначення 8 Властивість безперервності інформаційного відображення – RN, полягає в можливості ІЕ, формованих об'єктивними і суб'єктивними методами, представляти інформацію про системні події та/або станах процесу виконання НДП в будь-який заданий момент часу або відповідно з дискретністю реалізації інформаційних процедур (формуванні, передачі, зберігання тощо) шляхом видачі даних про предмети та явища дійсності науково-дослідної діяльності.



Лінгвістична змінна – N = «рівень неперервності інформації» з базовою термножиною  
 $T = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$   
 $x_{N_1}, x_{N_2}, x_{N_3} \equiv x \in E_N$   
 $E_N = [0,1]$

Рис. 8. Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{N_1}, \tilde{L}_{N_2}, \tilde{L}_{N_3}$  лінгвістичної змінної N на універсальній множині  $E_N, (x \in E_N)$



Лінгвістична змінна –  $\Omega =$  «рівень оперативності інформації» з базовою термножиною  
 $T = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$   
 $x_{\Omega_1}, x_{\Omega_2}, x_{\Omega_3} \equiv x \in E_\Omega$   
 $E_\Omega = [0,1]$

Рис. 9. Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{\Omega_1}, \tilde{L}_{\Omega_2}, \tilde{L}_{\Omega_3}$  лінгвістичної змінної  $\Omega$  на універсальній множині  $E_\Omega, (x \in E_\Omega)$

Якщо показники  $\Delta, \Pi, O$  і N характеризують якість інформації (інформаційних елементів), то показники оперативності  $\Omega$  та економічності відносяться до системи інформаційного забезпечення в цілому. Наведемо для них сформульовані, в рамках даної роботи, визначення, як для лінгвістичних змінних:

ЛП – «рівень оперативності інформаційного забезпечення»;

ЛП – «рівень економічності інформаційного забезпечення».

Визначення 9 Оперативність інформаційного забезпечення – показник тимчасових витрат, що витрачаються на підготовку і видачу інформації про системні події та/або стан процесу виконання НДП у вигляді реакції і інформаційний запит шляхом реалізації низки інформаційних процедур в середовищі науково-дослідної діяльності.

Визначення 10. Властивість оперативності інформаційного забезпечення –  $R_\Omega$ , полягає в можливості системи інформаційного забезпечення своєчасно, в межах встановленого (заданого) інтервалу часу, сформувати інформацію опису системні події та/або стан процесу виконання НДП шляхом аналізу інформаційного запиту, підготовки адекватних даних та видачі інформації яка відображає предмети і явища дійсності науково-дослідної діяльності.

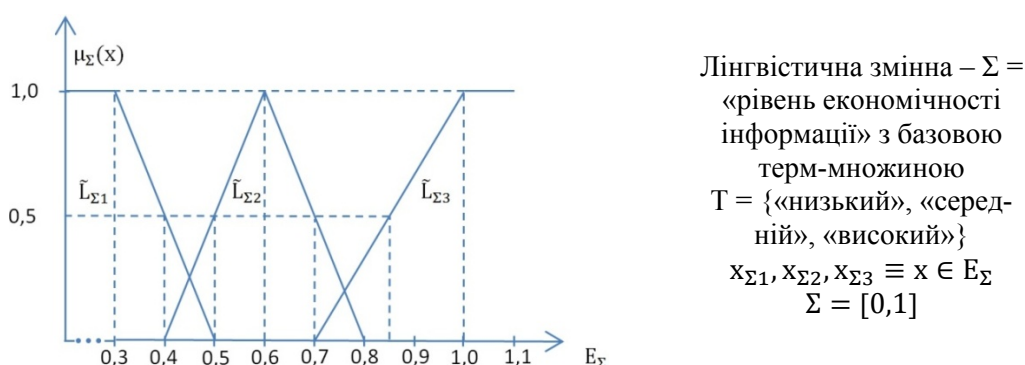


Рис. 10. Функції належності нечітких множин  $\tilde{L}_{\Sigma 1}, \tilde{L}_{\Sigma 2}, \tilde{L}_{\Sigma 3}$  лінгвістичної змінної  $\Sigma$  на універсальній множині  $E_{\Sigma}, (x \in E_{\Sigma})$

Визначення 11. Економічність інформаційного забезпечення – показник матеріальних витрат, витрачених на реалізацію науково-дослідного проекту по створенню та експлуатації системи інформаційного забезпечення науково-дослідної діяльності шляхом послідовного виконання етапів і фаз НДП, від формування проблеми до модернізації методів та утилізації технічних засобів системи інформаційного забезпечення.

Визначення 12. Властивість економічності інформаційного забезпечення –  $R_{\Sigma}$ , полягає в можливості економічного обґрунтування і фінансування нових, раціональних методів проектування, побудови та експлуатації інформаційної системи шляхом усвідомлення неможливості створення репрезентативного ІЗ відомими методами проектування без відповідних матеріальних витрат та висновку про необхідність побудови системи інформаційного забезпечення як інтелектуальної інформаційної системи.

Графіки ФН  $\tilde{L}_{\Omega 1}, \tilde{L}_{\Omega 2}, \tilde{L}_{\Omega 3}$  показані на рис. 9, 10, а чисельні дані поміщені в табл. 2. В заключенні викладеного матеріалу слід зробити висновок про ефективність методу Осгуда, як методу, що дозволяє незалежним експертам зробити особистісну оцінку нечітких множин і побудувати суб'єктивні функції належності НМ і за загальним універсумом  $E_k, k \in K = \{\text{«}\Delta\text{»}, \text{«}\Pi\text{»}, \text{«}\text{O}\text{»}, \text{«}\text{N}\text{»}, \text{«}\Omega\text{»}, \text{«}\Sigma\text{»}\}$  перейти до нечітких змінних, а потім визначати ФН базової терм-множини, а за необхідності і розширеного ТМ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368с.
2. Петрашевский О.Л., Редзюк А.М., Алексеенко А.В. Методология концептуально-логического отображения и проектного моделирования целей системы управления безопасностью дорожного движения. Проблемы транспорта: Зб. наук. праць: Вип. 6. – К.: НТУ. – 2009. – С.76-89.
3. Фрейдина Е.В. Исследование систем управления / Е.В. Фрейдина; под ред. Ю.В. Гусева. – М.: Изд. «Омега-Л», 2008. – 367 с.
4. Прогнозные коммерческие расчеты и анализ рисков на Fuzzy for Excel / В.П. Бочарников, С.В. Свешников, С.Н. Возняк. – К.: ИНЭКС, 2000. – 159 с.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.

*Oleg L. Petrashevsky, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Professor of the Airports Chair of National transport University)  
Volodymyr I. Danylevskyi, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State  
University for Transport Economy and Technologies)  
Aleksandr V. Aliksieienko  
(Senior Lecturer of the Airports Chair of National transport University)  
Volodymyr V. Danylevskyi  
(Graduate Student of Airport Chair of National Transport University)*

**EXPERT ESTIMATION AND CONSTRUCTION MEMBERSHIP  
FUNCTION OF FUZZY CRITERIA OF DATAWARE  
IMPLEMENTATION OF RESEARCH PROJECTS**

*The mathematical theory of fuzzy logic device that uses fuzzy system models (algorithms integrals), currently already represented in the form of software. However, the use of finished programs removes not request a more detailed presentation of how to work with fuzzy model systems. In the theory of fuzzy logic fuzzy models in the top level of the hierarchy of concepts and most adequately reflect the real control system which deal researchers.*

*Keywords: Fuzzy logic, fuzzy set, ODD Function, membership function, fuzzy expert system*

**REFERENCES**

1. Anfilatov VS Emelyanov AA, Kukushkin AA System analysis in management. – M.: Finance and Statistics, 2003 – 368s.
2. Petrashevsky OL, Redzyuk AM Alekseenko AV Methodology The conceptual and logical mapping and modeling project management objectives of road safety. Problems of transport: ST. Sciences. Praca: 6. Key infrastructure – Singapore: NTU. – 2009. – S.76-89.
3. EV Freidin Research of management systems / EV Freidin; ed. Y. Gusev. – M.: Publishing house. «Omega-L», 2008. – 367s.
4. Projected commercial calculations and risk analysis on Fuzzy for Excel / VP Bocharnikov, SV Sveshnikov, SN Wozniak. – Singapore: INEX 2000. – 159 with.
5. L. Zadeh concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions. – M.: Mir, 1976.- 167 p.

УДК 656.225.011

*Г. М. Талавіра, к.т.н., доцент  
(завідувач кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного  
економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### **ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ ПІДШПАЛЬНОЇ ОСНОВИ В ЗОНАХ НЕРІВНОСТЕЙ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ КОЛІЇ ПРИ НЕДОСТАТНЬОМУ УЩІЛЬНЕННІ ГРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

*У статті представлені аналітичні дослідження зміни коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалами в зонах нерівностей рейкової колії при недостатньому ущільненні ґрунту верхніх шарів насипу.*

*Ключові слова: вертикальна пружність, підшпальна основа, підшпальні порожнини, динамічні навантаження, жорсткість підрейкової основи.*

*В статье представлены аналитические исследования изменения коэффициента постели шпал в зонах неровностей рельсового пути при недостаточном уплотнении грунта верхних слоев насыпи.*

*Ключевые слова: вертикальная упругость, подшпальная основа, подшпальные полости, динамические нагрузки, жесткость подрельсового основания.*

Для розрахунків колії на вплив вертикальних динамічних навантажень потрібно мати досить достовірну модель колії та необхідно вміти правильно визначати розрахункові параметри вертикальної пружності верхньої будови колії. У відповідності з розрахунковою моделлю колії [1] прийнято, що кожна рейкова нитка по всій довжині опирається на окремі пружні опори, які складаються з підкладки з прокладками, шпали, баласту й земляного полотна. Таку модель можна розглядати як «багатошаровий пиріг», який складається із конструкційних матеріалів із різними фізичними характеристиками.

Робота шпали під впливом навантажень, що передаються від рейок, слід розглядати як роботу балки обмеженої довжини, що лежить на суцільній рівнопружній основі (рис. 1).

Особливості рішення вказаної задачі, безумовно, залежать від даної схеми розташування рейкових ниток на пружних опорах основи. Алгоритм рішення даної задачі [1] буде загальним для всіх схем розташування рейкових ниток і може бути прийнятий в наступному вигляді:

1) визначення пружних прогинів підрейкових опор під впливом одиничних сил, прикладених в підрейкових перетинах;

2) визначення сумарної точкової жорсткості підрейкової основи як шарової конструкції;

© Талавіра Г. М., 2016

3) визначення вертикального модуля пружності підрейкової основи, з урахуванням епюри розкладки шпал;

4) визначення сумарної жорсткості рейкових ниток, що працюють сумісно з підрейковою основою.

Прогини шпал знаходяться з рішення диференціального рівняння вигину балки обмеженої довжини, яка розташована на суцільній рівнопружній основі і завантажена системою зосереджених вертикальних сил.

Диференціальне рівняння вигину такої балки одержане академіком А.Н.Криловим у роботі [2] і має вигляд:

$$E_{шп} I_{шп} \frac{d^4 Z_{шп}}{dx^4} + U_{Z_{шп}} Z_{шп} = \sum_i^n Q_i \eta_i (x - a_i), \quad (1)$$

Одним із найголовніших розрахункових параметрів верхньої будови колії є коефіцієнт пружного стиснення баласту під шпалою (коефіцієнт постелі) СБ. Від нього залежать жорсткість рейкової нитки, модуль пружності колії і сумарна жорсткість точкових опор.

При розрахунку прогинів по рівнянню (1) використовується найчастіше вживана для розрахунку балок на суцільній пружній основі гіпотеза Фусса-Вінклера про лінійну залежність між тиском на основу  $\sigma_B$  і його осіданням  $Z_{шп}$ .

$$\sigma_B = C_B \cdot Z_{шп} \quad (2)$$

При цьому, як і в інших випадках розрахунку балок по цій гіпотезі, приймаються додатково допущення: про відсутність сил тертя між балкою і підстилаючим шаром і про пружний взаємозв'язок між балкою і основою при переміщеннях рейки у вертикальному напрямі.

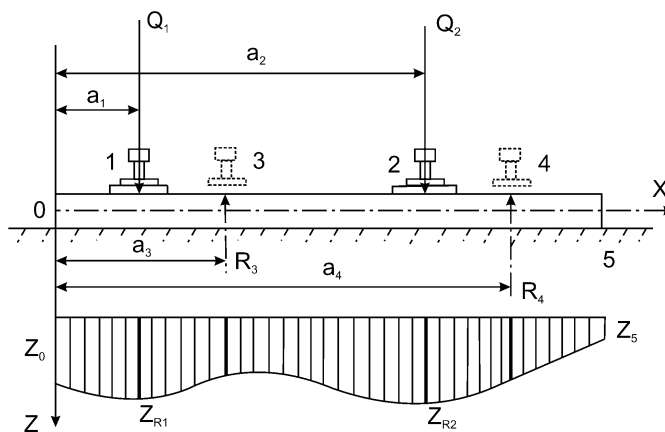


Рис. 1. Розрахункова схема роботи шпали, як балки на пружній основі

(рейки 3, 4 слід розглядати тільки при чотирьохнитковій рейковій колії).

Виходячи з розмірів підшпальних порожнин в зонах нерівностей можна зробити висновок, що порожнини під шпалами є ніщо інше ніж характерні зони дії

пружної роботи підшпальної основи, котрі в процесі експлуатації, дій кліматичних факторів та засмічування баласту переросли в зони остаточних непружних деформаційних навантажень.

Прогини точкових опор (шпал) під дією вертикальних колісних навантажень прямо пропорційно залежать від вертикальної жорсткості точкової опори, та якщо прогини шпал по довжині рейкової нитки різні – це свідчить про зміну жорсткості точкових опор.

Розмір пружної просадки шпали в підрейковому перерізі визначається з виразу:

$$Z_{пун} = \frac{2Q}{C_б \cdot F} \quad (3)$$

На основі формули (3) можна зробити висновок, що при навантаженні шпали вертикальними силами  $Q$ , від рухомого складу, розмір пружної просадки під шпалами, залежить від величини коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалою  $C_б$  та ефективної опорної площі основи шпали  $F = a \cdot b$ . В тому випадку, коли величини просадок шпал, послідовно розташованих на довжині рейки, будуть різними при практично незмінних значеннях навантаження  $2Q$  та геометричних розмірах подошви шпали  $a$  і  $b$  та коефіцієнта вигину шпал – це свідчить про зміну величини  $C_б$ . Збільшення за значенням остаточних деформацій в  $n$  разів на ділянках нерівностей колії, порівняно з типовою (базовою) конструкцією колії можливо з деяким наближенням кваліфікувати як дію збільшених в  $n$  разів пружних деформацій.

Згідно з [1] при розрахунку прогинів рейки, як балки на суцільній рівнопружній основі за гіпотезою Фуса-Вінклера по лінійній залежності між тиском на основу  $\sigma_б$  та її осадкою  $Z$  (див. фор. 2) коефіцієнт постелі  $C_б$  можна знайти по цій залежності.

При цьому при розрахунку просадок шпал можна прийняти такі допущення:

- відсутність сил тертя між балкою та підстилаючим шаром.
- у пружному взаємному зв'язку між балкою та основою при переміщенні рейки в вертикальному напрямку.

Для спрощення розрахунків введемо позначення:

$\epsilon_{БІ}$  – тиск на підшпальну основу при типовій (базовій) конструкції колії;

$\epsilon_{БІІ}$  – тиск на підшпальну основу в зонах нерівностей;

$Z_{БІ}$  – просадка шпали в підрейковому перетині в типовій (базовій) конструкції колії;

$Z_{БІІ}$  – просадка шпали в підрейковому перетині в зонах нерівностей;

$C_{БІ}$  – коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою при типовій конструкції колії;

$C_{БІІ}$  – коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою в верхній будові колії в зонах нерівностей.

Рухомий склад, який обертається на залізницях України, та розглянутий в розрахунках приймається однаковим для розрахунків переїзду по нерівностях для типового (базового) комплексу верхньої будови колії та конструкції колії, тобто можна прийняти:

$$\epsilon_{БІ} \approx \epsilon_{БІІ}; C_{БІ} \approx C_{БІІ} \quad (4)$$

За матеріалами натурних досліджень приймаємо:  $Z_{БІ} > Z_{БІ}$  в  $n$  разів.

Тому, з урахуванням формули (3), отримуємо, що коефіцієнт пружного стискання баласту також повинен змінюватись у такій же пропорційності:  $С_{БІ} < С_{БІ}$ , також в  $n$  разів.

Таким чином, прийнявши окремо по кожній шпалі, яка попадає в зону нерівностей, свій, зменшений в  $n$  разів відносно типової (базової) конструкції коефіцієнт постелі шпали  $С_{Бі}$ . Можна розрахунковим шляхом за методикою /1/ визначити величини напружень, які передаються на баласт  $\epsilon_B$ , та визначити розрахункові значення просядок шпал  $Z_{БІ1}$ ,  $Z_{БІ2}$ ,  $Z_{БІ3}$  ... і т. д.

Виходячи з формули (2) величина пружного осідання баласту під шпалою ( $Z_{Бі} = Z_{шп}$ ):

$$Z_{Бі} = \frac{\epsilon_{Бі}}{C_{Бі}} \quad (5)$$

Для типової (базової) конструкції колії визначаємо величину нормальних напружень  $\sigma_h$  на основній площадці земляного полотна за формулою:

$$\sigma_h = \sigma_{h_p} + \sigma_{hc_2} + \sigma_{hc_3}, \quad (6)$$

В результаті проведених розрахунків отримано  $\sigma_h = 0,055$  МПа.

Коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою для базової конструкції колії  $C_B$  прийнято рівним  $20 \text{ кг/см}^3$  /1/.

Розмір пружного осідання баласту під шпалою для базової конструкції колії відповідно до виразу (5) складає:

$$Z_{Бі} = \frac{1,85}{20} \approx 0,092 \text{ см}$$

Слід рахувати, що така величина остаточної сумарної пружної просядки під шпалою 10 мм є наслідком довготривалих одиничних пружних просядок, отриманих від проходу одиничного колеса та рівних  $Z_{Бі} \approx 0,92$  мм.

Для порівняльних розрахунків приймаємо 3 характерні точки на нерівності, які були знайдені за матеріалами натурних досліджень, що знаходяться на Південно-Західній залізниці. Геометричні параметри нерівності отримані геодезичними засобами без поїзного навантаження. Номери шпал проставлялись від задньої стінки стояну мосту (орієнтир) в бік перегону.

1- (шпала №14) – на початку передмостової нерівності зі сторони перегону. типова (базова) колія;

2- (шпала №7) – найбільшого значення сумарного пружного стискання баласту;

3- (шпала №2) – коло межі ділянки колії з передмостовою нерівністю і початком мосту (див. рис. 2).

Збільшення сумарної пружної деформації баласту під шпалами №7 і №2 відносно типової (базової) конструкції колії (шпала №14) відбувається за такими залежностями:

$Z_{БІ2} > Z_{БІ1}$  на шпалі №2 в 1,3 раза,

$Z_{63} > Z_{61}$  на шпалі №7 в 2,1 раза.

Звідки можна зробити висновок, що має бути:

$C_{62} < C_{61}$  на шпалі №2 в 1,3 раза,

$C_{63} < C_{61}$  на шпалі №7 в 2,1 раза.

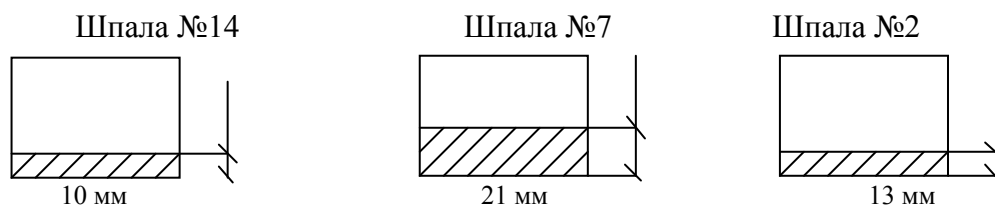


Рис. 2. Розподіл порожнин під шпалами на характерних точках нерівності

Таким чином, використовуючи експериментальні дані приймаємо значення  $C_{61}$ ,  $C_{62}$ ,  $C_{63}$ ,  $C_{64}$ , ... і т.д., знаючи значення  $\sigma_n$  – величину нормальних напружень на основній площадці земляного полотна можна перевірити розрахунковим шляхом величини пружних просадок шпал на нерівності.

Пружні просадки під шпалами збільшуються завдяки зменшенню коефіцієнта постелі шпал та утворюють порожнини. Значення коефіцієнта вигину шпал в розрахунках не враховується у зв'язку досить малим відсотком зміни його значень.

Виходячи з результатів розрахунків по пружним просадкам шпал в зоні нерівності можна зробити висновок, що збільшення їх значень відносно базової конструкції колії при приблизно постійному колісному навантаженні від рухомого складу насамперед залежать від послаблення під шпалами коефіцієнта постелі  $C_6$  в зоні нерівності. Можливо це обумовлено тим, що основа під шпалою в баласті на ділянках нерівностей більш слабка, чим на базовій конструкції колії. Слабкість основи може бути обумовлена особливостями конструкції верхньої будови колії в цій зоні. На нерівності по трьох характерних точках (шпали №2, №7, №14) за вищезгаданим припущенням та проведеними підрахунками коефіцієнт постелі змінюється в наступному порядку: шпала №2 –  $C_6 = 15,3 \text{ кг/см}^3$ ; шпала №7 –  $C_6 = 9,5 \text{ кг/см}^3$ ; шпала №14 –  $C_6 = 20 \text{ кг/см}^3$ . Така досить велика розбіжність свідчить про досить приближене значення величини коефіцієнта  $C_6$  в довідковій літературі, в якій він наводиться на основі середніх експериментальних даних, виконаними різними вченими.

Результати розрахунків параметрів верхньої будови колії при проходженні рухомим складом представленої нерівності наведений в табл. 1.

Таблиця 1. Розрахунок параметрів верхньої будови колії при проходженні рухомим складом нерівності

Параметр	Базова колія	Шпала №2 нерівності	Шпала №7 нерівності
Коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою $C_b$ , кгс/см <sup>3</sup>	20	15,3	9,52
Величина остаточних деформацій баласту під шпалою (натурні) $Z_{пор}$ , см	1,0	1,3	2,1
Пружна просадка баласту під шпалою (розрахункова) $Z_{пш}$ , см	0,09	0,113	0,18
Напруження під шпалою $\sigma_b$ , кгс/см <sup>2</sup>	1,8	1,73	1,71
Величина пружної просадки ґрунту основної площадки земляного полотна $\lambda$ , см	0,045	0,056	0,09
Модуль пружності під шпальною основи $U_{z_{пш}}$ , кгс/см <sup>3</sup>	550	420,75	261,8
Напруження на основній площадці земляного полотна $\sigma_h$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,0055	0,0062	0,0069

### Висновки

1. Запропоновані аналітичні розрахунки дозволяють оцінити зменшення пружних параметрів колії при наявності остаточних деформацій під шпалами.

2. При зменшенні коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалою  $C_b$  на 23% і 52%; величина пружних осадок під шпалою збільшилась відповідно на 20% і 50%, величина пружної просадки ґрунту основної площадки земляного полотна на 19,6% і 50% (тобто практично пропорційно), а напруження на основній площадці збільшились відповідно на 11,2% та 20,2%, що в 2 рази менше.

3. Пружне стискання підшпальної основи в зоні нерівності складається з двох показників: пружного стискання щебеневого баласту та пружного стискання верхніх шарів ґрунту насипу. Одним із факторів, який впливає на зменшення коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалою  $C_b$  є величина пружних осадок верхніх шарів ґрунту насипу, тому що пружні осадки ґрунту поступово переходять в остаточні за період експлуатації мостового переходу, що позитивно впливає на процес появи нерівності.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Даніленко Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
2. Тимошенко С. П. Прочность и колебания элементов конструкции // М.: Наука, 1975. – 705 с.
3. Клинов С. И. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях // М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
4. Клинов С. И. Переходной путь // Путь и путевое хозяйство. – 1997. – №7. – С. 26–27.
5. Шахуняц Г. М. Определение коэффициента упругого сжатия подрельсового основания // Путь и путевое хозяйство. – 1972. – №3. – С. 28–31.
6. Дяченко Л. І. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л. І. Дяченко, Г. П. Кислий, В. О. Курач. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт – Прес», 2001. – 104 с.

*Gennadij M. Talavira, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Head of Building Constructions and Structures Chair, State University  
for Transport Economy and Technologies)*

**CHANGE SETTINGS VERTICAL ELASTICITY OF BALLAST UNDER THE SLEEPERS IN RAIL TRACK IRREGULARITIES AREAS WITH INSUFFICIENT COMPACTION OF ROADBED**

*The article presents analytical study variation of elastic compression ballast under the sleepers in the areas of rail track irregularities in low soil compaction upper layers of the embankment.*

*Keywords: vertical resiliency, under sleepers basis, under sleeper cavity, dynamic load, rigidity under rail base.*

**REFERENCES**

1. E. I. Danilenko Pravila rozrahunkiv zaliznichnoi kolii na mitsnist i stiykyst [Regulations railway line calculations for strength and stability] / E. I. Danilenko, V. V. Rybkin. – K.: Transport Ukraine, 2006. – 168 p.
2. S. P. Tymoshenko Prochnist i kolebania elementov konstrukcii [The strength and vibrations of structural elements] // M.: Nauka, 1975. – 705 p.
3. S. I. Klinov Zheleznodorozhnyj put na iskusstvennyh soorujeniah [Railway track on artificial structures] // M.: Transport, 1990. – 144 p.
4. S. I. Klinov Perekhodnoy put [Transition path]// Put i putevoe hozaistvo [Road and track facilities] – 1997. – №7. – pp. 26-27.
5. G. M. Shahunyants Opređenje koeficienta uprugogo sjatiya podrelsovogo osnovania [Determination of elastic compression ratio rail base] // Put i putevoe hozaistvo [Road and track facilities] – 1972. – №3. – P. 28-31.
6. L. I. Dyachenko Instruksiya z utrimannya zemlyanogo polotna zaliznits Ukrainy [Instruction roadbed maintenance of railroads Ukraine] / L. I. Dyachenko, G. P. Sour, V. A. Kurach. – D.: Vid – vo ATZT VKF «Art – Media», 2001. – 104 p.

УДК 629.463.03:629.015

*А. О. Ловська, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ, РОЗМІЩЕНОГО НА ВАГОНІ- ПЛАТФОРМІ ПРИ МАНЕВРОВОМУ СПІВУДАРЯННІ**

*Інтенсифікація перевезень наливних вантажів через територію України зумовила необхідність створення і впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн. Для забезпечення міцності контейнерів-цистерн в експлуатації існує низка нормативних документів, які регламентують вимоги до їх конструкції і умов експлуатації. З метою визначення величин експлуатаційних навантажень, які діють на контейнер-цистерну, розміщену на вагоні-платформі при маневровому співударянні, як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції, створена математична модель. При створенні моделі враховані зазори між фітингами контейнера-цистерни і фітинговими упорами вагона-платформи, а також переміщення наливного вантажу відносно котла. Результати досліджень дозволили отримати уточнені величини прискорень, які діють на несучу конструкцію контейнера-цистерни при маневровому співударянні. Максимальні прискорення при цьому зафіксовані для випадку, коли зазор між фітингом і фітинговим упором складає 30 мм.*

*Результати розрахунку на міцність контейнера-цистерни з урахуванням максимальних величин прискорень, отриманих при математичному моделюванні, дозволили зробити висновок, що еквівалентні напруження в несучій конструкції значно перевищують допустимі.*

*Проведені дослідження можуть сприяти підвищенню збереження контейнерів-цистерн при маневровому співударянні, а також використанні при проектуванні контейнерів-цистерн нового покоління з підвищеними техніко-економічними і експлуатаційними показниками.*

*Ключові слова: контейнер-цистерна, динаміка, математичне моделювання, навантаженість конструкції, міцність.*

*Интенсификация перевозок наливных грузов через территорию Украины обусловила необходимость создания и внедрения в эксплуатацию контейнеров-цистерн. Для обеспечения прочности контейнеров-цистерн в эксплуатации существует ряд нормативных документов, которые регламентируют требования к их конструкции и условиям эксплуатации.*

© Ловська А. О., 2016

*С целью определения величин эксплуатационных нагрузок, которые действуют на контейнер-цистерну, размещенную на вагоне-платформе при маневровом соударении, как случае наибольшей нагруженности несущей конструкции, создана математическая модель. При создании модели учтены зазоры между фитингами контейнера-цистерны и фитинговыми упорами вагона-платформы, а также перемещения наливного груза относительно котла. Результаты исследований позволили получить уточненные величины ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнера-цистерны при маневровом соударении. Максимальные ускорения при этом зафиксированы для случая, когда зазор между фитингом и фитинговым упором составляет 30 мм.*

*Результаты расчета на прочность контейнера-цистерны с учетом максимальных величин ускорений, полученных при математическом моделировании, позволили сделать вывод, что эквивалентные напряжения в несущей конструкции значительно превышают допускаемые.*

*Проведенные исследования могут способствовать повышению сохранности контейнеров-цистерн при маневровом соударении, а также использованы при проектировании контейнеров-цистерн нового поколения с повышенными технико-экономическими и эксплуатационными показателями.*

*Ключевые слова: контейнер-цистерна, динамика, математическое моделирование, нагруженность конструкции, прочность.*

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності перевізного процесу в напрямку міжнародних транспортних коридорів (МТК) зумовлює необхідність розробки та впровадження в експлуатацію транспортних засобів нового покоління. Відомо, що одним з найбільш мобільних видів транспортних засобів, що знайшли використання у міжнародному комбінованому сполученні є контейнери. Останнім часом простежується ефективність використання контейнерів-цистерн, що обумовлено підвищенням перевезень об'ємів наливних вантажів через МТК.

Інтермодальність контейнерів-цистерн прогнозує підвищення рівня їх затребуваності при комбінованих перевезеннях. Це викликає необхідність розробки та впровадження у експлуатацію контейнерів-цистерн нового покоління з підвищеними техніко-економічними показниками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження динамічних навантажень, що діють на контейнер-цистерну, розміщену на вагоні-платформі при маневровому співударянні, наведені в [1].

Визначення прискорень, що діють на контейнер-цистерну проводилося з урахуванням зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни, а також при їх відсутності. Повздовжнє зусилля, що діє на вагон-платформу від вагона-бойка склало близько 2200-2800 кН.

Дослідження проведені стосовно контейнерів-цистерн для перевезення бензину та азотної кислоти, масою бруто, відповідно, 21,9 т та 24,0 т.

Важливо зазначити, що максимальна величина повздовжньої сили удару, яка може діяти на вагон-платформу з розміщеним на ньому вантажем, у тому числі контейнерами-цистернами, при маневровому співударянні, складає 3,5 МН [2]. Тому з метою отримання уточненого значення прискорень, які діють на контейнер-цистерну в експлуатації, необхідним є проведення додаткових досліджень.

Дослідження міцності контейнера-цистерни моделі ТК25 та оптимізація його несучої конструкції наведені в [3]. При складанні моделі міцності контейнера-цистерни враховані нормативні величини навантажень, наведені в [4]. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни з урахуванням уточнених експлуатаційних величин навантажень (податливість наливного вантажу, переміщення фітингів відносно фітингових упорів тощо) в роботі не проводиться.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз нормативних документів з питань забезпечення міцності контейнерів-цистерн в експлуатації дозволив зробити висновок, що найбільші величини динамічних навантажень, що діють на їх несучі конструкції та кріпильні пристрої, зазначені у ГОСТі 31232 «Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности» [4]. Оговорюється, що конструкція контейнера-цистерни повинна витримувати дію власних сил інерції, які виникають під час руху транспортного засобу, а також при маневровому співударянні вагонів, у тому числі при розпуску з гірок, екстремому гальмуванні у поїздах на малих швидкостях руху, при наступних прискореннях: у повздовжньому напрямку  $P_{np} - 2g$ ; поперечному напрямку  $P_n - 1g$ ; у вертикальному напрямку  $P_v - 2g$ ; при співударяннях: для завантаженого контейнера –  $4g$ ; для порожнього (з метою перевірки арматури) –  $5g$ .

Для визначення експлуатаційних значень динамічних навантажень, що діють на несучу конструкцію контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні використано математичну модель, наведену у [1]. У даній моделі враховано, що три контейнера-цистерни розміщені на довгобазному вагоні-платформі, а зв'язок між ними імітувався як пружньо-дисипативний, тобто кожний контейнер-цистерна має власну ступінь вільності у вертикальній площині.

Важливо зазначити, що в експлуатації для перевезення контейнерів-цистерн також використовуються вагони-платформи на рамі яких можуть розміститися два контейнери. Такі вагони мають меншу базу, а відповідно і менші величини переміщень несучої конструкції під дією вертикального навантаження від контейнерів.

Тому у даній роботі дослідження проведені щодо вагона-платформи моделі 13-4085, побудови ВАТ «Дніпровагонмаш» та контейнера-цистерни моделі ТК25, побудови ВАТ «Зареченский завод химического машиностроения». Зазначений контейнер-цистерна має типорозмір за ISO – 1СС та призначений для транспортування: ПЗМ, бензину, дизпалива, мастила моторного, сожі, сольвенту нафтового, нефрасу, піноутворювача.

Контейнер-цистерна розглядався як прикріплена маса відносно рами вагона-платформи, що має податливість в повздовжньому напрямку за рахунок наявності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни. Тобто, контейнер-цистерна має власну ступінь вільності до моменту упору фітинга у фітинговий упор, після чого контейнер-цистерна повторює траєкторію переміщення вагона-платформи. Зв'язок між рамою вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни імітувався як фрикційний. При цьому враховано, що контейнери-цистерни, розміщені на вагоні-платформі, мають однакову завантаженість котла наливним вантажем.

$$M'_{\text{пл}} \cdot x_{\text{пл}} + M_{\text{пл}} \cdot h \cdot \dot{\varphi}_{\text{пл}} = S_a - \sum_{i=1}^2 S_i, \quad (1)$$

$$I_{\text{пл}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{пл}} + M_{\text{пл}} \cdot h \cdot x_{\text{пл}} - g \cdot \varphi_{\text{пл}} \cdot M_{\text{пл}} \cdot h = l \cdot F_{\text{ТР}} (\text{sign} \Delta_1 - \text{sign} \Delta_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2) + F_{\varphi}, \quad (2)$$

$$M_{\text{пл}} \cdot \ddot{z}_{\text{пл}} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{\text{ТР}} (\text{sign} \Delta_1 - \text{sign} \Delta_2) - \sum_{i=1}^3 F_{z_i}, \quad (3)$$

$$\left( m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij} \right) \cdot (\ddot{x}_{\text{пл}} - \ddot{x}_i) + \left( m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot (\ddot{\varphi}_{\text{пл}} - \ddot{\varphi}_i) - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij} = S_i, \quad (4)$$

$$\left( I_{\alpha} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2 \right) \cdot (\ddot{\varphi}_{\text{пл}} - \ddot{\varphi}_i) + \left( m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot (\ddot{x}_{\text{пл}} - \ddot{x}_i) + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij} - g \cdot \left( m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot (\varphi_{\text{пл}} - \varphi_i) = F_{\alpha i}, \quad (5)$$

$$\left( m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij} \right) \cdot \ddot{z}_{\text{пл}} = 0, \quad (6)$$

$$I_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij} - m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{x}_{ij} - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\varphi}_i + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \xi_{ij} = 0 \quad (7)$$

де

$$M'_{\text{пл}} = M_{\text{пл}} + 2 \cdot m_T + \frac{n \cdot I}{r^2}; \quad \Delta_1 = z_{\text{пл}} - l \cdot \varphi_{\text{пл}}; \quad \Delta_2 = z_{\text{пл}} + l \cdot \varphi_{\text{пл}}$$

$$S_i = f_{mp} \cdot \text{sign} \cdot (x_{\text{пл}} - x_i)'$$

$M_{\text{пл}}$  – маса несучої конструкції вагона-платформи;  $I_{\text{пл}}$  – момент інерції вагона-платформи відносно повздовжньої вісі;  $S_a$  – величина повздовжньої сили удару в автозчеп;  $F_{\text{ТР}}^k$  – сила тертя, що виникає між фітинговим упором та фітингом при повздовжньому переміщенні контейнера;  $F_i$  – сила інерції, що виникає при повздовжньому переміщенні контейнера;  $m_T$  – маса візка;  $I$  – момент інерції колісної пари;  $r$  – радіус середнезношеного колеса;  $n$  – кількість вісей візка;  $l$  – половина бази вагона-платформи;  $F_{\text{ТР}}$  – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті;  $k_1, k_2$  – жорсткість пружин ресорного підвішування візків вагона-платформи;  $k$  – кількість тонів коливань наливного вантажу;  $m_i$  – маса тіла, яке еквівалентне і-му контейнеру-цистерні з частиною наливного вантажу, що не приймає участі у переміщенні відносно котла;  $m_{ij}$  – маса  $j$ -го маятника у і-му контейнері-цистерні;  $z_{ci}$  – висота центру ваги контейнера-цистерни;

$c_{ij}$  – відстань від площини  $z_i = 0$  до точки закріплення  $j$ -го маятника у  $i$ -му контейнері-цистерні;  $l_{ij}$  – довжина  $j$ -го маятника;  $I_{\theta}$  – приведений момент інерції  $i$ -го контейнера-цистерни та наливного вантажу, що не приймає участі у русі відносно котла;  $I_{ij}$  – момент інерції маятника;  $x, \varphi, z$  – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому, кутовому навколо повздовжньої вісі та вертикальному переміщенню вагона-платформи;  $x_i, \varphi_i$  – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому та кутовому навколо повздовжньої вісі переміщенню контейнера-цистерни;  $\xi_{ij}$  – кут відхилення  $j$ -го маятника від вертикалі.

При цьому  $x_i < 30$  мм [1, 5], якщо  $x_i \geq 30$  мм, тоді  $x_i = x$ .

Вертикальні переміщення контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи не враховувалися. До уваги також приймалася податливість наливного вантажу відносно стінок котла контейнера-цистерни. Рух наливного вантажу описувався сукупністю математичних маятників [1]. Величина сили повздовжнього удару, що діє на вагон-платформу, прийнята рівною максимальному значенню – 3,5 МН [2].

Визначення гідродинамічних характеристик наливного вантажу здійснювалося за методикою, наведеною у [6]. У якості наливного вантажу прийнятий бензин. На підставі проведених розрахунків для випадку максимально-допустимої завантаженості котла контейнера-цистерни у відповідності з [7], отримано значення  $m_{ij} \approx 6,8$  т,  $I_{ij} \approx 250$  т·м<sup>2</sup>.

Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в середовищі програмного забезпечення MathCad.

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що при відсутності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни, прискорення, що діє на несучу конструкцію контейнера-цистерни складає близько 40 м/с<sup>2</sup>. Максимальні прискорення отримані для випадку, коли зазор між фітинговим упором та фітингом дорівнює 30 мм. При цьому прискорення складають близько 200 м/с<sup>2</sup>.

Отримані результати прискорень використані для визначення напружено-деформованого стану несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні.

Побудова комп'ютерної просторової геометричної моделі контейнера-цистерни здійснювалася у середовищі програмного забезпечення SolidWorks [8]. Розрахунок на міцність проведений за допомогою методу скінчених елементів у програмному комплексі CosmosWorks.

При складанні скінчено-елементної моделі контейнера-цистерни (рис. 1) використані ізопараметричні тетраедри, оптимальна кількість яких визначена за допомогою графоаналітичного методу. Максимальний розмір елементу сітки склав 485,68 мм, мінімальний – 97,14 мм. Кількість елементів сітки склала 169106, вузлів – 56121, максимальне співвідношення боків – 68,862, відсоток елементів з співвідношенням боків менше 3 склав 6,61, а більше 10 – 19,3. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розміру елементу – 1,7.

Матеріал конструкції контейнера-цистерни – сталь 345-09Г2С.

При побудові моделі міцності контейнера-цистерни враховані наступні навантаження: вертикальне  $P_e$ , повздовжнє  $P_{np}$ , бокове  $P_n$ , а також тиск наливного вантажу на котел  $P_p$ .

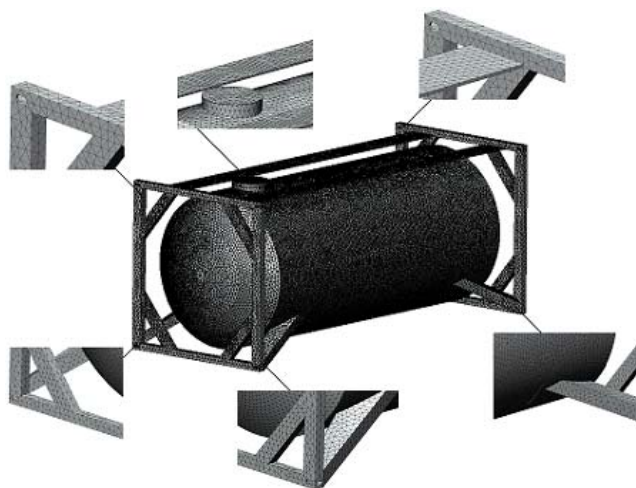


Рис. 1. Скінчено-елементна модель контейнера-цистерни моделі ТК25

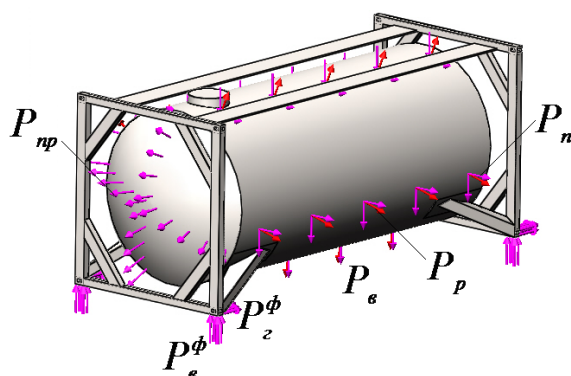


Рис. 2. Модель міцності контейнера-цистерни моделі ТК25

Крім того, в моделі враховані реакції, які виникають у зонах взаємодії контейнера-цистерни з фітинговими упорами вагона-платформи у вертикальному напрямку  $P_e^{\phi}$  та у повздовжньому  $P_z^{\phi}$  під час руху.

Допустимі напруження при співударянні прийняті рівними межі плинності матеріалу конструкції.

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання контейнера-цистерни на фітингові упори вагона-платформи.

Результати проведених розрахунків дозволили зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження в конструкції контейнера-цистерни виникають у зоні взаємодії опори котла з фітинговим упором та складають близько 1000 МПа (рис. 3), максимальні переміщення в вузлах конструкції склали 13,6 мм, деформації –  $6,08 \cdot 10^{-3}$ .

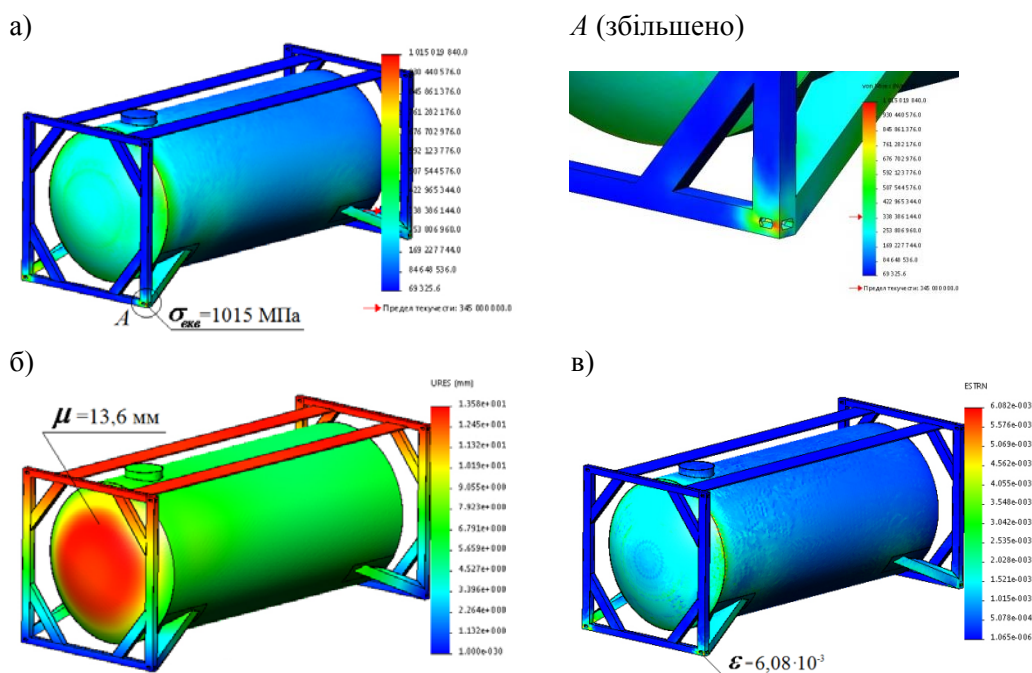


Рис. 3. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції контейнера-цистерни моделі ТК25  
а) напружений стан; б) переміщення в вузлах; в) деформації в конструкції

**Висновки та пропозиції.** На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проведені дослідження динаміки контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи дозволили отримати уточнену величину прискорення, яке діє на контейнер-цистерну, розміщену на вагоні-платформі при маневровому співударянні. Встановлено, що з урахуванням зазорів між фітингами та фітинговими упорами прискорення, яке діє на контейнер-цистерну при маневровому співударянні значно перевищує нормативну величину [4];

2. Дослідження напружено-деформованого стану несучої конструкції контейнера-цистерни з урахуванням динамічного навантаження, яке діє на нього при маневровому співударянні з урахуванням зазорів між фітингами та фітинговими упорами, дозволило зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження значно перевищують допустимі;

3. Для забезпечення збереження контейнерів-цистерн при маневрових співударяннях необхідним є обмеження їх переміщень відносно рами вагона-платформи;

4. При проектуванні контейнерів-цистерн нового покоління необхідним є урахуванням уточнених величин прискорень, що можуть діяти на них в експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Богомаз Г. И. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномашенцева // 36. наук. праць »Динаміка та керування рухом механічних систем» – Київ: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. – С. 87 – 95.
2. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)*. [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
3. *Ловська А. О. Удосконалення контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів шляхом впровадження в їх несучі конструкції круглих труб* / А. О. Ловська, О. М. Мельничук, О. В. Фомін // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – №1. – С. 40 – 44.
4. *Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности*. ГОСТ 31232. – [Действителен от 28.03.2005] – Минск: НП РУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)», 2005. – 6 с.
5. *Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах при перевозках их по железным дорогам колеи 1520 мм стран-участниц СМГС. Ч. 1. Общие положения*. – ОСЖД, 2012. – 681 с.
6. *Кривовязюк Ю. П. Оценка эквивалентной нагруженности четырехосных железнодорожных цистерн с жидкими грузами различной плотности при продольных ударах*: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог и тяга поездов» / Ю. П. Кривовязюк. – Днепропетровск, 1986. – 157 с.
7. *Правила перевозок опасных грузов. К соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении. Том 3*. – ОСЖД, 2011. – 531 с.
8. *Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов* / А. А. Алямовский. – М.: ДМК, 2007. – 784 с., ил. (Серия «Проектирование»).

*Alyona O. Lovskaya, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor of Wagons Chair, The Ukrainian State University of Railway Transport)*

**RESEARCH OF DURABILITY OF BEARING STRUCTURE OF THE TANK-CONTAINER WHICH WAS PLACED ON A TRAIN PLATFORM WHEN A TRAIN SHUNTING COLLISION**

*The intensification of liquid cargoes transportation via the territory of Ukraine determined the creation and introduction of tank-containers. To ensure the strength of tank-containers in operation there are a number of regulatory documents regulating requirements for their design and operating conditions. The mathematical model was created to determine the quantities of operational loads which act on a tank-container placed on a train platform when a train shunting collision, considered as the greatest event of loading of the support structure. When a model was created it was taken into account the gaps between the fittings, tank containers and fitting supports the train platform and liquid cargos movement towards the boiler. The research results allowed to obtain more accurate values of specified accelerations that act on the supporting structure of a tank-container during shunting collision. The maximum accelerations were recorded for the case, when the gap between the fitting and the fitting supports was 30 mm.*

*The results of the calculation of the strength of the tank container with the maximum values of accelerations obtained with mathematical modeling, allowed us to*

*conclude that equivalent stresses in the supporting structure significantly exceed the permissible steel grades for metal tank-container.*

*The research can improve the safety of tank containers when shunting collision and can be used in designing of tank-containers of new generation with increased technical, economic and operational performance.*

**Keywords:** *tank-container, the dynamic's, mathematical modeling, loading of construction, strength.*

## REFERENCES

1. Bogomaz G. I. Nagruzhennost konteynerov-tsistem, raspolozhennyih na zheleznodorozhnoy plat-forme, pri udarah v avtostsepku / G. I. Bogomaz, D. D. Mehov, O. P. Pilipchenko, Yu. G. Chernomash-entseva // Zb. nauk. prats "Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem" – KiYiv: ANU, Institut tehnichnoyi mehaniki, 1992. – p. 87 – 95.
2. Normyi dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamo-hodnyih). [Tekst]. – M.: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 p.
3. Lovska A. O. Udoskonalennya konteyneriv-tsistem dlya perevezennya naftoproduktiv shlyahom vprovadzhennya v yih nesuchi konstruktsiyi kruglih trub / A. O. Lovska, O. M. Melnichuk, O. V. Fomin // Zaliznichniy transport Ukrayini. – 2015. – №1. – P. 40 – 44.
4. Konteyneryi dlya perevozki opasnyih gruzov. Trebovaniya po ekspluatatsionnoy bezopasnosti. GOST 31232. – [Deystvitelen ot 28.03.2005] – Minsk: NP RUP "Belorusskiy gosudarstvenniy institut standartizatsii i sertifikatsii (BelGISS)", 2005. – 6 p.
5. Pravila razmescheniya i krepleniya gruzov v vagonah i konteynerah pri perevozkah ih po zheleznyim dorogam kolei 1520 mm stran-uchastnits SMGS. Ch. 1. Obschie polozheniya. – OSZhD, 2012. – 681 p.
6. Krivovyazyuk Yu. P. Otsenka ekvivalentnoy nagruzhennosti chetyirehosnyih zheleznodorozhnyih tsistem s zhidkimi gruzami razlichnoy plotnosti pri prodolnyih udarah: dis. na soiskanie uchenoy stepeni kand. tehn. nauk: spets. 05.22.07 "Podvizhnoy sostav zheleznyih dorog i tyaga poezdov " / Yu. P. Krivovyazyuk. – Dnepropetrovsk, 1986. – 157 p.
7. Pravila perevozk opasnyih gruziv. K soglasheniyu o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom gru-zovom soobschenii. Tom 3. – OSZhD, 2011. – 531 p.
8. Alyamovskiy A. A. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Inzhenerniy analiz metodom konech-niyh elementov / A. A. Alyamovskiy. – M.: DMK, 2007. – 784 p., il. (Seriya "Proektirovanie").

УДК 621.314.2

**С. О. Гулак**

*(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**Е. К. Єрмоленко**

*(аспірант Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### **МОДЕЛЬ СИСТЕМИ «ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ – КОНТАКТНА МЕРЕЖА – ТЯГОВИЙ ПРИВІД ЕЛЕКТРОВОЗА СЕРІЇ ВЛ-80<sup>Т,К</sup>»**

*У статті розглянуті та досліджені причини виникнення вищих гармонійних складових напруги контактної мережі, вплив цих гармонійних складових на утворення вищих гармонік струму в ланцюгах тягового приводу електровозів серії ВЛ80<sup>Т,К</sup>. Побудована модель системи «тягова підстанція – контактна мережа – тяговий привід електровоза». Отримані епюри напруги на ступопримачі електровоза.*

*Ключові слова:* Модель тягового електропривода, модель контактної мережі, модель тягової підстанції, адаптивний алгоритм керування, компенсатор реактивної потужності.

*В статье рассмотрены и исследованы причины возникновения высших гармонических составляющих напряжения контактной сети, влияние этих гармонических составляющих на образование высших гармоник тока в цепях тягового привода электровозов серии ВЛ80<sup>Т,К</sup>. Построена модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – тяговый привод электровоза». Получены эпюры напряжения на токоприемнике электровоза.*

*Ключевые слова:* Модель тягового электропривода, модель контактной сети, модель тяговой подстанции, адаптивный алгоритм управления, компенсатор реактивной мощности.

**Постановка проблеми.** Аналіз факторів, що впливають на величину коефіцієнта потужності електровозів серій ВЛ80<sup>Т,К</sup> показує, що коефіцієнт потужності електровоза залежить від зсуву фаз між напругою живлення тягового приводу та приводу системи допоміжних машин та струмами, що протікають у даних системах приводу та коефіцієнтів спотворень форми відповідних струмів, який, у свою чергу, залежить від величини вищих гармонійних складових відповідних струмів. Причинами виникнення вищих гармонійних складових струму, що протікає в силових ланцюгах тягового приводу електровоза є нелінійні опори вентилів випрямної установки, нелінійна залежність індуктивності згладжуючого реактора та нелінійна залежність потоку збудження від струму навантаження. Це при ідеальній синусоїдальній формі кривої напруги живлення (напруги контактної мережі).

© Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., 2016

Але контактна мережа є в електричному сенсі довгою лінією з розосередженими параметрами. В довгій лінії протікають електричні процеси, в наслідок яких крива напруги контактної мережі буде змінюватись не тільки в часі, але в залежності і від відстані між фідером живлення контактної мережі і струмоприймачем електровоза. Так, за рахунок поверхневого ефекту, що виникає після початку і закінчення генеруються гармоніки напруги, що багатократно перевищують частоту мережі живлення, і які здійснюють істотний вплив на розподіл струму в перерізі контактного проводу і особливо в рейковій мережі.

Тому є актуальним завдання моделювання електромагнітних процесів, що відбуваються в системі «тягова підстанція – контактна мережа – електровоз». Чим більш адекватною буде математична модель реальної ділянки контактної мережі, тим її точнішою буде врахована зміна її параметрів при русі електровоза по електрифікованій ділянці. Такий облік необхідний для вирішення низки проблем, таких, наприклад, як створення систем управління компенсатором реактивної потужності, що дозволяє поліпшити енергетичні показники електровоза змінного струму.

Для побудови адаптивного алгоритму керування системою управління компенсатором реактивної потужності необхідно мати інформації про наявність та параметри вищих гармонійних складових напруги контактної мережі при роботі системи «тягова підстанція – контактна мережа – електровоз».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведено аналіз факторів, які впливають на зниження коефіцієнта потужності тягового електропривода та розглянуто шляхи підвищення коефіцієнта потужності тягового електропривода на електровозах серії ВЛ80<sup>Т,К</sup> [1, 2].

Проведено аналіз факторів, що впливають на виникнення вищих гармонійних складових напруги контактної мережі та вибрана модель контактної мережі в системі «тягова підстанція – контактна мережа – електровоз» [3, 4, 5, 6].

Для ефективного аналізу вищих гармонійних складових напруги контактної мережі слід розробити модель системи «тягова підстанція – контактна мережа – тяговий привод електровоза» та отримати епюри напруги на струмоприймачі для подальшої оцінки вищих гармонійних складових цієї напруги з метою побудови адаптивного алгоритму керування компенсатором реактивної потужності.

**Мета статті.** Розглянути фактори, що впливають на виникнення вищих гармонійних складових напруги контактної мережі в системі «тягова підстанція – контактна мережа – електровоз», вибрати ефективну модель контактної мережі, тягової підстанції та тягового приводу електровоза в даній системі. Отримати епюри напруги на струмоприймачі для подальшого спектрального аналізу з метою побудови адаптивного алгоритму керування компенсатором реактивної потужності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Модель системи «тягова підстанція – контактна мережа – тяговий привід електровоза» складається з моделі підстанції, моделі контактної мережі і моделі тягового електропривода електровоза серій ВЛ80<sup>К,Т</sup>.

На електровозах серії ВЛ80<sup>К,Т</sup> в якості тягового двигуна використовуються тягові двигуни пульсуючого струму НБ-418К6 з послідовним збудженням. Процеси в таких двигунах описуються системою рівнянь:

$$U_d = i_d \cdot r_d + L_d \frac{di_d}{dt} + C_E \cdot v \cdot \Phi \quad (1)$$

$$i_d = a \cdot \Phi + b \cdot \Phi^3 \quad (2)$$

$$F = C_M \cdot i_d \cdot \Phi \quad (3)$$

де  $U_d, i_d, r_d$  – напруга, струм і активний опір двигуна відповідно,  $L_d = L_a + L_{KO} + L_{ДП} + L_B(i_d)$  – повна індуктивність двигуна, яка складається із суми індуктивності якоря, компенсаційної обмотки, додаткових полюсів та обмотки збудження відповідно. Індуктивність обмотки збудження є функцією струму двигуна, ця залежність наведена на рис. 1.  $C_E \cdot v \cdot \Phi$  – проти – ЕРС двигуна,  $i_d = a \cdot \Phi + b \cdot \Phi^3$  – апроксимована нелінійна залежність між струмом та основним магнітним потоком,  $a, b$  – коефіцієнти апроксимації, залежність наведена на рис. 2,  $F$  – сила тяги двигуна,  $U_B = i_d \cdot r_d + L_d \frac{di_d}{dt}$  – напруга збудження.

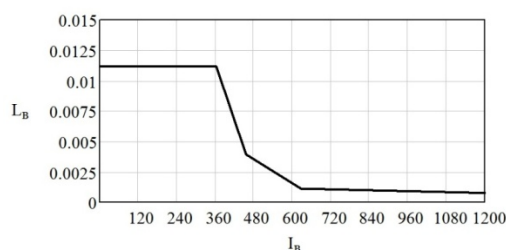


Рис. 1. Залежність індуктивності обмотки збудження від струму двигуна

Основою моделі двигуна є модель нелінійної індуктивності обмотки збудження, тому для створення моделі у програмному засобі Simulink пакета Math-LAB необхідно спочатку перейти до операторної форми запису напруги на обмотці збудження, враховуючи, що  $L_B(i_d) \frac{di_d}{dt} = \frac{d\Phi}{dt}$ , напруга збудження буде мати вигляд:

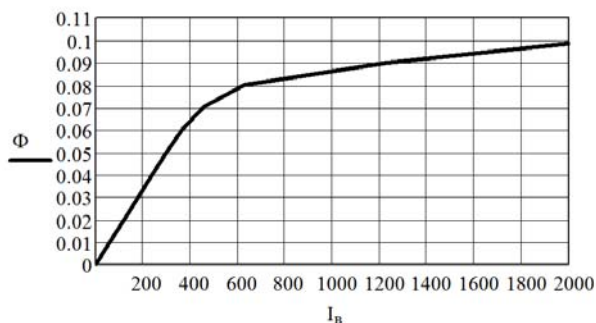


Рис. 2. Залежність потоку збудження від струму двигуна

$$U_B(p) = i_d(p) \cdot r_d + p \cdot \Phi(p) \quad (4)$$

Наступним кроком є виведення залежності між напругою та магнітним потоком двигуна:

$$\Phi(p) = \frac{1}{p} \cdot (U_B(p) - i_d(p) \cdot r_d) \quad (5)$$

Користуючись залежністю (5) будемо модель обмотки збудження. Як і більшість стандартних моделей пакета Simulink, модель обмотки збудження (рис. 3) виконана на основі блоку керованого джерела струму controlled current source, який на моделі позначений  $i\_L$ , паралельно з ним включений розв'язуючий опір  $R0$ , задача якого вимірювати напругу, яка прикладається до обмотки збудження. Напруга на розв'язуючому опорі міряється за допомогою блока вольметра voltage measurement  $V0$  та подається на вхід блоків, що моделюють залежність (5).

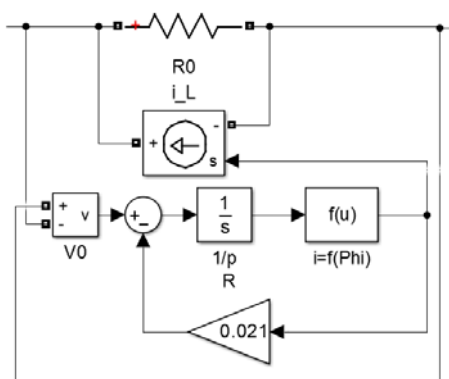


Рис. 3. Модель обмотки збудження тягового двигуна

Для моделювання залежності (5) використані такі блоки: блок додавання сигналів sum, що налаштований так, щоб працювати як від'ємний зворотній зв'язок, блок інтегрування integrator  $\frac{1}{p}$ , блок математичної функції function, у якому задана апроксимована функція  $i_d = a \cdot \Phi + b \cdot \Phi^3$ , та блок підсилювача gain коефіцієнт підсилення якого дорівнює опору обмотки збудження. Напруга з розв'язуючого опора подається на блок від'ємного зв'язку, де з неї віднімається падіння напруги на обмотці збудження, далі сигнал напруги подається на блок інтегрування, виходом якого є потік обмотки збудження. Після цього потік подається на блок математичної функції, виходом якої є струм обмотки збудження, який необхідний для створення даного магнітного потоку. Цей струм надходить до блоку керованого джерела струму, який генерує струм прямопропорційно даному сигналу, а також на вхід підсилювача, коефіцієнт підсилення якого дорівнює опору обмотки збудження. Вихідним сигналом підсилювача є падіння на-

пруги на активному опорі обмотки збудження, яке, як зазначалось вище, віднімається від напруги, що прикладена до обмотки збудження.

Наступним кроком є додавання всіх інших блоків моделі тягового двигуна. Модель приведена на рис. 4. Для моделювання противо-ЕРС, яке дорівнює  $C_E \cdot v \cdot \Phi$ , використовується блок керованого джерела напруги controlled voltage source  $E$ , де формується напруга прямо пропорційна керуючому сигналу.

Сигнал формується шляхом перемноження сигналу струму на машинну сталу та на швидкість електровоза, які задані у вигляді констант за допомогою однієї-двох блоків, множення виконується за допомогою блоку product. Оскільки електромагнітні процеси у електричних колах проходять значною мірою швидше ніж змінюється швидкість руху електровоза, тому її приймаємо як константу. Результат множення подається на інформаційний вхід керованого джерела напруги.

Лінійні індуктивності якоря, додаткових полюсів та компенсаційної обмотки задані за допомогою стандартного блоку  $RLC$  branch із бібліотеки SimPowerSystems.

Отримана модель згортається в один блок за допомогою опції create subsystem. Програма автоматично генерує усі порти для підключення моделі всіх інших елементів. Порти «+», «-» моделюють плюсову та мінусову клему двигуна. До порту  $V_e$  підводиться константа, що відповідає швидкості електровоза. Порти  $\Phi$  та  $E = C \cdot N \cdot \Phi$  виводять значення магнітного потоку та противо-ЕРС відповідно.

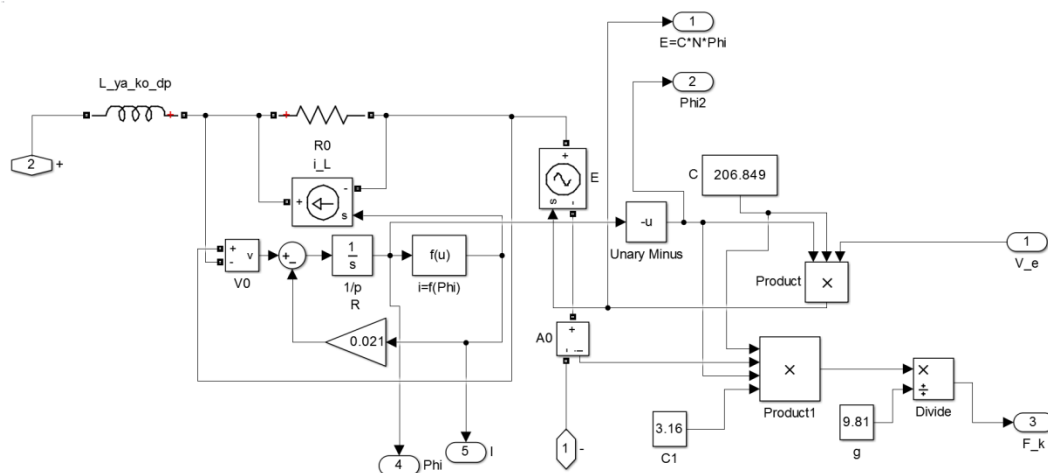


Рис. 4. Модель тягового двигуна, виконана в пакеті Simulink

Наступним кроком є додавання інших елементів силового кола: випрямляча, трансформатора, опору контактної мережі та приведенного опору підстанції. Спрощена схема силового кола ВЛ80<sup>Т.К.</sup>:

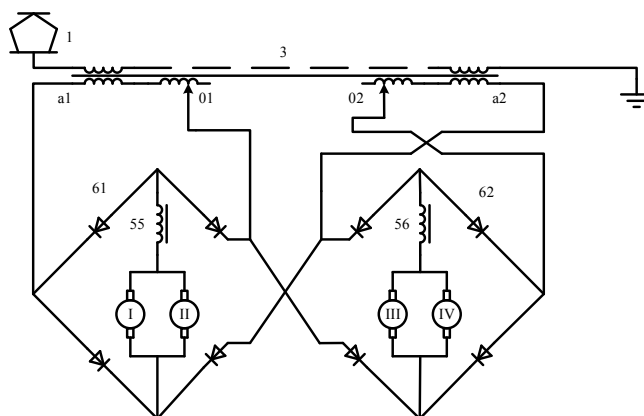


Рис. 5. Спрощена схема силового кола ВЛ80<sup>Т,К</sup>

Рівняння, які описують процеси у схемі на рис. 5, можна представити у вигляді системи рівнянь:

$$e_{TP} = e_{20} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \quad (6)$$

$$\frac{di_{TP}}{dt} = \frac{e_{TP} \cdot G_2 - [e_{TP} - (r_{cp} + r_d) \cdot i_d - r_u \cdot (i_d - i_B) - r_{TP} \cdot i_{TP}] \cdot G_1}{L_{TP} + [L_{DE}(i_d) + L_{CPE}(i_d)] \cdot G_1} \quad (7)$$

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{[(e_{TP} - r_{TP} \cdot i_{TP}) \cdot G_2 - r_u \cdot (i_d - i_B) - (r_{cp} + r_d) \cdot i_d \cdot G_1] \cdot G_1}{L_{TP} \cdot G_1 + L_{DE}(i_d) + L_{CPE}(i_d)} \quad (8)$$

$$\frac{di_K}{dt} = \frac{1}{L_K} \cdot (-e_K - r_K \cdot i_K) \cdot G_3 \quad (9)$$

$$\frac{di_B}{dt} = \frac{1}{L_{BE}(i_B)} \cdot [r_B \cdot i_B - r_u \cdot (i_d - i_B)] \quad (10)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{r_{BX} \cdot (F_B - i_B \cdot w_B)}{2 \cdot p \cdot \sigma \cdot w_{BX}^2} \quad (11)$$

$$F_B = f(\Phi) \quad (12)$$

де  $i_{TP}$ ,  $i_d$ ,  $i_K$ ,  $i_B$  – струм вторинної обмотки трансформатора, тягового двигуна, комутації випрямної установки, обмотки збудження відповідно;

$r_{cp}$ ,  $r_d$ ,  $r_B$ ,  $r_K$ ,  $r_u$ ,  $r_{BX}$  – активні опори згладжуючого реактора, тягового двигуна, обмотки збудження тягового двигуна, контура комутації, шунтуючого резистора, вхідний опір відповідно;

$e_{TP}$  – ЕРС вторинної обмотки трансформатора;

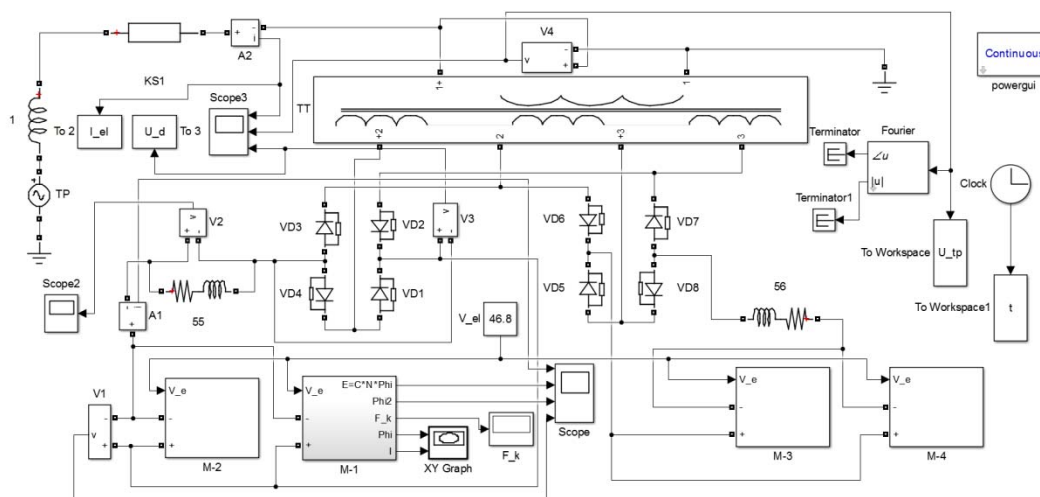
$L_{ДЕ}, L_{BE}, L_{CPE}, L_{TP}, L_K$  – індуктивності тягового двигуна, обмотки збудження тягового двигуна, згладжуючого реактора та контура комутації відповідно;

$G_1, G_2, G_3$  – логічні змінні, які визначають, у якому стані зараз схема, у момент комутації, чи у момент прямої провідності вентилей;

$F_B = f(\Phi)$  – залежність, яка є оберненою до магнітної характеристики  $\Phi = f(F_B)$ .

Користуючись схемою на рис. 5 рівняннями (6–12) та вище описаною моделлю тягового двигуна, модель силового кола у програмному пакеті Matlab Simulink буде виглядати таким чином (рис. 6).

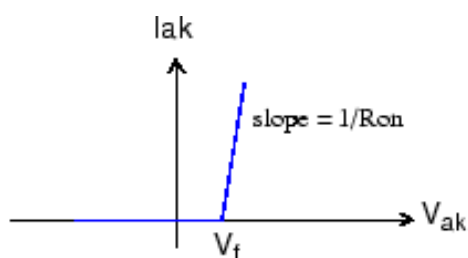
Раніше створена модель тягового двигуна згорнута в окремі блоки M-1 – 4 за допомогою функції create subsystem, до яких підводиться напруга та швидкість, яка задана у вигляді константи V\_el, з якою рухається електровоз. З блоку першого двигуна виводяться усі розрахункові параметри, такі як противо-РС, сила тяги, залежність магнітного потоку від струму. Для відображення величин, що змінюються у часі, використовується блок віртуального осцилографа scope. Сила тяги відображається на індикаторі sink F\_k. Сигнали магнітного потоку Phi та струму I прямують у блок побудування графіку XY Graph.



**Рис. 6. Модель «Тягова підстанція – контактна мережа – тяговий електропривід електровоза», виконана в середовищі Simulink**

Згладжуючі реактори 55, 56 побудовані за допомогою стандартного блоку RLC branch, який в даному випадку моделює активно-індуктивний опір. Оскільки згладжуючий реактор має феромагнітне осердя, то його магнітна характеристика звичайно буде нелінійна, але в нашому випадку моделювання проводилось при струмах у межах яких індуктивність можна прийняти лінійною.

Випрямна установка змодельована за допомогою стандартних моделей діодів бібліотеки SimPowerSystems. ВАХ у моделі представляється у вигляді спрощеної лінійної функції:



$V_f$  – напруга потенційного бар'єру;

$R_{on}$  – опір діода в прямому напрямку

Рис. 7. Лінійна функція, за допомогою якої моделюється ВАХ випрямної установки

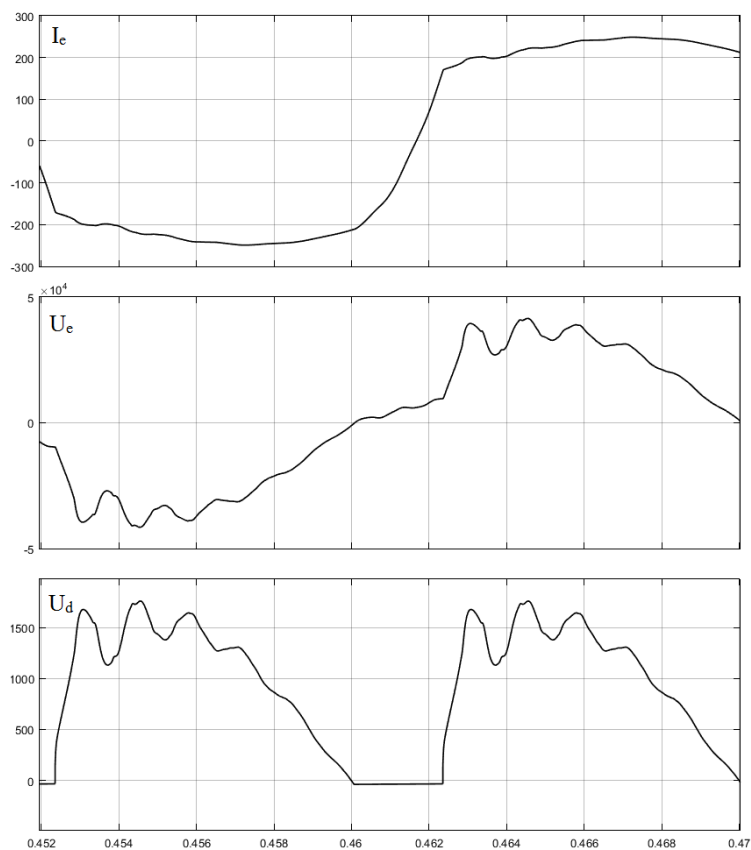
Як відомо з теорії нелінійних електричних кіл, певну кількість нелінійних опорів, з'єднаних послідовно чи паралельно між, собою можна замінити одним, при цьому у випадку, якщо елементи з'єднані послідовно, ВАХ елементів треба графічно додати по напрузі, а у випадку паралельного з'єднання – по струму. У випрямній установці електровозів ВЛ80К,Т одне плече має 12 паралельних віток, де у кожній включено по 4 діода послідовно. У моделі кожне плече замінено еквівалентним діодом  $VD1-VD8$ .

Модель трансформатора моделюється стандартним блоком багатообмоточного трансформатора Multi-winding transformer (в моделі ТТ). Для моделювання вводиться повна потужність і частота, на якій працює трансформатор, напруги первинної та вторинної обмоток, активні опори та індуктивності розсіювання обмоток, а також параметри контуру намагнічування.

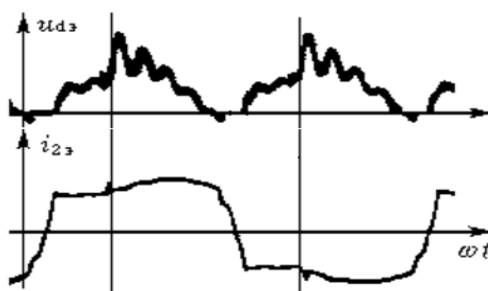
Для вимірювання струму і напруги використовуються блоки Voltage та Current Measurement A1,2.. , V1,2... Для зняття часових діаграм використовуються блоки віртуального осцилографа Scope, які отримують сигнали з вольтметрів та амперметрів. Також ці сигнали надходять до блоків *to workspace*, які направляють ці сигнали у вигляді масиву даних до робочої області програмного середовища MatLab для подальшого їх аналізу.

Моделювання проводилось для однієї секції ВЛ80<sup>Т</sup> в режимі тяги зі швидкістю довготривалого режиму 46,8 км/год на 33 позиції повного поля при номінальній синусоїдальній напрузі 27,5 кВ на шині тягової підстанції, при довжині ділянки контактної мережі 50 км. В результаті моделювання були отримані часові діаграми струму секції електровоза (рис. 8), напруги на струмоприймачі та випрямленої напруги:

Аналізуючи ці графіки можна сказати що після комутації випрямляча є яскраво виражений перехідний коливальний процес, який зумовлений індуктивно – ємнісним опором системи «контактна мережа електровоз». Причому, чим далі знаходиться електровоз від підстанції, тим яскравіше виражені ці коливання. Збіжність результатів та адекватність моделі перевіримо порівнюючи отримані результати с кривими напруг і струмів знятих випробовуванні електровоза ВЛ85 на випробувальному кільці ВНИИЖТ які надані у роботах[3, 6]. Криві наведені на рис. 9.



**Рис. 8. Часові епюри струму секції електровоза, напруги на струмоприймачі та випрямленої напруги**



**Рис. 9. Епюри напруги на струмоприймачі та струму секції електровоза, знятих при випробуванні електровоза ВЛ85 на випробувальному кільці ВНИИЖТ**

Як видно, характер та форма коливань випрямленої напруги, отриманих у результаті моделювання, достатньо добре збігаються з експериментальними даними та добре відображають електромагнітні процеси, які проходять у системі «підстанція – контактна мережа – електровоз». Тобто, розроблена модель є адекватною.

Аналізуючи часові діаграми струму в секції електровоза і напруги на струмоприймачі, можна зробити висновки про фазовий зсув між струмом у секції електровоза і напругою на струмоприймачі та наявність вищих гармонійних складових, як в спектрі напруги на струмоприймачі, так і в спектрі струму в секції електровоза. Обидва ці фактори погіршують коефіцієнт потужності електровоза.

Аналіз кривої напруги на виході випрямної установки також показує наявність вищих гармонійних складових у спектрі напруги. Це також впливає на погіршення коефіцієнта потужності електровоза.

Для покращення коефіцієнта потужності пропонується:

- Застосувати блок конденсаторів для усунення фазового зсуву між напругою на струмоприймачі та струмом у секції електровоза;
- Застосувати стабілізатор форми напруги живлення тягового електропривода для зменшення впливу вищих гармонійних складових напруги контактної мережі на роботу тягового електропривода;
- Застосувати у зворотному зв'язку в ланцюгах тягового приводу стабілізатор форми струму, що протікає в ланцюгах тягового приводу для зменшення впливу вищих гармонійних складових струму секції електровоза на коефіцієнт потужності.

### Висновки та пропозиції

1. Розглянуто принципи побудови моделей тягового приводу електровоза серій ВЛ-80<sup>Т,К</sup>, контактної мережі змінного струму та тягової підстанції.
2. Отримані часові діаграми кривих напруги на струмоприймачі електровоза, струму, що протікає в секції електровоза та випрямленої напруги. Порівнявши отримані епюри з епюрами, знятими на випробувальному кільці ВНИИЖТ, можна зробити висновок про адекватність розробленої моделі.
3. По отриманим епюрам напруги на струмоприймачі, струму секції електровоза та випрямленої напруги виявлено фактори, що впливають на погіршення коефіцієнта потужності електровоза серії ВЛ-80<sup>Т, К</sup> та запропоновано шляхи зменшення впливу цих факторів на коефіцієнт потужності.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Гулак С. Обґрунтування застосування активних методів компенсації реактивної енергії на електровозах змінного струму серії ВЛ80<sup>К,Т,С</sup>. Збірник тез науково-практичної конференції «Розвиток науки і техніки на залізничному транспорті». – К.: ДЕТУТ, 2014. – с. 39-40.
2. Гулак С.А., Слепухин А.Ю., Черных Ю.М., Ермоленко Э.К. Метод уменьшения высших гармоник в напряжении питания тягового привода электровозов переменного тока с коллекторными двигателями // «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт». Научно – практический журнал №1 (28) 2014 года, г. Гомель. – С. 11-12.
3. Алексеев А.С. Использование метода конечных элементов для исследования переходных процессов в контактной сети. Труды 2 Международного симпозиума. М.: МИИТ, 2000.
4. Савоськин А.Н., Кулинич Ю.М., Алексеев А.С. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе контактная сеть-электровоз. Электричество. – 2001. №10.
5. Ермоленко Д. В. Повышение электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения с тиристорным электроподвижным составом. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М.: ВНИИЖТ, 1999.
6. Кулинич Ю.М., Находкин В.В. и др. Испытания электровоза ВЛ85 с разнофазным управлением выпрямительно-инверторными преобразователями. Вестник ВНИИЖТ, -1986. №4, С.23-26.
7. М.Г. Чиликин и др. Основы автоматизированного электропривода. Учебное пособие для вузов. М.: Энергия, 1974. – 568 с.

*Sergey Goolak*

*(senior Lecturer of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Edward Yermolenko*

*(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

**MODEL SYSTEM «TRACTION SUBSTATION – CONTACT NETWORK – TRACTION DRIVE OF ELECTRIC LOCOMOTIVES SERIES VL-80<sup>T,K</sup>»**

*The article examined and investigated the cause of the higher harmonic components of the contact voltage, the influence of the harmonic components in the production of the higher harmonic current in the traction drive of electric locomotives VL80T By chains, a model system «traction substation – contact network – electric traction drive». These diagrams of electric voltage to the current collector.*

*Keywords: model traction drive, model the contact network, traction substation model, adaptive control algorithm, reactive power compensator..*

**REFERENCES**

1. Goolak S. Obgruntuvannya zastosuvannya aktyvnykh metodiv kompensatsiyi reaktivnoyi energii na eletrovozhah zminnogo strumu seriyi VL80<sup>k,t,s</sup>. Zbirnyk tez naukovo- praktychnoyi konferentsiyi “Rozvytok nauky i tehniki na zaliznychnomu transporti”. – K.: DETUT. – s. 39-40.
2. Goolak S.A., Slyepuchin A.U., Chernyh U.M., Yarmolenko E.K. Metod umensheniya vysshych garmonik v napryazhenii pitaniya tyagovogo privoda elektrovozov peremennogo toka s kolektornymi dvigatyalyami. // “Vyesnik ByelGUTA: Nauka I transport”, Nauchno-pratichesu zhurnal №1(28) 2014 goda, g. Gomel. – s. 11-12.
3. Alyeksyeyev A.S. Ispolsovaniye metoda konyechnykh elyementov dlya isslyedovaniya perehodnykh protsesov v contactnoy syeti. Trudy 2 Mezhdunarodnogo simpoziuma. M.: MIIT. – 2000.
4. Savoskin A.N., Kulinich U.M. Alyeksyeyev A.S. Matematicheskoye modelirovaniye electromagnitnykh v dinamicheskoy sistemye contactnaya set – electrovoz. Electrichestvo. – 2001. №10.
5. Yermolenko D.V. Povysheniye electromagnitnoy sovmestimosti sestemy tyagovogo electrosnabzheniya s tiristornym electropodvizhym sostavom/ Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stypeni kand. the. nauk. M.:VNIIZHT. 1999.
6. Kulinich U.M., Nahodkin V.V. I dr. Ispytaniya elektrovoza VL-85 s raznofaznym upravleniyem vypramilno-invertornymi preobrazovatelyami. Vyestnik VNIIZHT? – 1986. №4, c. 23-26.
7. M.G. Chilikin i dr. Osnovy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Uchebnoye posobie dlya vuzov. M.: Energia, 1974. – 568 s.

УДК 629.463.001.63

**О. В. Бурлуцький**

*(інженер кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

**О. А. Логвіненко, к.т.н., доцент**

*(доцент кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

### **ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРАВКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕМЕНТІВ НАПІВВАГОНІВ**

*Обґрунтована актуальність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на дослідження температурної задачі правки газовим полум'ям деформацій, що виникають після зварювання рами напіввагона, у вигляді задачі Стефана з рухомим джерелом тепла. Відмічена доцільність розробки математичної моделі нагрівання металу, що виникає при правці деформацій, яка враховує теплоту фазового переходу, шляхом введення розподіленого в околиці поверхні розділу фаз джерела тепла. Наведені результати експериментального та розрахункового дослідження стосовно розподілу температури при правці хребтової балки напіввагона залежно від часу нагрівання.*

*Ключові слова:* напіввагон, хребтова балка, деформації, правка, математична модель.

*Обоснована актуальность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на исследование температурной задачи правки газовым пламенем деформаций, которые возникают после сварки рамы полувагона, в виде задачи Стефана с подвижным источником тепла. Отмечена целесообразность разработки математической модели нагрева металла, который возникает при правке деформаций, учитывающей теплоту фазового перехода, путем ввода, распределенного в окрестности поверхности раздела фаз, источника тепла. Приведены результаты экспериментального и расчетного исследования касательно распределения температуры при правке хребтовой балки полувагона в зависимости от времени нагрева.*

*Ключевые слова:* полувагон, хребтовая балка, деформации, правка, математическая модель.

© Бурлуцький О. В., Логвіненко О. А., 2016

**Постановка проблеми.** В даний час найважливішою умовою вдосконалення зварювального виробництва є не тільки розвиток теоретичних основ зварювання з використанням новітніх досягнень у різних галузях фундаментальних і прикладних наук, а й створення високоефективних методів і засобів моделювання та імітації зварювальних процесів. Застосування математичних методів та математичного моделювання зварювальних процесів перетворилося на потужний інструментарій досліджень і пізнання процесів, що відбуваються в складних технологічних системах, що дозволяє не тільки отримати формалізований опис їх основних закономірностей, а й ефективно керувати ними. Математичне моделювання дозволяє оптимізувати умови протікання процесу утворення зварного з'єднання, запобігти появі недопустимих дефектів зварних швів, з'єднань конструкцій і одночасно підвищити продуктивність зварювальних операцій.

Тому проблема підвищення продуктивності праці і зниження собівартості виготовлення продукції завжди була і буде в центрі уваги будь-якого виробництва. Поряд з іншими технологічними процесами зварювання значною мірою визначає технічний рівень багатьох галузей промисловості і, зокрема, вагонобудування. Успіхи зварювальної науки і техніки дозволили здійснити справжній переворот у вагонобудуванні, створити принципово нові, високо економічні конструкції вантажних вагонів у яких в багато разів підвищено продуктивність праці при їх виготовленні [1, 3, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що на сьогоднішній день кількість освоєних методів зварювання за видами енергії активації більша ста, а варіантів тільки дугового зварювання більше тисячі. Тому поле діяльності для складання математичних моделей процесів зварювання, та їх вдосконалення є практично необмеженим. Слід відзначити, що математична модель напружено-деформованого стану елементів напіввагонів в процесі зварювання або теплової правки складається з двох взаємопов'язаних завдань: температурного та деформаційного.

Результати робіт [1, 2, 5, 6] показали, що при виготовленні хребтової балки напіввагона виникає значний прогин (від 65 мм до 120 мм), який необхідно знижувати. В роботі [7] проаналізовано сучасні методи та підходи правки деформацій, що виникають в процесі зварювання несучих металоконструкцій вантажних вагонів та їх елементів. Запропоновано класифікацію методів правки зварних конструкцій після зварювання в вагонобудуванні. З'ясовано, що найбільшого розповсюдження отримав метод термічної правки з місцевим нагрівом, як більш економічно доцільний. Наряду з цим відомі аналітичні рішення задачі теплопровідності зазвичай не враховують впливу теплоти фазових переходів I роду, які супроводжуються поглинанням або виділенням прихованої теплоти і зміною питомого обсягу.

В той же час для оцінки температурного поля академіком М.М. Рикаліним була розроблена загальна теорія розповсюдження тепла при нагріві, результати досліджень за якою показали, що теплота плавлення суттєво впливає на розміри зварювальної ванни та шва. Слід відмітити, що теорія теплових процесів Рикаліна заснована на методі джерел, який є ефективним у тих випадках, коли джерело нагріву зосереджено у невеликому об'ємі елементу, а область поширення теплоти не обмежена [8]. Він надає можливість чисельними методами відшукати швидкості зварювальних напруг та деформацій, але для визначення самих шуканих величин доводиться користуватися формулами чисельного диференціюван-

ня, які вносять додаткові похибки в рішення. При цьому методика розрахунку температурних полів, яка була запропонована Рикалінім не враховує теплоту фазових переходів. Все це дозволило виділити найбільш раціональний підхід, який враховує вищевикладені недоліки і полягає в більш точному описі температурного поля з урахуванням теплоти фазового переходу, в залежності від теплофізичних коефіцієнтів температури, що призводить до постановки задачі Стефана, яку було сформульовано в 70-х роках XIX ст. австрійським інженером-металургом Й. Стефаном.

У такій постановці в роботі [9] досліджено температурне поле при зварювальному нагріві у стик двох тонких пластин постійної товщини і обмежених у розмірі. При дослідженні процесів правлення і зварювання виникає клас задач, що відносять до задач Стефановського типу, але мають ту особливість, що невідома функція, яка описує закон руху поверхні фазового переходу I роду, входить не тільки в умови Стефана, а й у рівняння теплопровідності.

**Метою статті** є дослідження температурної задачі правки газовим полум'ям деформацій, що виникають після зварювання, у вигляді задачі Стефана з рухомим джерелом тепла та побудова математичної моделі температурного поля нагрівання при правці деформацій, яка враховує теплоту фазового переходу, шляхом введення розподіленого в околиці поверхні розділу фаз джерела тепла.

**Викладення основного матеріалу.** Задачі типу Стефана належать до класу нелінійних крайових задач для параболічних рівнянь з розривними коефіцієнтами на невідомих рухомих поверхнях. Дослідження коректності таких завдань узагальнені в монографії Л.И. Рубінштейна [12]. Існуючі методи чисельного рішення задачі Стефана можна розбити на дві групи: методи з явним виділенням межі фазового переходу і методи, засновані на заміні еквівалентної задачі теплопровідності з джерелом тепла, пов'язаним з межею фазового переходу. Характерна особливість другої групи методів полягає в тому, що в них рішення задачі відшукується за допомогою однорідної різницевої схеми.

У багатьох математичних моделях при побудові рівнянь теплопровідності просторовий розподіл джерела тепла визначається дельта-функцією Дірака, яка була введена англійським математиком Полем Діраком і згодом названа його ім'ям ( $\delta$ -функція,  $\delta$ -функція Дірака). При побудові різницевої схеми вона апроксимується дельтаобразною функцією, що встановлює «розмазування» ентальпії фазового переходу на деяку поверхню розділу фаз. Таким чином, передбачається, що теплота фазового переходу виділяється в деякій околиці поверхні фазового переходу ( $T_* - \Delta$ ,  $T_* + \Delta$ ), де основна передумова при моделюванні фазових перетворень полягає в тому, що фазовий перехід відбувається при заданій постійній температурі фазового переходу першого роду  $T_*$ , тобто приймається припущення, що фазовий перехід відбувається, починаючи з температури нижче ніж температура плавлення (кристалізації).

Вплив фазових (структурних) перетворень на залишкові напруги та деформації при зварюванні та виправленні настільки значні, що їх оцінка призводить до великих похибок. В той же час структурні зміни в металі, що відбуваються в процесі газової правки внаслідок більш повільного (в порівнянні з дуговим зварюванням) нагріву зон впливу при газовій правці більше, ніж при дуговому зварюванні. При газовій правці в металі відбуваються фазові структурні зміни на стадії нагрівання в інтервалі температур  $A_{c1} \dots A_{c3}$  та більше (для сталі 09Г2С

температура початку фазового перетворення  $A_{c1} = 725^{\circ}C$ , температура закінчення перекристалізації  $A_{c3} = 860^{\circ}C$ ). При цьому температурою нагріву основного металу, яка забезпечить найбільший ефект при правці для низьколегованих марок сталі є  $t = 700 \div 750^{\circ}C$ , а максимально допустимою температурою є  $t_{max} = 900 \div 950^{\circ}C$  [11]. Дослідним шляхом встановлено, що для редагування місцевим нагріванням найбільш раціонально застосовувати температуру в межах від  $800^{\circ}C$  до  $850^{\circ}C$  [10], яка згідно з нормативною документацією [11] знаходиться в діапазоні від  $600^{\circ}C$  до  $950^{\circ}C$ .

До основних температур фазових переходів для сталі 09Г2С відносять:

- *нормалізацію* – область основного металу, в якій утворюється дрібнозерниста структура з найвищими механічними властивостями. Температура коливається від  $860^{\circ}C$  і вище (перетворення фериту – аустеніт);

- *неповну перекристалізацію* – область основного металу, в якій навколо крупнозернистої структури в результаті перекристалізації утворюється дрібнозерниста. Температура коливається в межах  $725 \div 860^{\circ}C$  (при нагріванні часткове перетворення ферит – аустеніт).

- *рекристалізацію* – частина основного металу, для якої характерним є відновлення форми і розмірів зруйнованих зерен металу, що раніше піддався обробці тиском. Температура коливається в межах  $600 \div 725^{\circ}C$ . При цьому нагрів нижче температури  $725^{\circ}C$  не змінює вихідний фазовий склад сталі, однак при температурі вище  $600^{\circ}C$  (температура рекристалізації) призводить до зникнення спадкової прокатної структури основного матеріалу і сферитизації форми зерна. У свою чергу кінцева структура зони термічного впливу при правці залежить від швидкості охолодження точок. Це явище відображено в діаграмі анізотермічного розпаду аустеніту (термокінетичної діаграми) [8].

Нижче представлені матеріали щодо приведення задачі Стефана до задачі теплопровідності з рухомим джерелом тепла при правці дугої газової горілки елементів хребтової балки.

Система координат обрана таким чином, що її початок знаходиться на кромці Z-подібних профілів, вісь  $Ox_2$  скерована вздовж зварного шва, вісь  $Ox_1$  – по кромці Z-подібного профілю перпендикулярно осі  $Ox_2$ . При обліку симетрії відносно осі  $Ox_1$  розглядаємо один Z-подібний профіль  $\Omega = \{0 < x_1 < l_1, 0 < x_2 < l_2\}$  (рис. 1). Тоді задача з визначення температурного поля при правці зводиться до вирішення наступної системи рівнянь [9]:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad} T) - \frac{2\alpha}{\delta} (T - T_c) + q, \quad (x_1, x_2) \in \Omega, \quad t > 0, \quad (1)$$

де

$$c = \begin{cases} c_1, T < T_* \\ c_2, T > T_* \end{cases}, \quad \lambda = \begin{cases} \lambda_1, T < T_* \\ \lambda_2, T > T_* \end{cases},$$

де  $c_1 (c_2)$ ,  $\lambda_1 (\lambda_2)$  – об’ємна теплоємність, коефіцієнт теплопровідності твердої (рідкої) фази відповідно;

$\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі;

$\delta$  – товщина елементів балки;

$T_c$  – температура середовища при правці (температурах нагріву  $650 \div 900^\circ C$ , де відбувається неповна рекристалізація, перекристалізація, нормалізація матеріалу рами напіввагона);

$T_*$  – температура фазового переходу,

$$T = T_* ([LgradT], grad\varphi) + L \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0, \quad \varphi(x_1, x_2, t) = 0, \quad t > 0, \quad (2)$$

де  $L$  – теплота кристалізації одиниці об’єму матеріалу;

$\varphi(x_1, x_2, t) = 0$  – рівняння контуру області нагріву;  $g$  – питомий тепловий потік полум’я горілки,

з граничними умовами:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x_1} + \alpha(T - T_c) = 0, \quad x_1 = 0, \quad t > 0, \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x_1} + \alpha(T - T_c) = 0, \quad x_1 = l_1, \quad t > 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \quad x_2 = 0, \quad t > 0, \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x_2} + \alpha(T - T_c) = 0, \quad x_2 = l_2, \quad t > 0, \quad (6)$$

з початковою умовою:

$$T(x_1, x_2, 0) = T_c, \quad (x_1, x_2) \in \Omega. \quad (7)$$

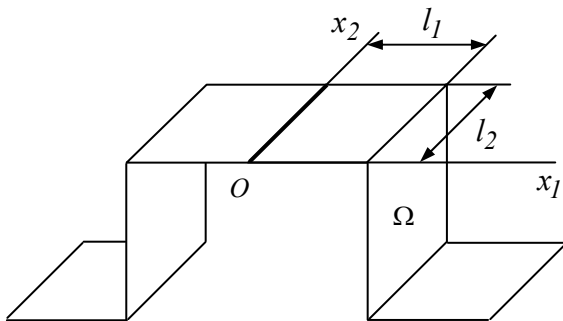


Рис. 1. Система координат для правки хребтової балки напіввагона

В дійсності в ході зварного нагрівання при правці тепловий потік розподілений в деякому компактному просторі, тобто діє розподілене джерело нагріву. Отже для поверхневого джерела нагріву, а саме газового полум'я, експериментально встановлено, що питомий тепловий потік  $q$  в будь-якій точці плями нагріву описується кривою Гаусса (закон нормального розподілу) [8] і наближено може бути виражений формулою:

$$q = q_{max} \cdot e^{-Rk^2} . \quad (8)$$

де  $q_{max}$  – найбільший тепловий потік в центрі плями нагрівання,  $кал/см^2сек$ ;  
 $e$  – основа натурального логарифму;

$R$  – коефіцієнт зосередженості теплового потоку,  $1/см^2$  (для газового зварювання коефіцієнт зосередженості  $R = 0,3 см^{-2}$  [7]);

$k$  – радіальна відстань точки плями нагріву від осі полум'я,  $см$  .

У рівнянні (1) вираз  $\frac{2\alpha}{\delta}(T - T_c)$  враховує тепловіддачу з обох поверхонь  $Z$  – подібних профілів. Граничними умовами третього роду (3), (4), (6) задана умова теплообміну на кромках елементів з навколишнім середовищем. Граничною умовою другого роду (5) задана умова симетрії по осі  $Ox_1$  у будь-який момент часу.

У статті двовимірна задача Стефана (1), (2) з фіксованою температурою фазового переходу  $T_*$  приводиться до завдання теплопровідності з джерелом тепла, розподіленим у малій околиці межі розділу фаз, причому вона обирається в області фази, що утворюється. У зв'язку з безперервною зміною положення поверхні фазового переходу, джерело тепла, що вводиться, є рухливим разом з межею розділу фаз.

Для описання джерела тепла введена частково безперервна невід'ємна функція  $g(T)$ , яка задовольняє наступним умовам:

- $g(T)$  визначена на всьому діапазоні зміни температур, відмінна від нуля в проміжку від  $T_*$  до  $T_* + \Delta T_*$ , а поза ним тотожно дорівнює нулю;
- $g(T) = 1$ ;
- $\frac{\partial g}{\partial T} < 0$  для  $T \in (T_*, T_* + \Delta)$ .

Тоді справедливе наступне, сформульована вище задача Стефана (1) – (3) еквівалентна задачі теплопровідності, яка визначається за рівнянням:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad} T) - \frac{2\beta}{\delta}(T - T_c) + q + L \frac{\partial g}{\partial t}, \quad (x_1, x_2) \in \Omega, \quad t > 0, \quad (9)$$

з граничними і початковими умовами початкової задачі (3) – (7).

У свою чергу умова  $\frac{\partial g}{\partial T} < 0$  забезпечує позитивність виразу  $c - L \frac{\partial g}{\partial t}$ . В задачі про плавлення  $\frac{dT}{dt} > 0$ , тоді  $\frac{\partial g}{\partial t} = \frac{dg}{dT} \cdot \frac{dT}{dt} < 0$ , тобто останній доданок правої частини рівняння (9) означає стікання тепла, що відповідає процесу поглинання теплоти фазового переходу.

За методикою, заснованою на ідеї статті, розглянемо деякий об'єм  $V$ , обмежений поверхнею  $A$ , який містить у собі поверхню розділу фаз  $\Sigma$  (див. рис. 2).

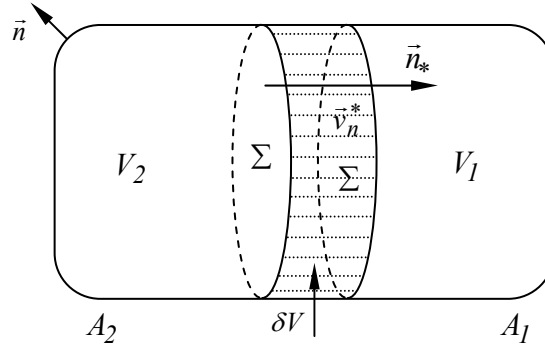


Рис. 2. Об'єм з поверхнею розділу фаз

У момент часу  $t$  поверхня розділу фаз  $\Sigma$  розділяє область  $V$  на дві під області  $V_1, V_2$ , із зовнішніми поверхнями  $A_1, A_2$ . За деякий приріст часу  $\Delta t$  поверхня розділу фаз  $\Sigma$  проходить через елементарний приріст об'єму  $\delta V$  і займе положення  $\Sigma'$ . При цьому збільшиться об'єм, зайнятий фазою 2 і відповідно зменшиться об'єм фази 1.

Проінтегруємо рівняння (9) по об'єму  $V$  скориставшись рівнянням Гаусса – Остроградського

$$\int_V c \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int_A (\lambda \text{grad} T, \vec{n}) dA + \int_V L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \int_V \left( f - \frac{2\alpha}{\delta} (T - T_c) \right) dV, \quad (10)$$

де  $\vec{n}$  – зовнішня нормаль до поверхні  $A$ .

Перетворимо другий інтеграл правої частини (10):

$$\int_V L \frac{\partial g}{\partial t} dV = \int_{V_1} L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \int_{V_2} L \frac{\partial g}{\partial t} dV = \int_{V_1 - \delta V} L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \int_{V_2 + \delta V} L \frac{\partial g}{\partial t} dV. \quad (11)$$

Тут інтеграл по області  $V_1 - \delta V$  дорівнює нулю за визначенням функції  $g(T)$ , а другий інтеграл по  $V_2 + \delta V$  представимо в наступному вигляді:

$$\int_{V_2+\delta V} L \frac{\partial g}{\partial t} dV = \int_{V_2} L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \int_{\delta V} L \frac{(g)_{1,t+\Delta t} - (g)_{2,t}}{\Delta t} dV. \quad (12)$$

З визначення функції  $g(T)$  виходить, що  $(g)_{1,t+\Delta t} = 0$  та  $g(T) = 1$  на фазовій поверхні. При  $\Delta t \rightarrow 0$  відношення  $dV / dt$  прагне до  $v_n^* \cdot d\Sigma$ , де  $v_n^*$  – локальна швидкість елемента  $d\Sigma$  по нормалі до неї у бік першої фази. Крім того, об'єм  $\delta V$  при цьому стягується до поверхні  $\Sigma$ , так що областю інтегрування стає  $\Sigma$ . Тоді з двох попередніх співвідношень маємо

$$\int_V L \frac{\partial g}{\partial t} dV = \int_{V_2} L \frac{\partial g}{\partial t} dV - \int_{\Sigma} L \cdot v_n^* dV, \quad (13)$$

Напишемо співвідношення (10) для кожної фази:

$$\int_{V_1} c_1 \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int_{A_1+\Sigma} (\lambda \text{grad} T, \vec{n})_1 dA + \int_{V_1} L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \int_{V_1} \left( f_1 - \frac{2\alpha}{\delta} (T - T_c) \right) dV, \quad (14)$$

$$\int_{V_2} c_2 \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int_{A_2+\Sigma} (\lambda \text{grad} T, \vec{n})_2 dA + \int_{V_2} L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \int_{V_2} \left( f_2 - \frac{2\alpha}{\delta} (T - T_c) \right) dV. \quad (15)$$

У рівнянні (14) другий доданок правої частини дорівнює нулю, а в рівнянні (15) аналогічний член замінимий його значенням з (13). Потім підсумовуючи отримані співвідношення будемо мати такі рівняння

$$\begin{aligned} \int_V c \frac{\partial T}{\partial t} dV &= \int_A (\lambda \text{grad} T, \vec{n}) dA + \int_{\Sigma} (\lambda \text{grad} T, \vec{n})_1 d\Sigma + \int_{\Sigma} (\lambda \text{grad} T, \vec{n})_2 d\Sigma + \\ &+ \int_V L \frac{\partial g}{\partial t} dV + \int_{\Sigma} L \cdot v_n^* d\Sigma + \int_V \left( f - \frac{2\alpha}{\delta} (T - T_c) \right) dV. \end{aligned} \quad (16)$$

Тепер віднімаючи (10) з отриманого співвідношення, прийдемо до рівняння

$$\int_{\Sigma} (\lambda \text{grad} T, \vec{n})_1 d\Sigma + \int_{\Sigma} (\lambda \text{grad} T, \vec{n})_2 d\Sigma + \int_{\Sigma} L \cdot v_n^* d\Sigma = 0. \quad (17)$$

Якщо локальну нормаль до  $\Sigma$ , скеровану в бік першої фази, позначити через  $\vec{n}_*$ , то в першому інтегралі  $\vec{n} = -\vec{n}_*$ , а в другому  $\vec{n} = \vec{n}_*$ . Тоді попереднє рівняння запишеться у вигляді:

$$\int_{\Sigma} \left[ (\lambda \text{grad} T)_2 - (\lambda \text{grad} T)_1, \vec{n}_* \right] + L \cdot v_n^* d\Sigma = 0. \quad (18)$$

Звідси через довільність об'єму  $V$  і відповідної поверхні  $\Sigma$  випливає

$$([\text{grad}T], \vec{n}_*) + L \cdot \nu_n^* = 0$$

яке з урахуванням співвідношень

$$\nu_n^* = \frac{1}{|\text{grad}\Phi|} \left( \frac{d\vec{R}}{dt}, \text{grad}\Phi \right), \quad \vec{n}_* = \frac{\text{grad}\Phi}{|\text{grad}\Phi|}, \left( \frac{d\vec{R}}{dt}, \text{grad}\Phi \right) + \frac{\partial\Phi}{\partial e} = 0,$$

дає умову (2). В останньому рівнянні  $\vec{r} = \vec{R}(t)$  – радіус-вектор точки, що знаходиться на поверхні фазового переходу.

Перевірка адекватності отриманої математичної моделі виконується за допомогою чисельних розрахунків задачі нагріву елементів вагона при правці, які наведені нижче. Для чисельного вирішення рівнянь (9), (3) – (7) застосуємо метод згладжування. Коефіцієнти рівняння (9), як функції температури, зазнають розриви при  $T = T_*$  і не визначені в цій точці. Останній член правої частини об'єднаємо з лівою частиною, тоді ефективна теплоємність  $c - Ldg/dT$  має розриви в точках  $T = T_*$  та  $T = T_* + \Delta$ . Виходячи з цього, рівняння (9), (3) – (7) будуть мати наступний вигляд

$$\begin{aligned} \tilde{c} \frac{\partial T}{\partial t} &= \text{div}(\tilde{\lambda} \text{grad}T) - \frac{2\delta}{\delta} (T - T_c) + q, \quad (x_1, x_2) \in \Omega, \quad t > 0, \\ -\tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial x_1} + \alpha(T - T_c) &= 0, \quad x_1 = 0, \quad t > 0, \\ \tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial x_1} + \alpha(T - T_c) &= 0, \quad x_1 = l_1, \quad t > 0, \\ \frac{\partial T}{\partial x_2} &= 0, \quad x_2 = 0, \quad t > 0, \\ \tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial x_2} + \alpha(T - T_c) &= 0, \quad x_2 = l_2, \quad t > 0, \\ T(x_1, x_2, 0) &= T_c, \quad (x_1, x_2) \in \Omega. \end{aligned}$$

коефіцієнти якої визначені у всьому діапазоні зміни температури таким чином

$$\tilde{c} = \begin{cases} c_1, & \text{якщо } T < T_*, \\ 0,5 \left( \lim_{T \rightarrow T_* - 0} c_1 + \lim_{T \rightarrow T_* + 0} c_2 - L \frac{dg}{dT} \right), & \text{якщо } T = T_*, \\ c_2 - L \frac{dg}{dT}, & \text{якщо } T_* < T \leq T_* + \Delta, \\ c_2, & \text{якщо } T > T_* + \Delta, \end{cases}$$

$$\tilde{\lambda} = \begin{cases} \lambda_1, & \text{якщо } T \leq T_* - \Delta, \\ \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{2} - \frac{(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot (T - T_*)}{\Delta}, & \text{якщо } T_* - \Delta \leq T \leq T_* + \Delta, \\ \lambda_2, & \text{якщо } T > T_* + \Delta. \end{cases}$$

Для коефіцієнта теплопровідності прийнята апроксимація безперервною функцією. При цьому його можна довізначити аналогічно теплоємності. Оскільки температурне поле є найбільш чутливим до величини коефіцієнта теплоємності, то він повинен при до визначені найбільш точно відповідати реальному процесу фазового переходу. При виборі функції  $g(T)$  необхідно враховувати напрям ходу процесу – фазовий перехід відбувається в результаті пониження температури або її підвищення. Вона має бути вибрана відмінною від нуля в області фази, що знов утворюється.

З метою перевірки достовірності (валідації) розробленої розрахункової математичної моделі використовувалися літературні дані наведені в роботах [2,7,8,12-15]. На рис. 3 наведені розрахункові дані щодо розподілів температури в хребтовій балці з маловуглецевої сталі (345-09Г2С-14, ГОСТ 5267.0-90) товщиною 10 мм в різні моменти часу від початку нагріву правки. При цьому радіус плями нагріву обраний рівним 10 мм, ефективна потужність джерела нагріву – 245 Дж/с, час нагріву – 30 с. На рис. 4 та рис. 5 представлені розрахункові та експериментальні дані щодо розподілу температури в хребтовій балці на відповідних відстанях  $R$  від центра її нагріву.

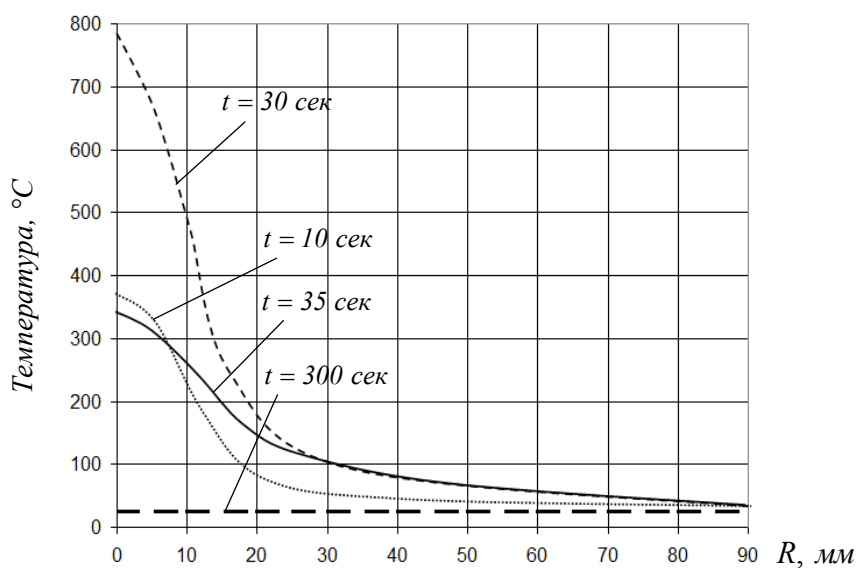


Рис. 3. Розподіл температури в хребтовій балці

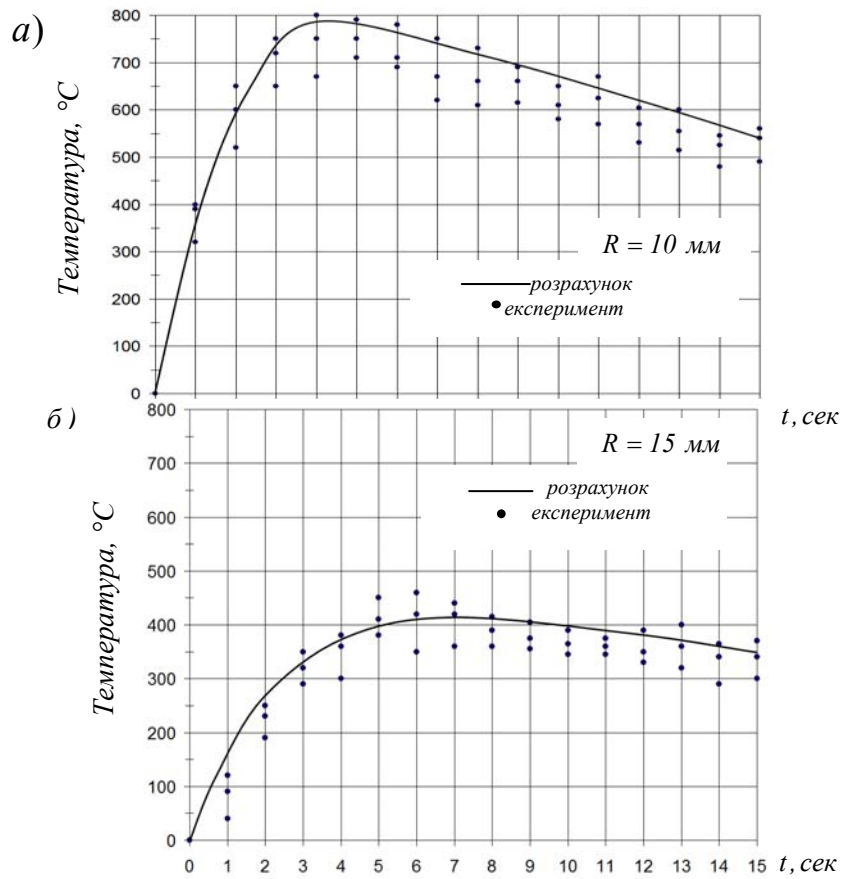
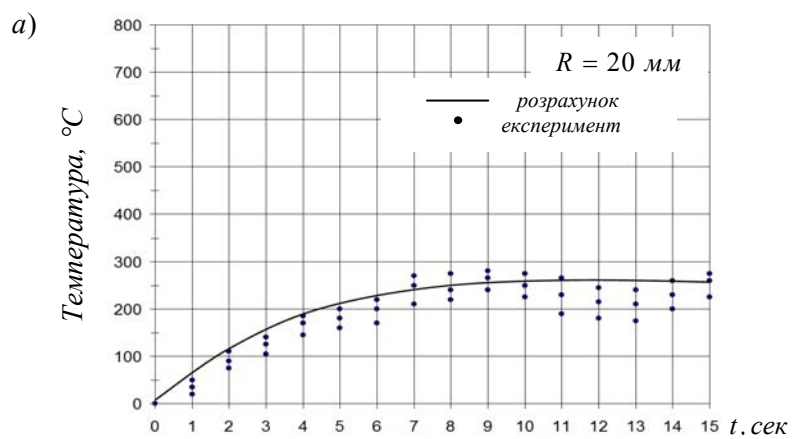


Рис.4. Кінетика розрахункових і експериментальних значень температури на відстанях 10 мм (а) та 15 мм (б) від центру нагріву балки



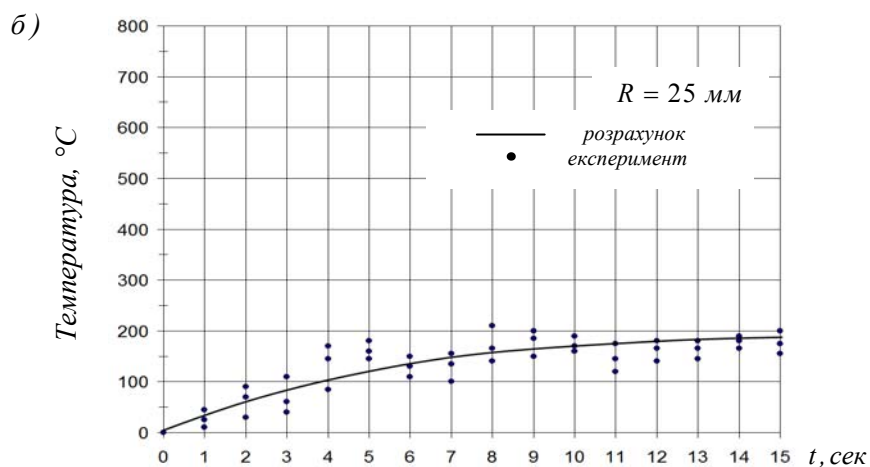


Рис.5. Кінетика розрахункових і експериментальних значень температури на відстанях 20 мм (а) та 25 мм (б) від центру нагріву балки

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Побудована в статті математична модель температурного поля правки у постановці задачі Стефана дозволяє більш точно виконувати описання теплового процесу при правці, який враховує вплив фазового переходу та залежність теплофізичних коефіцієнтів від температури. Виявлені недоліки застосування математичного апарату для чисельного розрахунку температурних полів, який було запропоновано М.М. Рикаліним. Відмічено, що одним з раціональних підходів, який враховує виявлені недоліки і полягає в більш точному описі температурного поля з урахуванням теплоти фазового переходу, в залежності від теплофізичних коефіцієнтів температури є підхід заснований на вирішенні температурної задачі правки газовим полум'ям деформацій, що виникають після зварювання. Дана задача представляється у вигляді задачі Стефана і вирішується за допомогою методу згладжування із застосуванням функції Дірака.

Наведена побудована авторами математична модель температурного поля нагрівання при правці деформацій, яка враховує теплоту фазового переходу, за рахунок введення розподіленого в околиці поверхні розділу фаз джерела тепла. Представлені розрахункові та експериментальні дані щодо розподілу температури в хребтовій балці на відповідних відстанях від центра її нагріву. Відмічено, що за рахунок оптимізації параметрів нагріву можливо суттєво підвищити ефективність термічної правки, що призведе до суттєвої економії енерго- і працевитрат.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
2. Бурлуцький, О. В. Визначення зварювальних деформацій які виникають під час життєвого циклу напіввагона / О.В. Бурлуцький, Н.С. Кочешкова // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип. 26-27. – С. 92-101.
3. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонобудуванні [Текст] / О.В. Фомін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – № 3/7(57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).

4. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст] / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukreat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
5. Приходько, В.И. Комплексная механизация и автоматизация производственных процессов в вагоностроении / В.И. Варетник. – Х.: Прапор, 1996. – 262 с.
6. Цыган, Б.Г. Вагоностроительные конструкции. Изготовление, модернизация, ремонт: монография / Б.Г. Цыган, А.Б. Цыган. – Кременчуг: Издательство «Кременчуг», 2005. – 752 с.
7. Burlutskiy, O.V. Application methods changes plastic deformation after welding sill gondola cars / O.V. Burlutskiy // Metallurgical and mining industry (Machine building). – Dnipropetrovsk, 2015. – No.10. – P. 190-197. ([www.metaljournal.com.ua](http://www.metaljournal.com.ua)).
8. Рыкалин, Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. – 295 с.
9. Bergmann, H.W. Numerical simulation of centre line not cracks in laser beam welding of aluminium close to the sheet edge / H.W. Bergmann, R.M. Hilbinger // Mathematical Modeling of Weld Phenomena. – London: The Institute of Materials, ION Communications Ltd, 1998. – P. 658–668.
10. Рубинштейн, Л.И. Проблема Стефана / Л.И. Рубинштейн. – Рига: Звайгзне, 1967. – 458 с.
11. ГОСТ 24.050.34-84 Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования. – Введ. 1988–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 183 с.
12. Варетник, Л.Д. Правка сварных конструкций / Л.Д. Варетник. – Х.: Прапор, 1966. – 50 с.
13. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, П.Н. Вабишевич. – М: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
14. Фомін, О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О. В. Фомін, О. А. Логвіненко, Р. Ю. Дьомін, В. В. Фомін, Г. П. Бородай, О. В. Бурлуцький // Залізничний транспорт України. – Київ: ДП «ДНДЦ УЗ», 2013. – № 5/6(102/103). – С. 95-104.
15. Бурлуцький, О.В. Особливості методу визначення динамічного навантаження кузова напіввагону / О. В. Бурлуцький // Вост.-Европ. журн. передових технологій. – Х.: ПП «Технологічний центр», 2012. – Вип. 4/7. – С. 47-50.

***Oleksii V. Burlutskiy***

***(ingeneer of «Mechanics and designing machines», Ukrainian State University of Railway Transport)***

***Alexander A. Logvinenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor***

***(Associate Professor of «Mechanics and designing machines», Ukrainian State University of Railway Transport)***

## **THE USE OF MATHEMATICAL MODELING CHANGES IN THE MANUFACTURE OF GONDOLA**

***The urgency of the research and development activities aimed at the study of the temperature problem of flame straightening deformations that occur after welding the frame gondola, in the form of the Stefan problem with moving heat source. It noted the desirability of developing a mathematical model of heating a metal that occurs when straightening strains, which takes into account the heat of phase transition, by entering, distributed in the vicinity of the surface of the interface, the heat source. The results of experimental and theoretical research on the temperature distribution in the revision sill gondola depending on the heating time.***

***Keywords: gondola, sill, deformation, correction, mathematical model.***

REFERENCES

1. Fomin O.V. *Doslidzhennia defektiv ta poskodzen nesuchykh system zaliznychnyh napivvagoniv* [Study of defects and damage of bearing systems of railway gondola cars]. Kiev, State Economic and Technological University of Transport Publ., 2014. 299 p.
2. Burlutskiy O.V., Kocheshkova N.S. Vyznachennia zvariuvannykh deformatsii yaki vynykaiut pid chas zhyttievogo tsykladu napivvagona [Determination of welding deformations that occur during the life cycle of the gondola]. *Zbirnyk naukovykh prats derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universytetu transportu* [collection of scientific papers State Economic and Technological University of Transport], Kiev, 2015, issue 25-27, pp. 92-101.
3. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
4. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text]/ A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvnngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
5. Prihodko V.I. *Kompleksnaya mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsesov v vagonostroenii* [Complex mechanization and automation of production processes in car building]. Kharkiv, Prapor Publ., 1996. 262 p.
6. Tsygan B.G. *Vagonostroitelnyye konstruksii. Izgotovleniye, modernizatsiya, remont* [Railcar construction. Production, modernization, repair]. Kremenchug, Kremenchug Publ., 2005. 752 p.
7. Burlutskiy O.V. Application methods changes plastic deformation after welding sill gondola cars / O.V. Burlutskiy // *Metallurgical and mining industry (Machine building)*. – Dnipropetrovsk, 2015. – No.10. – P. 190-197. ([www.metaljournal.com.ua](http://www.metaljournal.com.ua)).
8. Rykalin N.N. *Raschety teplovykh protsessov pri svarke* [Calculations of thermal processes in welding]. Moscow, Mashgiz Publ., 1951. 295 p.
9. Bergmann H.W. *Numerical simulation of centre line not cracks in laser beam welding of aluminium close to the sheet edge* / H.W.Bergmann, R.M. Hilbinger // *Mathematical Modeling of Weld Phenomena*. – London: The Institute of Materials, IOH Communications Ltd, 1998. – P. 658–668.
10. Rubinshteyn L.I. *Problema Stefana* [Stefan problem]. Riga, Zvaygzne, 1967. 458 p.
11. *OST 24.050.34-84 Proektirovanie i izgotovlenie stalnykh svarnykh konstruksiy vagonov. Tehnicheskie trebovaniya*. [Industry standard 24.050.34-84. Design and production of steel welded structures wagons. Technical requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 1988. 183 p.
12. Varetnik L.D. *Pravka svarnykh konstruksiy* [Edit weldments]. Kharkiv, Prapor Publ., 1966. 50 p.
13. Samarskiy A.A., Vabishchevich P.N. *Vychislitel'naya teploperedacha* [Computational heat transfer]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003. 784 p.
14. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Domin R.Yu., Fomin V.V., Boroday G.P., Burlutskiy O.V. Matematychni modeli zminy osnovnykh pokaznykiv bazovykh nesuchih elementiv kuzoviv napivvagoniv [Mathematical models of the main indicators of change in the basic elements of gondolas carrying bodies]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2013, issue 5/6(102/103), pp. 95-104.
15. Burlutskiy O.V. Osoblyvosti metodu vyznachennia dynamichnogo navantazhennia kuzova napivvagonu [Features of the method for determining the dynamic load of the body gondola]. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy – Eastern European advanced technology magazine*, 2012, issue 4/7, pp. 47-50.

УДК 620.22

*Т. П. Даніленко, к.т.н., доцент  
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний  
економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

## ПЕРЕВІРКА І ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ СТЕРЕОЛОГІЧНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ СТРУКТУР ІЗ СФЕРИЧНИМИ СКЛАДОВИМИ

*Виконано експериментальну перевірку розробленого методу реконструкції розподілу діаметрів сферичних складових полідисперсних структур у порівнянні з найбільш відомими методами Салтикова, Спектора, Бокштігеля. Перевірка показала правильність усіх методів і більшу точність і універсальність розробленого методу реконструкції.*

*Ключові слова: сферичні структурні складові, стереологічна реконструкція розподілу розмірів, перевірка методів реконструкції.*

*Выполнена экспериментальная проверка разработанного метода реконструкции распределения диаметров сферических составляющих полидисперсных структур в сравнении с наиболее известными методами Салтыкова, Спектора, Бокштигеля. Проверка показала правильность всех методов и большую точность и универсальность разработанного метода реконструкции.*

*Ключевые слова: сферические структурные составляющие, стереологическая реконструкция распределения размеров, проверка методов реконструкции.*

**Постановка проблеми.** Розміри структурних складових у металевих, неметалевих, композитних матеріалах є важливою характеристикою, яка впливає на їх структурночутливі механічні, фізичні, хімічні властивості. Для створення матеріалів з певними розмірними характеристиками їх структурних складових необхідно в процесі дослідження структур максимально достовірно визначати ці характеристики. Однак через непрозорість багатьох матеріалів для світла, безпосередньо спостерігати структурні складові без руйнування матеріалу неможливо.

Доступним для аналізу є плоский переріз тривимірної структури, наприклад, на металографічному шліфі. На ньому можливо встановити, які складові присутні в структурі і спостерігати плоскі перерізи цих складових, але встановити безпосередньо розподіл розмірів тривимірних складових, а потім з цього розподілу – інші важливі кількісні характеристики просторової тривимірної структури (середній розмір складових, їх кількість в одиниці об'єму, характеристики однорідності структури тощо) неможливо.

Для цього існують методи стереологічної реконструкції тривимірної структури [1; 2]. Реконструкція полягає у встановленні розподілу діаметрів  $P(D_k)$  три-

© Даніленко Т. П., 2016

вимірних структурних складових (3- $D$  структури), виходячи з інформації, яку отримують на плоскому перерізі структури (на 2- $D$  структурі).

Ця вихідна інформація може бути двох видів: у вигляді розподілу діаметрів плоских перерізів  $P_i(d)$  тривимірних складових, або розподілу хорд  $P_i(l)$ , отриманих на структурних елементах в результаті нанесення на плоске зображення структури січних ліній.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У найбільш відомому методі Салтикова [1], який ще називають методом Шайля–Шварца–Салтикова, вихідною інформацією служить розподіл діаметрів плоских перерізів  $P_i(d)$  сферичних складових, а в методах Спектора [1] і Бокштігеля [3] – розподіл хорд  $P_i(l)$ . Для розподілу розмірів тривимірних складових, їх плоских і лінійних перерізів застосовують певну розмірну шкалу: у методах Салтикова і Спектора це рівномірна шкала, а у методі Бокштігеля може застосовуватись як рівномірна, так і нерівномірна шкала.

Метод Салтикова можна застосовувати для шкали з кількістю розмірних інтервалів не більше 15-ти. Загальний вигляд робочої формули методу:

$$N_i = \frac{A_i n_{ni} - \sum_{j=i+1}^n A_j n_{nj}}{\Delta} \quad (1)$$

де  $N_i$  – кількість сфер в  $i$ -му розмірному інтервалі, *шт.*;

$n_{ni}$ ;  $n_{nj}$  – кількість плоских перерізів в  $i$ -му;  $j$ -му інтервалах, відповідно, *шт.*;

$A$  – коефіцієнти, розраховані Салтиковим для 15-ти інтервалів;

$\Delta$  – ширина розмірного інтервалу.

Для шкали з більшою, ніж 15, кількістю інтервалів необхідно виконувати новий трудомісткий розрахунок коефіцієнтів  $A$  за методикою Салтикова.

Метод Спектора має робочу формулу:

$$N_i = \frac{4}{\pi \Delta^2} \left[ \frac{n_{ni}}{2i-1} - \frac{n_{n(i+1)}}{2i+1} \right] \quad (2)$$

де  $n_{ni}$ ;  $n_{n(i+1)}$  – кількість хорд в  $i$ -му;  $(i+1)$ -му розмірних інтервалах, відповідно, *шт.*;

$i$  – номер розмірного інтервалу;

решта позначень – ті ж, що у формулі (1).

Метод Бокштігеля має робочу формулу:

$$N_{i+0,5} = \frac{4}{\pi} \left[ \frac{n_{ni}}{l_i^2 - l_{i-1}^2} - \frac{n_{n(i+1)}}{l_{i+1}^2 - l_i^2} \right] \quad (3)$$

де  $l_i$ ;  $l_{i-1}$ ;  $l_{i+1}$  – довжина хорди, яка відповідає верхній границі  $i$ -го,  $(i-1)$ -го,  $(i+1)$ -го розмірних інтервалів;

решта позначень – ті ж, що у формулах (1) і (2).

Слід зазначити, що названі методи розроблені у застосуванні до складових винятково сферичної форми, що значно обмежує можливості їх застосування.

У роботах [4 – 9] розроблений більш універсальний метод реконструкції, він придатний до аналізу як сферичних, так і несферичних складових поліедричної,

еліпсоїдної та подібних їм форм, в тому числі зернистої структури, неметалевих включень, графітної і цементитної фаз, вторинних і інтерметалевих фаз та інших складових, для яких за винаходом [5] знаходять відповідні коефіцієнти форми їх плоских перерізів і самих елементів, якими ураховується відмінність форми цих елементів від сферичної форми.

Розроблений метод дозволяє застосовувати будь-яку розмірну шкалу і два види вихідної інформації: як розподіл діаметрів плоских перерізів  $P_i(d)$ , так і розподіл хорд  $P_i(l)$ . За цим методом співвідношення між розподілом розмірів плоских перерізів  $P_i(d)$  і розподілом довжин хорд  $P_i(l)$  описується рівнянням:

$$P_i(l) = \beta_a P_i(d) \sqrt{d_i^2 - l_{i-1}^2} + \beta_b P_{i+1}(d) \left( \sqrt{d_{i+1}^2 - l_{i-1}^2} - \sqrt{d_{i+1}^2 - l_i^2} \right) + \dots + \beta_f P_n(d) \left( \sqrt{d_n^2 - l_{i-1}^2} - \sqrt{d_n^2 - l_i^2} \right) \quad (4)$$

де  $n$  – кількість розмірних інтервалів у розмірній шкалі;

$i$  – порядковий номер розмірного інтервалу від  $1$  до  $n$ ;

$l_i; l_{i-1}$  – довжини хорд  $i$ -го та  $(i-1)$ -го розмірних інтервалів; одиниці довжини;

$d_i; d_{i+1}; \dots; d_n$  – діаметри кіл, відповідно,  $i$ -го,  $(i+1)$ -го, ...,  $n$ -го розмірних інтервалів; одиниці довжини;

$P_i(l)$  – відносна частка хорд  $i$ -го розмірного інтервалу;

$P_i(d); P_{i+1}(d); \dots; P_n(d)$  – відносні частки плоских перерізів сфер (кіл), відповідно,  $i$ -го,  $(i+1)$ -го, ...,  $n$ -го розмірних інтервалів;

$\beta_a; \beta_b; \dots; \beta_f$  – коефіцієнти форми плоских перерізів структурних складових, кожен з яких в разі складових сферичної форми дорівнює одиниці.

Застосування нового методу полягає в тому, що в разі використання вихідної інформації у вигляді розподілу хорд  $P_i(l)$ , складають і вирішують систему рівнянь (4) щодо невідомих  $P_i(d)$ , при цьому кількість рівнянь у системі дорівнює кількості інтервалів у розмірній шкалі, після чого розраховані  $P_i(d)$  нормують за формулою:

$$P_i'(d) = P_i(d) / \sum_{i=1}^n P_i(d) \quad (5)$$

Далі, використовуючи як вихідну інформацію розподіл  $P_i(d)$ , отриманий безпосередніми вимірами на плоскому перерізі, або розраховані частки  $P_i'(d)$  складають і вирішують відносно невідомих часток  $P(D_i)$  систему з рівнянь:

$$P_i'(d) = \alpha_a P(D_i) \sqrt{D_i^2 - d_{i-1}^2} + \alpha_b P(D_{i+1}) \left( \sqrt{D_{i+1}^2 - d_{i-1}^2} - \sqrt{D_{i+1}^2 - d_i^2} \right) + \dots + \alpha_f P(D_n) \left( \sqrt{D_n^2 - d_{i-1}^2} - \sqrt{D_n^2 - d_i^2} \right) \quad (6)$$

де  $D_i; D_{i+1}; \dots; D_n$  – діаметри сфер, відповідно,  $i$ -го,  $(i+1)$ -го, ...,  $n$ -го розмірних інтервалів; одиниці довжини;

$P(D_i); P(D_{i+1}); \dots; P(D_n)$  – відносні частки сфер, відповідно,  $i$ -го,  $(i+1)$ -го, ...,  $n$ -го розмірних інтервалів;

$\alpha_a; \alpha_b; \dots; \alpha_f$  – коефіцієнти форми тривимірних структурних складових, кожен з яких в разі структурних складових сферичної форми дорівнює одиниці;

решта позначень – ті ж, що у формулі (4).

Знайдені  $P(D_i)$  нормують за формулою:

$$P_i'(D) = P_i(D) / \sum_{i=1}^n P_i(D) \quad (7)$$

Усі розрахунки за розробленим методом виконують за допомогою спеціально створеної комп'ютерної програми.

Якщо в результаті реконструкцій отримують від'ємні значення відносних часток  $P_i(d)$ ,  $P(D_i)$ , їх приймають такими, що дорівнюють нулю – це стосується усіх методів реконструкції.

**Мета статті** – виходячи з розподілів  $P_i(d)$  і  $P_i(l)$ , на модельних сукупностях сферичних складових виконати експериментальну перевірку існуючих і розробленого методів стереологічної реконструкції і порівняти їх точність.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Найбільш відомим способом експериментальної перевірки методів реконструкції розподілу сфер  $P(D_i)$  є фіксація за допомогою якоїсь застигаючої речовини деяких випадкових положень у просторі сферичних частинок з відомим розподілом  $P(D_i)$  їх розмірів [2]. Цю систему сфер перерізають випадковими площинами, заміряють діаметри отриманих плоских перерізів сфер (кіл) і визначають розподіл діаметрів цих плоских перерізів  $P_i(d)$ . Далі, використовуючи експериментально отриманий розподіл  $P_i(d)$  як вихідну інформацію, здійснюють реконструкцію розподілу діаметрів сфер  $P(D_i)_{рек.}$  за методом, який перевіряють. Порівняння розподілу сфер вихідного з реконструйованим дозволяє оцінити ступінь точності методу реконструкції.

Очевидно, що такий спосіб перевірки дуже складний і трудомісткий, оскільки необхідно виготовити кульки (сфери) визначеного розміру у певній кількості, створити статистично рівномірне розташування їх у просторі, тобто у застигаючій речовині, потім необхідно виконати трудомісткі операції зішліфовувань на отриманій конструкції, щоб отримати достатню кількість січних площин і виконати вимірювання діаметрів плоских перерізів сфер.

У роботі [4] був запропонований більш ефективний спосіб перевірки методів реконструкції  $P(D_i)_{рек.}$  від вихідної інформації  $P_i(d)$ . Спосіб виходить з того, що розсічення площиною системи сфер дає плоскі перерізи (кола), діаметри яких розподілені за розмірами так само, як і довжини хорд, отриманих при розсіченні лініями системи кіл, що зображують цю систему сфер на площині. І тоді для доказу правильності розробленого методу реконструкції, а саме: етапу переходу від розподілу  $P_i(d)$  до  $P(D_i)_{рек.}$ , достатньо намалювати систему кіл (наприклад, у програмі «Компас»), діаметри яких розподілені певним заданим чином, нанести на цю систему січні лінії, виміряти довжини отриманих хорд, визначити  $P_i(l)$ , прийняти його за розподіл діаметрів кіл  $P_i(d)$  і виконати реконструкцію  $P(D_i)$ .

Таким чином, на системі кіл із відомим розподілом їх діаметрів можливо перевіряти як реконструкцію  $P_i(d)$ , використовуючи вихідну інформацію  $P_i(l)$ , так і реконструкцію  $P(D_i)$ , приймаючи розподіл хорд за розподіл  $P_i(d)$  діаметрів плоских перерізів сфер.

Метод реконструкції був перевірений зазначеним способом на двох варіантах систем кіл. У варіанті № 1 взята система кіл у кількості 100 шт., яка складалася з чотирьох розмірних груп з однаковою кількістю кіл у кожній групі. Це були

кола діаметрами 10, 20, 30 і 40 мм, по 25 шт. кожного розміру. Відповідно, задіяна розмірна шкала з чотирьох інтервалів: 0...10; 10...20; 20...30; 30...40 мм.

У варіанті № 2 обрана шкала з нерівномірними інтервалами: 0...20; 20...30; 30...50 мм. Кола склали систему з трьох груп: 50 шт. діаметром 20 мм, 40 шт. діаметром 30 мм, 10 шт. діаметром 50 мм.

Дві наведені системи кіл були створені в програмі «Компас» і на них нанесли січні лінії у двох взаємоперпендикулярних напрямках з відстанню між січними 4 мм. Такі умови нанесення січних забезпечили рівні умови їх потрапляння на всі кола, з урахуванням розміру кіл.

Виходячи з того, що ці системи кіл згідно з експериментом вважаємо системами сфер, розподіли кіл для цих систем сфер були також розраховані за формулою (6), а потім нормовані за формулою (5). Отримані  $P_i'(d)_{розр.}$  практично співпали з експериментальними  $P_i(d)_{експ.}$ , максимальне відхилення склало 1,9 % для варіанта № 1 і 0,54 % для варіанта № 2.

Реконструкцію  $P(D_i)_{рек.}$  за розробленим методом виконали шляхом вирішення системи рівнянь, складених за формулою (6). Знайдені  $P(D_i)_{рек.}$  були нормовані за формулою (7), тобто були визначені  $P'(D_i)_{рек.}$

Для співставлення розробленого методу з іншими методами була також виконана реконструкція за методом Салтикова, за формулою (1) для варіанта № 1. При цьому в якості кількості плоских перерізів  $n_{ni}$  застосовували відносні частки  $P_i(d)_{експ.}$ , а отриману кількість сфер  $N_i$  в  $i$ -му інтервалі нормували за формулою:

$$P(D_i)_{Салт.(Спект.Боксит.)} = N_i / \sum_{i=1}^n N_i \quad (8)$$

Для варіанта № 2 цей метод не можливо застосувати, оскільки він призначений тільки для рівномірної розмірної шкали.

Результати експеримента для систем кіл наведені в табл. 1 і 2.

Як видно з табл. 1 і 2, розподіл  $P'(D_i)_{рек.}$ , реконструйований за розробленим методом, майже співпав з вихідним розподілом  $P(D_i)_{вих.}$ , максимальне відхилення становить 3,28 % для варіанта № 1 і 0,65 % для варіанта № 2. Розподіл  $P(D_i)_{Салт.}$ , реконструйований за методом Салтикова, дав також незначні відхилення, максимальне 3,44 %. Слід зазначити, що метод Салтикова вважають таким, що дає найкращі результати у порівнянні з іншими методами [2].

**Таблиця 1. Результати реконструкції  $P(D_i)_{рек.}$  від вихідного розподілу  $P_i(d)$  на системі кіл варіанта № 1**

Відносні частки	Розмірні інтервали, мм			
	0...10	10...20	20...30	30...40
<b>Відносні частки сфер вихідні, <math>P(D_i)_{вих.}</math></b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
Відносні частки кіл розраховані, $P_i'(d)_{розр.}$	0,1567	0,2733	0,3054	0,2646
Відносні частки кіл експериментальні, $P_i(d)_{експ.}$	0,1597	0,2692	0,3051	0,2660
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом від $P_i(d)_{експ.}$	0,2582	0,2431	0,2482	0,2504
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Салт.}$ , реконструйовані за методом Салтикова від $P_i(d)_{експ.}$	0,2586	0,2430	0,2481	0,2502

Таблиця 2. Результати реконструкції  $P'(D_i)_{рек.}$  за розробленим методом від вихідного розподілу  $P_i(d)_{експ.}$  на системі кіл варіанта № 2

Відносні частки	Розмірні інтервали, мм		
	0...20	20...30	30...50
<b>Відносні частки сфер вихідні <math>P(D_i)_{вих.}</math></b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>
Відносні частки кіл розраховані $P_i'(d)_{розн.}$	0,4990	0,3528	0,1481
Відносні частки кіл експериментальні $P_i(d)_{експ.}$	0,4978	0,3547	0,1475
Відносні частки сфер реконструйовані $P'(D_i)_{рек.}$	0,4978	0,4026	0,0996

Практичне співпадіння результатів реконструкції розподілу сфер за розробленим методом і методом Салтикова пояснюється їх однаковими вихідними положеннями для отримання робочих формул. Однак розроблений метод є більш універсальним, оскільки дозволяє застосовувати будь-яку розмірну шкалу (рівномірну, нерівномірну) з будь-якою кількістю інтервалів і може застосовуватися до аналізу складових несферичної форми, чого метод Салтикова не дозволяє.

Таким чином, експериментальна перевірка розробленого методу повністю підтвердила його правильність на етапі реконструкції розподілу  $P(D_i)$ , виходячи з розподілу плоских перерізів сфер  $P_i(d)$ . Ця ж перевірка підтвердила і правильність реконструкції  $P_i(d)$ , виходячи з розподілу хорд  $P_i(l)$ , в цьому випадку намальовані кола вважаємо саме колами, а результат їх перерізу січними лініями – хордами.

Далі була поставлена задача на основі обраних модельних розподілів порівняти точність розробленого і деяких існуючих методів реконструкції, в яких вихідною інформацією для реконструкції розподілу діаметрів сфер  $P(D_i)$  служить розподіл хорд  $P_i(l)$ , а саме, методів Спектора [1] і Бокштігеля [3].

Для цього за розробленим методом, виходячи з заданих  $P(D_i)_{вих.}$ , був розрахований розподіл  $P_i(d)$  шляхом вирішення рівнянь (6) і нормування отриманих  $P_i(d)$  за формулою (5); потім був розрахований розподіл  $P_i(l)$  шляхом вирішення рівнянь (4) і нормування отриманих  $P_i(l)$  за формулою:

$$P_i'(l) = \frac{P_i(l)}{\sum_{i=1}^n P_i(l)} \quad (9)$$

Розрахунки були виконані в заданих шкалах – з 4-х інтервалів для варіанта № 1 і з 3-х інтервалів для варіанта № 2. А потім отримані  $P_i'(l)$  взяті як вихідні дані для реконструкції  $P(D_i)$  розробленим методом і методами Спектора і Бокштігеля. При цьому розподіли, реконструйовані за вказаними методами, були після розрахунку додатково нормовані за формулами (7) і (8). Окрім того, для наочності співставлення методів, частки  $P(D_i)_{Бокшт.}$ , розраховані за методом Бокштігеля, умовно відносили до  $i$ -того інтервалу, а не  $(i+1/2)$ , як це передбачено методом.

Результати виконаних розрахунків наведені в табл. 3 і 4, вони показали повне співпадіння розподілу  $P'(D_i)_{рек.}$  реконструйованого за розробленим методом, з вихідним  $P(D_i)_{вих.}$ , що підтвердило правильність розробленого методу.

Розподіли  $P(D_i)_{Бокшт.}$  отримані за методом Бокштігеля, мали максимальне відхилення від  $P(D_i)_{вих.}$  26,6 % для варіанта № 1 і 11,4 % для варіанта № 2. Розподіли  $P(D_i)_{Спект.}$  отримані за методом Спектора, мали максимальне відхилення від  $P(D_i)_{вих.}$  26,6 % для варіанта № 1 і 67,4 % для варіанта № 2. Тобто методи Бокшті-

геля і Спектора не дозволили достовірно реконструювати розподіл сфер у даному дослідженні. Велике значення відхилень  $P(D_i)_{Спект.}$  від  $P(D_i)_{вих.}$  для варіанта № 2 пояснюється тим, що тут задіяна нерівномірна розмірна шкала, тобто у цьому методі доцільно застосовувати тільки рівномірну розмірну шкалу.

**Таблиця 3. Порівняння результатів реконструкції  $P(D_i)$  варіанта № 1 різними методами у 4-х розмірних інтервалах від вихідної інформації у вигляді розподілу хорд  $P_i'(l)_{розр.}$**

Відносні частки	Розмірні інтервали, мм			
	0...10	10...20	20...30	30...40
<b>Відносні частки сфер вихідні <math>P(D_i)_{вих.}</math></b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
Відносні частки хорд $P_i'(l)_{розр.}$ розраховані за розробленим методом	0,11797	0,28475	0,33589	0,26140
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ реконструйовані за розробленим методом	0,25	0,25	0,25	0,25
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Спект.}$ реконструйовані за методом Спектора	0,19540	0,23512	0,25293	0,31655
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Бокшт.}$ реконструйовані за методом Бокштігеля	0,19540	0,23512	0,25293	0,31655

**Таблиця 4. Порівняння результатів реконструкції  $P(D_i)$  варіанта № 2 різними методами у 3-х розмірних інтервалах від вихідної інформації у вигляді розподілу хорд  $P_i'(l)_{розр.}$**

Відносні частки	Розмірні інтервали, мм		
	0...10	10...40	40...50
<b>Відносні частки сфер вихідні <math>P(D_i)_{вих.}</math></b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>
Відносні частки хорд $P_i'(l)_{розр.}$ розраховані за розробленим методом	0,47525	0,31291	0,21185
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ реконструйовані за розробленим методом	0,5	0,4	0,1
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Спект.}$ реконструйовані за методом Спектора	0,780539	0,13032	0,08915
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Бокшт.}$ реконструйовані за методом Бокштігеля	0,47327	0,41529	0,11144

Взагалі, результати реконструкції за методами Спектора і Бокштігеля повністю співпали для рівномірної розмірної шкали за варіантом розподілу № 1, якщо не зважати на те, що частки  $P(D_i)_{Бокшт.}$  умовно відносили до  $i$ -того інтервалу, а не  $(i+1/2)$ , як це передбачено методом. Повне співпадіння результатів реконструкції за цими методами свідчить про їх ідентичність для рівномірної шкали, що показано і в роботі [10]. Різниця між ними в тому, що метод Бокштігеля придатний і до нерівномірної розмірної шкали.

Підкреслимо, що наведені результати мають припущення, що всі плоскі перерізи сфер (кола), а також хорди, які належать до певного розмірного інтервалу, відносять до верхньої границі інтервалу. В дійсності ж, сфери кожного розмірного інтервалу дають діапазон плоских перерізів, наприклад, сфери діаметром  $D=10$  мм дають кола діаметрами  $d$  від 0 до 10 мм, сфери діаметром  $D=20$  мм дають кола діаметрами  $d$  від 0 до 20 мм, і т.д. Тобто, в експерименті прийнято,

що для варіанта № 1 існують сфери тільки чотирьох розмірів, для варіанта № 2 – трьох розмірів, але на плоскому перерізі цих сукупностей сфер в дійсності буде отримано діапазон діаметрів кіл від 0 до  $D_{max}$ .

Тому більш реальний і достовірний (розрахований за розробленим методом [5]) розподіл хорд  $P_i'(l)$  слід знаходити, обравши в якості вихідного розподіл  $P_i'(d)$ , отриманий для шкали з більшою кількістю інтервалів, тобто з меншим розмірним інтервалом. З цією метою в даному дослідженні обрана розмірна шкала з інтервалом 2 мм, яка для варіанта № 1 мала 20 інтервалів, оскільки максимальний діаметр сфер у цьому варіанті становив  $D=40$  мм, а для варіанта № 2 – 25 інтервалів, оскільки максимальний діаметр сфер у цьому варіанті становив  $D=50$  мм. Для цих шкал теж виконані розрахунки за розробленим методом і методами, обраними для порівняння. Результати розрахунків  $P_i'(d)$  і  $P_i'(l)$  у 20-ти інтервалах для модельного варіанта № 1 наведені на рис. 1.

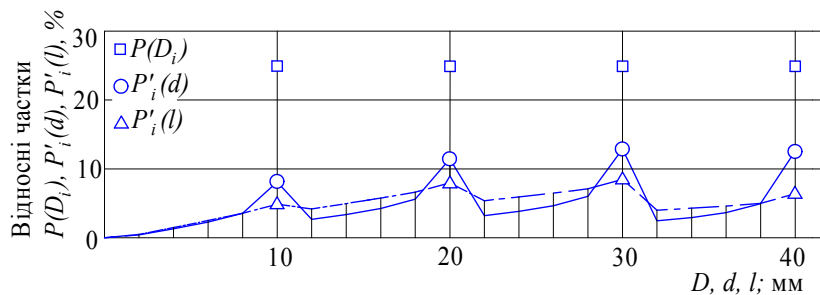


Рис. 1. Розподіли діаметрів сфер  $P(D_i)$  модельного варіанта № 1, їх плоских перерізів  $P_i'(d)$  і хорд  $P_i'(l)$ , розрахованих за розробленим методом в розмірній шкалі з 20-ти інтервалів

Реконструйований за розробленим методом у 20-ти і 25-ти інтервалах  $P'(D_i)_{рек.}$  майже повністю співпав з  $P(D_i)_{вих.}$  по обох варіантах сукупностей сфер, максимальне відхилення становило 0,001 %. Реконструкція за методами Спектора і Бокштігеля дала теж добрий результат – максимальне відхилення  $P(D_i)_{Спект.}$  і  $P(D_i)_{Бокшт.}$  для сукупності сфер № 1 становило 0,59 %, а для сукупності № 2 – 0,19 %, що свідчить про правильність і цих методів за умови застосування розмірної шкали з достатньою кількістю інтервалів, тобто таку, в якій розподіл перерізів (кіл і хорд) достатньо наближений до реального (див. рис. 1).

Далі, для з'ясування впливу збільшення величини розмірних інтервалів у шкалі, розподіл  $P_i'(l)$ , отриманий в шкалах з 20-ти і 25-ти інтервалів був представлений в шкалі з 4-х і 3-х інтервалів, відповідно. Наприклад, хорди, розраховані для п'яти інтервалів (0...2; 2...4; 4...6; 6...8; 8...10 мм) об'єднані в інтервал (0...10 мм), ці хорди віднесені до верхньої границі інтервала (тобто, вважали, що всі вони мають розмір 10 мм) і вже ці скориговані вихідні дані по чотирьох або трьох інтервалах теж взяті для наступної реконструкції  $P(D_i)$  за розробленим методом і методами Бокштігеля і Спектора. Результати розрахунків наведені в табл. 5 і 6. Результати цієї частини дослідження показали негативний вплив збільшення величини розмірних інтервалів у шкалі для усіх методів реконструкції: для розробленого методу максимальне відхилення  $P'(D_i)_{рек.}$  від  $P(D_i)_{вих.}$  становило для варіантів розподілу № 1 і № 2, відповідно, 14,6 і 7,9 %, для метода Спектора – 7,5 і 56,6 %; для метода Бокштігеля – 7,5 і 15,8 %.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**Таблиця 5. Вплив збільшення величини розмірних інтервалів на результати реконструкції  $P(D_i)$  варіанта № 1 різними методами**

Відносні частки	Розмірні інтервали, мм			
	0...10	10...20	20...30	30...40
<b>Відносні частки сфер вихідні <math>P(D_i)_{вих.}</math></b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
<i>Реконструкція <math>P(D_i)</math>, виходячи з <math>P_i'(l)_{розр.}</math>, розрахованих у 20-ти інтервалах за розробленим методом і об'єднаних потім у 4 інтервали згідно розмірної шкали</i>				
Відносні частки хорд $P_i'(l)_{розр.}$ , розраховані за розробленим методом	0,12904	0,29471	0,33348	0,24277
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом від $P_i'(l)_{розр.}$	0,28638	0,25674	0,24179	0,21510
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Спект.}$ , реконструйовані за методами Спектора (Бокштігеля) від $P_i'(l)_{розр.}$ і об'єднані потім у 4 інтервали	0,23870	0,24444	0,24810	0,26877
<i>Реконструкція <math>P(D_i)</math>, виходячи з <math>P_i'(d)_{рек.}</math>, реконструйованих у 20-ти інтервалах за розробленим методом і об'єднаних потім у 4 інтервали згідно розмірної шкали</i>				
Відносні частки кіл $P_i'(d)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом у 20-ти інтервалах і об'єднані потім у 4 інтервали (від вихідного $P_i'(l)_{розр.}$ , розрахованого у 20-ти інтервалах)	0,15665	0,27333	0,30544	0,26458
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом від $P_i'(d)_{рек.}$	0,25	0,25	0,25	0,25

**Таблиця 6. Вплив збільшення величини розмірних інтервалів на результати реконструкції  $P(D_i)$  варіанта № 2 різними методами**

Відносні частки	Розмірні інтервали, мм		
	0...10	10...40	40...50
<b>Відносні частки сфер вихідні <math>P(D_i)_{вих.}</math></b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>
<i>Реконструкція <math>P(D_i)</math>, виходячи з <math>P_i'(l)_{розр.}</math>, розрахованих у 25-ти інтервалах за розробленим методом і об'єднаних потім у 3 інтервали</i>			
Відносні частки хорд $P_i'(l)_{розр.}$ , розраховані за розробленим методом	0,48523	0,31598	0,19879
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом від $P_i'(l)_{розр.}$	0,50641	0,40150	0,09209
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Спект.}$ , реконструйовані за методом Спектора від вихідних $P_i'(l)_{розр.}$	0,78293	0,13513	0,08194
Відносні частки сфер $P(D_i)_{Бокштігеля}$ , реконструйовані за методом Бокштігеля від вихідних $P_i'(l)_{розр.}$	0,47904	0,41854	0,10242
<i>Реконструкція <math>P(D_i)</math>, виходячи з <math>P_i'(d)_{рек.}</math>, розрахованих у 25-ти інтервалах за розробленим методом і об'єднаних потім у 3 інтервали</i>			
Відносні частки кіл $P_i'(d)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом у 25-ти інтервалах і об'єднані потім у 3 інтервали (від вихідного $P_i'(l)_{розр.}$ , розрахованого у 25-ти інтервалах)	0,499006	0,352846	0,148148
Відносні частки сфер $P'(D_i)_{рек.}$ , реконструйовані за розробленим методом від $P_i'(d)_{рек.}$	0,5	0,4	0,1

Ще одна перевірка розробленого методу реконструкції здійснена на основі експериментальних даних роботи [11], в якій автори Timchak і Jones досліджували полідисперсну систему мідних сферичних частинок, зафіксованих в органічній смолі. Для цієї системи сфер із задалегідь відомим  $P(D)_i$  вони визначали експериментально, а також розрахували розподіл хорд  $P_i(l)_{вих.}$ , який далі застосували в якості вихідної інформації для стереологічної реконструкції.

У даній роботі, розподіл хорд  $P_i(l)_{вих.}$  з роботи [11] був застосований в якості вихідної інформації для реконструкції розподілу  $P'(D)_i_{рек}$  за розробленим методом.  $P'(D)_i_{рек}$  майже співпав з вихідним розподілом сфер  $P(D)_i_{вих.}$  – максимальне відносне відхилення становило 8,3 % (табл. 7; рис. 2). Таким чином, ця перевірка підтвердила вірність розробленого методу реконструкції, обох його переходів – від хорд до плоских перерізів і від плоских перерізів до розподілу діаметрів сфер.

Реконструкцію розподілу сфер виконали також і за методом Спектора (Бокштігеля), який показав трохи гірший результат – в інтервалі (100...125 мкм) сфери виявилися відсутніми (по решті інтервалів максимальне відхилення – 5,9 %).

Таблиця 7. Порівняння методів реконструкції на прикладі даних Timchak і Jones

Вид розподілу	Розмірна шкала							
	0...25	25...50	50...75	75...100	100...125	125...150	150...175	175...200
$P(D)_i_{вих.}$	-	-	-	-	0,0324	0,6515	0,2754	0,0407
$P_i(l)_{вих.}$	0,0150	0,0446	0,0764	0,1371	0,2420	0,3333	0,1318	0,0198
$P'(D)_i_{рек.}$	-	-	-	-	0,0297	0,6580	0,2725	0,0397
$P(D)_i_{Спект.}$	-	-	-	-	-	0,6685	0,2884	0,0431
$P_i'(d)_{рек.}$	0,0043	0,0030	0	0,0354	0,2175	0,5054	0,2041	0,0302
$P_i(d)_{Салт.}$	0,0044	0,0032	0	0,0354	0,2174	0,5054	0,2040	0,0302

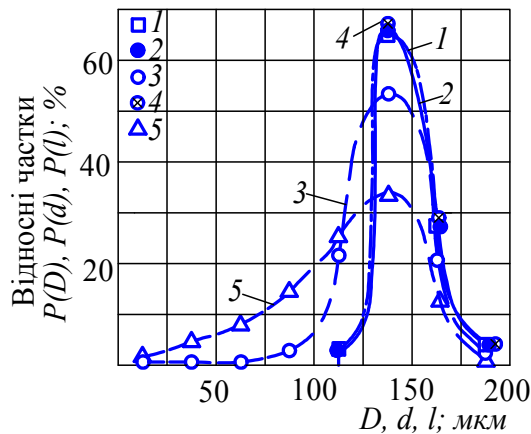


Рис.2. Вихідний розподіл сфер  $P(D)_{вих.}$  (1) за даними Timchak і Jones [11] і розподіли, реконструйовані за розробленим методом  $P'(D)_i_{рек.}$  (2), методом Спектора (Бокштігеля) (4)  $P(D)_i_{Спект.}$ , методом Салтикова  $P_i(d)_{Салт.}$  (3) від вихідного розподілу хорд  $P_i(l)$  (5)

Крім того, у даній роботі з'ясовано, що автори роботи [11], застосувавши для реконструкції метод Салтикова і вихідну інформацію у вигляді розподілу хорд  $P_i(l)_{вих.}$ , реконструювали тим самим не розподіл сфер  $P(D_i)$ , а розподіл діаметрів кіл  $P_i(d)$  на плоскому перерізі. Хоча метод був розроблений Салтиковим для реконструкції  $P(D_i)$ , виходячи з розподілу  $P_i(d)$ , формулу (1) методу (з тими ж коефіцієнтами  $A_i$ ) можна застосовувати і для реконструкції  $P_i(d)$  від вихідної інформації у вигляді розподілу хорд  $P_i(l)$ , що пояснюється однотиповістю співвідношення розподілів сфер  $P(D_i)$  і їх плоских перерізів  $P_i(d)$  з одного боку і розподілів плоских перерізів  $P_i(d)$  і хорд  $P_i(l)$  з другого, що є одним з вихідних положень і розробленого методу. Цей висновок був підтверджений розрахунком  $P_i(d)$  від вихідної інформації  $P_i(l)$  за розробленим методом і методом Салтикова – результати обох методів ( $P'(d)_{рек.}$  і  $P_i(d)_{Салт.}$ ) майже співпали, що підтвердило вірність обох методів.

**Висновки.** Таким чином, усі виконані перевірки розробленого методу реконструкції розподілу діаметрів сфер підтвердили його вірність як на етапі переходу від  $P_i(l)$  до  $P_i(d)$ , так і на етапі переходу від  $P_i(d)$  до розподілу сфер  $P(D_i)$ . Цей метод дає більш точні результати реконструкції, ніж методи Спектора і Бокштігеля, а також має перевагу у порівнянні з методом Салтикова в тому, що в ньому може застосовуватися будь-яка розмірна шкала і два види вихідної інформації – як розподіл хорд, так і розподіл діаметрів кіл. І головна перевага перед розглянутими існуючими і визнаними методами в тому, що його, на відміну від них, можливо застосовувати для аналізу структурних складових несферичної форми, для чого, у відповідності до винаходу [5], слід встановити коефіцієнти форми цих складових.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография / С.А.Салтыков – М.: Металлургия, 1976. – 375 с.
2. Чернявский К. С. Стереология в металловедении / К.С.Чернявский – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
3. Bockstiegel G. Eine einfache formel zur berechnung raumlicher grobenverteilungen aus durch linearanalyse erhaltenen daten / G. Bockstiegel // Zeitschrift fur Metallkunde. – 1966. – 57. – № 8. – P. 647 – 652.
4. Даниленко Т. П. Оптимизация режимов термической обработки на основе разработки нового метода определения параметров пространственной зеренной структуры: дис. канд. техн. наук / Т. П. Даниленко; ДМетИ. – Днепропетровск, 1988. – 227 с.
5. Пат. 97453 Україна, МПК G01N 33/20, G01N 21/00. Спосіб визначення основних параметрів об'ємної структури металевих матеріалів / Даниленко Т. П., Даниленко Е. І. (Україна); заявник та патентовласник Державний економіко-технологічний університет транспорту. – № а 2011 01065; заявл. 31.01.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 3. – 6 с.
6. Danilenko T. New method for stereological reconstruction of nontransparent materials space structures / T. Danilenko // Proc. 1-st Int. Conf. «Development, Testing and Application of Materials». – Croatia, 1996. – P. 89 – 95.
7. Даниленко Т. П. Застосування стереології до аналізу металевих зеренних структур / Т. П. Даниленко // Металознавство та обробка металів. – 2010. – № 3. – С. 35 – 42.
8. Даниленко Т. П. Визначення параметрів об'ємної зеренної структури металевих матеріалів / Т. П. Даниленко // Металознавство та обробка металів. – 2013. – № 1. – С. 38 – 47.

9. Даніленко Т. П. Урахування форми структурних складових у стереологічному аналізі / Т. П. Даніленко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 22. – К.: ДЕДУТ, 2013. – С. 20 – 27.

10. Лезинская Е. Я. Стереометрическая металлография: Методы количественного анализа пространственной зеренной структуры металлов и сплавов / Е.Я.Лезинская – Днепропетровск: ЧМП «Економіка», 2013. – 298 с.

11. Timchak G. M. Measurement and stereological size analysis of sized spheres / G.M. Timchak, M.P.Jones // J. Microscopy. – 1972. – 95. – Pt. 2. – P. 301 – 307.

***Tetiana P. Danilenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Professor of Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for  
Transport Economy and Technologies***

### VERIFICATION AND COMPARISON OF THE STEREOLOGICAL RECONSTRUCTION METHODS FOR THE STRUCTURES WITH SPHERICAL COMPONENTS

***The experimental verification of the method created for reconstruction diameter distribution of spherical components polydisperse structures in comparison with most known methods by Saltykov, Spector, Bockstiegel. Reconstruction methods were tested using the original information as distribution of the chords or diameters plane sections of spheres. The test made for the model structures with spherical particles. The verification showed the correctness of methods and greater accuracy and versatility of the created reconstruction method.***

***Keywords:* spherical structural components, stereological reconstruction of the size distribution, verification of the reconstruction methods.**

### REFERENCES

1. Saltykov S. A. (1976) Stereometricheskaya metallografiya [Stereometric Metallography]. Moscow: Metallurgiya, 375 p. (in Russian)

2. Chernyavskiy K. S. (1977) Stereologiya v metallovedenii [Stereology in Metal Science]. Moscow: Metallurgiya, 280 p. (in Russian)

3. Bockstiegel G. (1966) Eine einfache formel zur berechnung raumlicher grobenverteilungen aus durch linearanalyse erhaltenen daten [A simple formula for calculation of spatial distributions gross by linear analysis obtained data]. Zeitschrift fur Metallkunde, vol. 57, no. 8, pp. 647 – 652.

4. Danilenko T. P. (1988) Optimizatsiya rezhimov termicheskoy obrabotki na osnove razrabotki novogo metoda opredeleniya parametrov prostranstvennoy zerennoy struktury [Optimization of modes of heat treatment on the basis of the development of a new method of determining the parameters of spatial grain structure] (PhD Thesis), Dnepropetrovsk: DMetI, 227 p.

5. Danilenko T. P., Danilenko E. I. (2012) Sposib vyznachennia osnovnykh parametriv obiemnoi struktury metalevykh materialiv [Method for determining the basic parameters of the bulk structure of metallic materials] (Patent 97453, Ukraine), Kiev, State University for Transport Economy and Technologies.

6. Danilenko T. (1996) New method for stereological reconstruction of nontransparent materials space structures. Proceedings of the Development, Testing and Application of Materials (Croatia, 1996) . Croatia, pp. 89 – 95.

7. Danilenko T. P. (2010) Zastosuvannja stereologii' do analizu metalevyh zerenykh struktur [Application stereology to the analysis of metallic grain similar structures]. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, vol. 3, pp 35 – 42.
8. Danilenko T. P. (2013) Vyznachennja parametriv ob'jemnoi' zerennoi' struktury metalevykh materialiv [Characterization of bulk grain structure of metallic materials]. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, vol. 1, pp 38 – 47.
9. Danilenko T. P. (2013) Urahuvannja formy strukturnykh skladovykh u stereologichnomu analizi [Considering the form of structural components in the stereological analysis]. Kiev: Zbirnyk naukovykh prac' DETUT: Serija «Transportni systemy i tehnologii'», vol. 22, pp. 20 – 27.
10. Lezinskaya Ye.Ya. (2013) Stereometricheskaya metallografiya: Metody kolichestvennogo analiza prostranstvennoy zerennoy struktury metallov i splavov [Stereometric metallography: Methods for quantitative analysis of spatial grain structure of metals and alloys]. Dnepropetrovsk: ChMP «Yekonomika», 298 p. (in Russian)
11. *Timchak G.M.* (1972) Measurement and stereological size analysis of sized spheres. *Microscopy*, vol. 95, no 2, pp. 301 – 307.

УДК 621.3/629.4:620.9

*А. А. Сулим, к.т.н.*

*(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА С СИСТЕМАМИ РЕКУПЕРАЦИИ И НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

*В статье рассмотрена одна из основных и актуальных на сегодняшний день проблем – энергосбережение на подвижном составе метрополитена. Из предыдущих исследований установлено, что перспективными направлениями по снижению потребляемой электроэнергии на тягу является применение систем рекуперации и накопителей энергии на подвижном составе. Целью данной статьи является исследование энергообменных процессов для определения количества потребляемой и рекуперированной электроэнергии при размещении накопителей различной энергоемкости. Выполнены экспериментальные исследования энергообменных процессов для заданного режима ведения подвижного состава с системами рекуперации. На основании ранее предложенной процедуры, проведены исследования при размещении на подвижном составе накопителей различной энергоемкости, по результатам которых определено количество потребляемой, рекуперированной в накопитель, а также избыточной электроэнергии при заданных условиях его ведения. Установлено, что размещение накопителей с рабочей энергоемкостью 5; 10; 44,4 кВт·час позволит уменьшить количество потребляемой электроэнергии из контактной сети соответственно на 24,0; 29,5; 36,5 %. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение рациональной энергоемкости накопителей, размещаемых на подвижном составе метрополитена с системами рекуперации, при его заданном режиме ведения на конкретной линии.*

*Ключевые слова: подвижной состав метрополитена, система рекуперации, накопитель энергии.*

*У статті розглянута одна з основних і актуальних на сьогоднішній день проблем – енергозбереження на рухомому складі. З попередніх досліджень встановлено, що перспективними напрямками зі зниження споживання електроенергії на тягу є застосування систем рекуперації та накопичувачів енергії на рухомому складі. Метою даної статті є дослідження енергообмінних процесів для визначення кількості спожитої та рекуперованої електроенергії при розміщенні накопичувачів різної енергоємності на рухо-*

© Сулим А. А., 2016

*мому складі. Виконано експериментальні дослідження енергообмінних процесів для заданого режиму ведення рухомого складу з системами рекуперації. На основі раніше запропонованої процедури, проведені дослідження при розміщенні на рухомому складі накопичувачів різної енергоємності, за результатами яких визначено кількість спожитої, рекуперованої в накопичувач, а також надлишкової електроенергії при заданих умовах його ведення. Встановлено, що розміщення накопичувачів з робочою енергоємністю 5; 10; 44 кВт·год дозволить зменшити кількість спожитої електроенергії з контактної мережі відповідно на 24,0; 29,5; 36,5 %. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на визначення раціональної енергоємності накопичувачів, які розміщенні на рухомому складі метрополітену з системами рекуперації, при його заданому режимі ведення на конкретній лінії.*

*Ключові слова: рухомий склад метрополітену, система рекуперації, накопичувач енергії.*

**Постановка проблеми.** Проблема снижения потерь при преобразовании и потреблении электроэнергии становится стратегическим направлением развития многих отраслей промышленности и секторов экономики, в том числе и метрополитена. Обозначенный тезис подтверждается основными результатами современных научных исследований [1–3] и положениями государственных программ развития метрополитена [4–6].

Отечественный подвижной состав метрополитенов является мощным и энергоемким потребителем электроэнергии. К примеру, количество потребляемой электроэнергии на тягу подвижным составом метрополитена за год КП «Киевский метрополитен» составляет около 150 млн кВт·час [7]. Доля затрат на электроэнергию по отношению к общим затратам состоянием на 2014 год составляет около 7 % [7]. Однако, учитывая поэтапное повышение стоимости энергоресурсов на протяжении 2015-2017 годов [8], ожидается увеличение данного показателя уже в 2017 году на 10 % (затраты на электроэнергию будут составлять около 17 % от общих затрат). Поэтому исследования, направленные на улучшения энергосбережения и повышение энергоэффективности подвижного состава метрополитена, являются своевременными и становятся все более актуальными.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Из предыдущих исследований [9–14] известно, что одним из перспективных способов снижения потребляемой электроэнергии на тягу подвижным составом метрополитена является применение рекуперативного торможения. Данный вид торможения позволяет использовать значительную часть кинетической энергии подвижного состава метрополитена.

В настоящее время в метрополитенах Украины перевозка пассажиров обеспечивается, в основном, поездами с коллекторными двигателями постоянного тока последовательного возбуждения и релейно-контакторными системами управления. С целью сокращения расходов электроэнергии на тягу в последние годы создаются и модернизируются отечественные поезда метрополитена. Главными отличиями этих поездов является использование тягового асинхронного электропривода переменного тока вместо электропривода постоянного тока, микропроцессорной системы управления, а также внедрения другого энергосберегающего оборудования и технологий, прежде всего систем рекуперации.

В публікації [9] відзначається, що експлуатація даних поїздів дозволить скоротити споживання електроенергії з мережі до 35 %.

Аналіз досліджень [13–16] показав можливість додаткового енергозбереження при експлуатації рухомого складу метрополітену з системами рекуперації за рахунок ефективного використання електроенергії гальмування шляхом застосування накопичувачів енергії. Основні типи накопичувачів і їх технічні характеристики більш детально описані в роботах [7, 17–19]. Слід відзначити, що в даних роботах також наведено переваги і недоліки для кожного типу накопичувача. За результатами аналізу значущої кількості досліджень [7, 14, 20] встановлено, що значущу перспективу в метрополітені мають ємнісні накопичувачі енергії при їх розміщенні на рухомому складі метрополітену з системами рекуперації.

Одним з важливих питань при цьому є оцінка кількості споживаної і рекуперованої електроенергії при розміщенні ємнісних накопичувачів енергії (далі – накопичувачів) заданої енергоємності на рухомому складі з системою рекуперації в реальних умовах його експлуатації. В роботі [21] запропоновано процедуру досліджень, яка дозволяє виконати оцінку кількості споживаної, рекуперованої в накопичувач, а також електроенергії, яка віддається в контактну мережу або виділяється в вигляді теплоти на резисторах при заданому режимі руху рухомого складу метрополітену і енергоємності накопичувача.

Режим руху задається в формі матриці з допомогою наступних параметрів: середнього споживаного (рекуперованого) струму, середнього значення напруги контактної мережі, тривалістю кожного режиму руху. Слід відзначити, що при визначенні кількості електроенергії передбачається врахування кількості накопленої електроенергії в накопичувачі на попередньому режимі руху поїзда і обмеженість накоплення заданої енергоємністю при рекуперації гальмування.

Процедура передбачає визначення початкових даних кількості електроенергії також в формі матриці. Матриця початкових даних складається з наступних стовпців: кількість споживаної електроенергії без застосування накопичувача –  $A_{\text{потр}}$ , кількість споживаної електроенергії з використанням накопичувача –  $A_{\text{потр.нак}}$ , кількість рекуперованої електроенергії в накопичувач –  $A_{\text{нак.рек}}$ , кількість електроенергії, яка віддається в контактну мережу або виділяється в вигляді теплоти на резисторах (кількість надлишкової електроенергії) –  $A_{\text{изб.рек}}$ . Кількість рядків матриці формує заданий режим руху поїзда. Після заповнення матриці визначається загальна кількість споживаної і рекуперованої електроенергії для заданого режиму руху рухомого складу з системою рекуперації.

Таким чином, процедура досліджень складається з наступних основних етапів: експериментальне дослідження енергообмінних процесів при експлуатації рухомого складу з системами рекуперації; обробка осцилограм для задання режиму руху; розрахунок кількості споживаної, накопленої і надлишкової електроенергії при розміщенні на поїзді накопичувача заданої енергоємності. Більш детально процедура досліджень кількості споживаної і рекуперованої електроенергії при розміщенні накопичувача заданої енергоємності на рухомому складі описана в роботі [21].

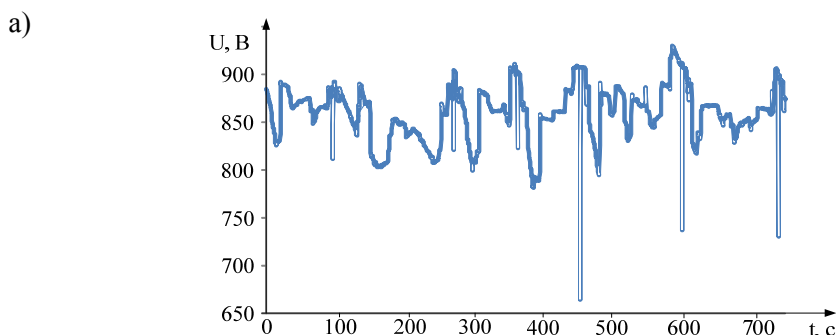
Практический интерес представляют исследования с помощью предложенной процедуры по определению количества сохраняемой электроэнергии за счет использования на подвижном составе метрополитена с системами рекуперации накопителей различной энергоемкости для заданного режима его ведения.

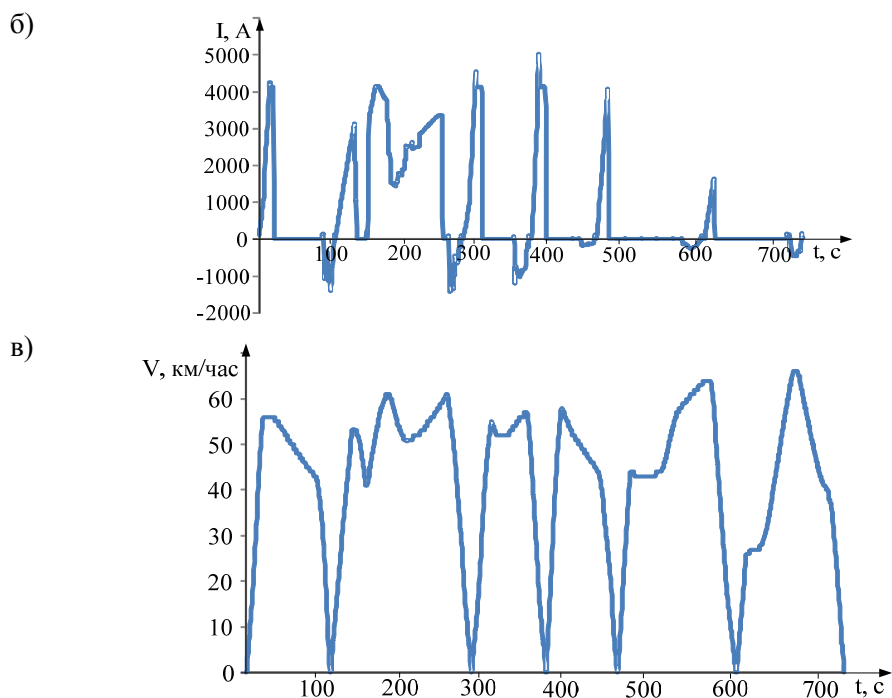
**Цель статьи** – исследование энергообменных процессов для определения количества потребляемой и рекуперированной электроэнергии при размещении накопителей различной энергоемкости на подвижном составе метрополитена с системами рекуперации.

**Основной материал исследований.** Экспериментальное исследование энергообменных процессов проведено на Святошинско-Броварской линии КП «Киевский метрополитен» с использованием испытательного комплекса, в состав которого входит подвижной состав метрополитена с системами рекуперации и измерительная система, установленная на его борту. Подвижной состав представляет собой пятивагонный модернизированный поезд производства ПАО «КВСЗ» с асинхронным тяговым приводом, в котором головные вагоны – безмоторные, промежуточные – моторные. Измерительная система разработана специалистами ГП «УкрНИИВ» для исследования энергообменных процессов между контактной сетью и поездом в реальных условиях его эксплуатации. В состав измерительной системы входят: персональный компьютер, аналого-цифровой преобразователь, блок коммутации, блок согласования и измерительные датчики. Обработка данных на персональном компьютере осуществляется с помощью аттестованного программного обеспечения «ЭЛЕКТРО» [22]. Измерительная система предусматривает получение, отображение и сохранение данных, полученных от измерительных датчиков, которые установлены на опытном поезде.

Исследования проводились с максимальной загрузкой вагонов модернизированного поезда при его заданном режиме ведения между конечными станциями «Лесная–Академгородок–Лесная» с соблюдением «непикового» графика движения. Осциллограммы напряжения контактной сети (на токоприемнике), тока и скорости подвижного состава с системой рекуперации при его эксплуатации между станциями «Политехнический институт–Академгородок», приведены на рис. 1.

Аналогичным образом получены осциллограммы на других перегонах при эксплуатации поезда с системой рекуперации между конечными станциями «Лесная–Академгородок–Лесная».





**Рис. 1. Осциллограммы при эксплуатации поезда с системой рекуперации между станциями «Политехнический институт–Академгородок»:**  
**а) напряжение на токоприемнике  $U(t)$ ; б) ток поезда  $I(t)$ ; в) скорость движения поезда  $V(t)$**

Для каждого режима ведения по результатам обработки осциллограмм определены средние значения напряжения контактной сети (на токоприемнике) и потребляемого (рекуперируемого) тока по формулам:

$$U_{cp} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k U_i; \quad (1)$$

$$I_{cp} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k I_i; \quad (2)$$

где  $k$  – частота опроса при обработке осциллограмм.

Также определена длительность каждого режима ведения (тяги, выбега, торможения) поезда с системой рекуперации при его движении между конечными станциями «Лесная–Академгородок–Лесная».

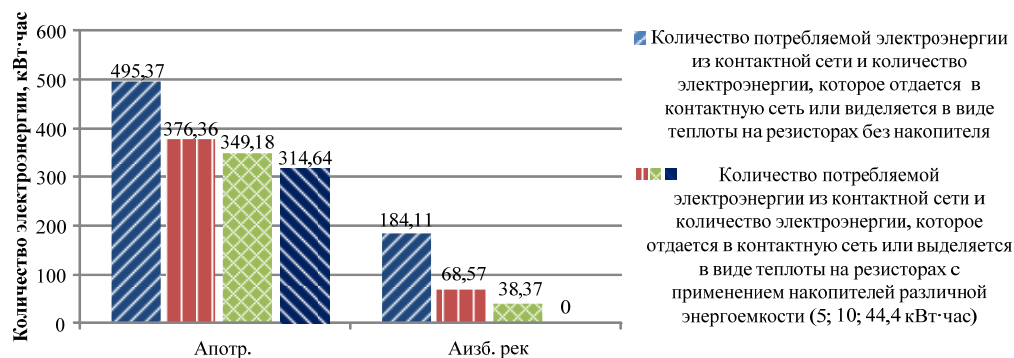
Таким образом, по результатам обработки данных, полученных с помощью испытательного комплекса в виде осциллограмм, определены начальные условия, которые задаются в виде матрицы для выполнения вышеуказанной процедуры исследований. Перед проведением процедуры исследований выполнена оценка количества электроэнергии, которое выделяется при каждом единичном рекуперативном торможении по формуле:

$$A_{рек} = \frac{I_{ср.рек} \cdot U_{ср.рек} \cdot t_{рек}}{3600 \cdot 1000}; \quad (3)$$

где  $I_{ср.рек}$  – среднее значение тока в режиме рекуперативного торможения;  
 $U_{ср.тяги}$  – среднее значение напряжения в режиме рекуперативного торможения;  
 $t_{рек}$  – длительность режима рекуперативного торможения.

Результаты исследований показали, что количество рекуперированной электроэнергии при единичных торможениях для заданных условий ведения подвижного состава с системой рекуперации между конечными станциями «Лесная–Академгородок–Лесная» изменяется в пределах от 0,95 кВт·час (3,42 МДж) до 44,4 кВт·час (160 МДж). На основании результатов исследований рассмотрено использование на подвижном составе с системой рекуперации трех различных накопителей с рабочей энергоемкостью соответственно 5; 10; 44,4 кВт·час (18; 36; 160 МДж). При выполнении исследований также принято, что для накопителей коэффициент возврата электроэнергии равен 0,9 ( $k_{в}=0,9$ ). Таким образом, на основании ранее предложенной процедуры исследований при размещении на подвижном составе накопителей указанной энергоемкости определено количество потребляемой, рекуперированной в накопитель, а также избыточной электроэнергии при заданных условиях его ведения.

Результаты исследований энергообменных процессов при размещении на подвижном составе с системами рекуперации накопителей различной энергоемкости, приведены на рис. 2.



**Рис. 2. Диаграммы количества потребляемой и рекуперированной электроэнергии при заданных условиях ведения подвижного состава с системами рекуперации без накопителя и с применением накопителей различной энергоемкости**

По результатам полученных данных (рис. 2) рассчитано процентное уменьшение количества потребляемой электроэнергии из контактной сети ( $\alpha$ , %), а также процентное уменьшение количества избыточной электроэнергии рекуперативного торможения ( $\beta$ , %) за счет применения накопителей энергии различной энергоемкости по формулам:

$$\alpha = \left( 1 - \frac{A_{потр. нак}}{A_{потр}} \right) \cdot 100; \quad (4)$$

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

$$\epsilon = \left( 1 - \frac{A_{\text{изб. рек. нак}}}{A_{\text{изб. рек}}} \right) \cdot 100; \quad (5)$$

где  $A_{\text{потр}}$ ,  $A_{\text{потр. нак}}$  – количество потребляемой электроэнергии из контактной сети без применения и с применением накопителя энергии, кВт·час;  $A_{\text{изб. рек}}$ ,  $A_{\text{изб. рек. нак}}$  – количество избыточной рекуперированной электроэнергии без применения и с применением накопителя энергии, кВт·час.

Результаты расчетов, выполненные по формулам (4) и (5), представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчетов

Рабочая энергоемкость накопителя, кВт·час (МДж)	$\alpha$	$\beta$
5 (18)	24,0	62,8
10 (36)	29,5	79,2
44,4 (160)	36,5	100

**Выводы и предложения.** По результатам выполненных исследований установлено, что размещение накопителей энергии с рабочей энергоемкостью 5; 10; 44,4 кВт·час (18; 36; 160 МДж) на подвижном составе метрополитена с системой рекуперации при его заданном режиме ведения между конечными станциями Святошинско-Броварской линии, позволит уменьшить количество потребляемой электроэнергии из контактной сети соответственно на 24,0; 29,5; 36,5 %. Также установлено, что применение накопителей с рабочей энергоемкостью 5 кВт·час (18 МДж) и 10 кВт·час (36 МДж) для заданных условий, позволит уменьшить количество избыточной электроэнергии рекуперативного торможения соответственно на 62,8 % и 79,2 %. Для сохранения полного объема электроэнергии рекуперативного торможения требуется размещать накопитель энергии с рабочей энергоемкостью не менее чем 44,4 кВт·час (160 МДж).

Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение рациональной энергоемкости накопителей энергии, размещаемых на подвижном составе метрополитена с системой рекуперации, при его заданном режиме ведения на конкретной линии. При этом рекомендуется определять рациональную энергоемкость по критерию минимального срока окупаемости накопителей энергии, исходя из количества сохраняемой и повторно используемой ими электроэнергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Kelrykh, M.* Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Текст] / М. Kelrykh, О. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67.
2. *Кельріх, М.Б.* Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст] / М.Б. Кельріх, В.І.Мороз, О.В.Фомін // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2014. – № 2(210). – С. 94-103.
3. *Фомін, О.В.* Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст] / О.В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу:

<http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>

4. *Розпорядження* Кабінету Міністрів України № 1361-р: офіц. текст: «Про схвалення Концепції Державної цільової програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року» [схвалено Кабінетом Міністрів України від 28.12.2011 р.]. – К.: Офіційний вісник України, 2012. – Вип. № 4. – С. 165.

5. *Про енергозбереження*: [закон України: офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 75/94-ВР від 01.07.1994 р. зі змінами і доповненнями внесеними Законами України]. – К.: Парламенське вид-во, 2014. – 15 с.

6. *Комплексна* програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки, затвердженої Наказом Міністерства транспорту і зв'язку України № 1259 від 14.10.2008 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uz.gov.ua>

7. *Сулим, А.А.* Повышение эффективности энергообеспечения подвижного состава метрополитена с системами рекуперации путем применения емкостных накопителей энергии: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Сулим Андрей Александрович; ГП «Государственный научно-исследовательский центр железнодорожного транспорта Украины». – К., 2015. – 188 с. – Библиогр.: с. 150–163.

8. *Постанова* Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 220: офіц. текст: [схвалено Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 26.02.2015 р. та зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 02.03.2015 р.]. – К.: Офіційний вісник України, 2015. – Вип. № 15/1. – С. 399.

9. *Донченко, А.В.* Дослідження енергоефективності модернізованого поїзда метрополітену виробництва ПАТ «КВБЗ» / А.В. Донченко, С.О. Мужичук, А.О. Сулим, П.О. Хозя, О.О. Мельник // Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». – Кременчук: Вид-во ДП «УкрНДІВ», 2015. – Вип. 12. – С. 48–56.

10. *Гаврилов, Я.И.* Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями / Я.И. Гаврилов, В.А. Мнацаканов. – М.: Транспорт, 1986. – 229 с.

11. *Sone, S.* Экономия энергии на рельсовом транспорте Японии / S. Sone // Железные дороги мира. – 2013. – № 8. – С. 47–53.

12. *Саблин, О.И.* Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену / О.И. Саблин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вип. 6/8 (72). – С. 9–13.

13. *Щуров, Н.И.* Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н.И. Щуров, К.В. Щеглов, А.А. Штанг // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск, 2008. – Вип. № 1 (51). – С. 99–104.

14. *Шевлюгин, М.В.* Ресурсо- и энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.09.03 / Шевлюгин Максим Валерьевич; Московский государственный университет путей сообщения – М., 2013. – 48 с. – Библиогр.: с. 45–48.

15. *Negishi, H.* Аккумуляция энергии на железных дорогах // H. Negishi // Железные дороги мира. – 2003. – № 6. – С. 55–59.

16. *Бычкова, М.П.* Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро / М.П. Бычкова // Энергосовет. – 2011. – Вип. 3 (16). – С. 74–76.

17. *Накопители* энергии : под ред. Д.А. Бута / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.

18. *Устенко, А.В.* Использование накопителей энергии для улучшения параметров локомотивов / А.В. Устенко, О.В. Пасько // Локомотив-інформ. – 2012. – № 10. – С. 4–6.

19. *Любарский, Б.Г.* Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств / Б.Г. Любарский, В.П. Шайда, С.Г. Буряковский // Залізничний транспорт України. – 2015. – Вип. 6. – С. 13–21.

20. *Костин, Н.А.* Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока / Н.А. Костин, А.В. Никитенко // Залізничний транспорт України. – 2014. – Вип. 3. – С. 15–23.

21. *Сулим, А.А.* Расчет энергии рекуперации при установке накопителя на электропоезде метрополитена / А.А. Сулим, А.И. Ломонос // Збірник наукових праць ДЕГУТ: «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕГУТ, 2013. – Вип. № 23. – С. 22–29.

22. *Свідоцтво* про реєстрацію авторського права на твір № 16669. Програмний комплекс для збору, відображення, запису та подальшої математичної обробки даних з аналого-цифрових перетворювачів у комп'ютеризованих вимірювальних комплексах («ЕЛЕКТРО») / автор Сичов С.Д., авторські майнові права належать Сичов С.Д., ДП «УкрНДІВ», дата реєстрації 19.05.2006.

*Andrii Sulym, PhD (Technical Sciences)*  
*(Senior Researcher, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)*

### RESEARCH OF ENERGY-EXCHANGED PROCESSES DURING METRO ROLLING STOCK OPERATION WITH RECUPERATION SYSTEMS AND ENERGY STORAGE DEVICES

*One of the basic and pressing problems at the moment, that is energy saving on the metro rolling stock, was considered in the article. It was discovered from the previous research that use of recuperation systems and energy storage devices on the rolling stock is a prospective line in energy saving for traction. The purpose of the article is the exchange processes research for determination of energy consumption and recuperated electric energy quantity with installation of energy storage devices of different energy capacity. Experimental research works of energy exchange processes for a specified rolling stock operation with recuperation systems were performed. Based on the above mentioned procedure, research works were performed at installation of energy storage devices having different energy capacity on the rolling stock. In accordance to these results the quantity of consumed, recuperated to the storage device and excess energy at specified operation conditions was determined. It was determined that installation of energy storage devices with energy consumption of 5; 10; 44,4 kW/h helps to reduce energy consumption from the contact system accordingly to 24,0; 29,5; 36,5 %. Further research must be aimed at determination of the efficient energy consumption of storage devices installed on the metro rolling stock with recuperation systems at the specified operation mode on a particular line.*

*Keywords: metro rolling stock, recuperation system, energy storage device.*

### REFERENCES

1. *Kelrykh, M.* Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67.
2. *Kelrikh, M. B.,* Structural-functional description of module design exterior modern universal gondola cars [Text] / M. Kelsh, Moroz V. I., Fomin A. // Scientific journal – Bulletin of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl. – Lugansk: the DREAM im. Dal, 2014. – № 2(210). – S. 94-103.
3. *Fomin, A. V.* Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text] / A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukreat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.

4. *Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy № 1361-r* [The Order of Cabinet Ministers Ukraine]. Kyiv, Ofitsiyni visnyk Ukrainy, 2012, no. 4. 165 p.
5. *Pro energozberezhennya: zakon Ukrainy* [On energy saving: Ukrainian law]. Kyiv, Parlamentske vydavnytstvo Publ., 2014. 15 p.
6. *Kompleksna programa onovlennya zaliznychnogo rukhomogo skladu Ukrainy na 2008–2020 roky* [A comprehensive program of updating the railway rolling stock of Ukraine for 2008-2020 years]. Available at: <http://uz.gov.ua>.
7. Sulim A.A. *Povysheniye effektivnosti energoobespecheniya podvizhnogo sostava metropolitena s sistemami rekuperatsii putem primeneniya emkostnykh nakopiteley energii* Cand, Diss. [Improvement of power supply the effectiveness rolling stock equipped with recuperation system by using a capacitive energy storage]. Kyiv, 2015. 188 p.
8. *Postanova natsionalnoi komisii, shcho zdiisniue derzhavne reguliuvannya u sferakh energetyky ta komunalnykh poslug № 220* [The decision of the National Commission, carrying out state regulation in energy and utilities]. Kyiv, Ofitsiyni visnyk Ukrainy, 2015, no. 15/1. 399 p.
9. Donchenko A.V., Muzhychuk S.O., Sulim A.O., Khozya P.O., Melnyk O.O. *Doslidzhennya energoefektyvnosti modernizovanogo poizda metropolitenu vyrobnytstva PAT «KVBZ»* [A study of energy efficiency of a modernized train of the metro production of PJSC «KRCBW»]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad»* [Proceedings of «Rail rolling stock»], 2015, issue 12, pp. 48-56.
10. Gavrilov Yu.I., Mnatsakanov V.A. *Vagony metropolitena s impulsnyimi preobrazovatelyami* [The subway cars with pulse converters]. Moscow, Transport Publ., 1986. 229 p.
11. Sone S. *Ekonomiya energii na relsovom transporte Yaponiy* [Energy savings of rail transport in Japan]. *Zheleznodorozhnye dorogi mira – Railway roads of the world*, 2013, no. 8, pp. 47-53.
12. Sablin O.I. *Doslidzhennya efektyvnosti protsesu rekuperatsii elektroenerгии v umovakh metropolitenu*. [Research of efficiency of recovery of electricity under metro]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East European Journal of advanced technologies*, 2014, vol. 72, no. 6/8, pp. 9-13.
13. Shchurov N.I., Shcheglov K.V., Shtang, A.A. *Primeneniye nakopiteley energii v sistemakh elektricheskoy tyagi* [The use of energy storage systems of electric traction]. *Zbornik nauchnykh trudov NGTU* [Proceedings of the NSTU], 2008, vol. 51, no. 1, pp. 99-104.
14. Shevliugin M.V. *Resurso- i energosberigayushchie tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte i metropolitenakh, realizuemye s ispolzovaniem nakopiteley energii*. Avtoreferat Doct, Diss. [Resource and energy saving technologies on railway transport and subway systems that are implemented with the use of energy storage]. Moscow, 2013. 48 p.
15. Negishi H. *Akkumulirovaniye energii na zheleznykh dorogakh* [Energy storage on the railways]. *Zheleznodorozhnye dorogi mira – Railway roads of the world*, 2003, no. 6, pp. 55-59.
16. Bychkova M.P. *Sistema nakopiteley elektroenerгии dlya povysheniya energoeffektivnosti v metro* [The system stores electricity for energy efficiency in the subway]. *Energosovet – Energosovet*, 2011, vol. 3, no. 16, pp. 74-76.
17. But D.A., Alievskiy B.L., Mizyurin S.R., Vasyukevich P.V. *Nakopiteli energii*. [Storage energy]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 400 p.
18. Ustenko A.V., Pasko O.V. *Ispolzovaniye nakopiteley energii dlya uluchsheniya parametrov lokomotivov* [The use of energy storage to improve the parameters of locomotives]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2012, no. 10, pp. 4-6.
19. Lyubarskiy B.G., Shayda V.P., Buryakovskiy S.G. *Sravnitelnyy analiz nakopiteley energii dlya transportnykh sredstv* [Comparative analysis of the energy storage devices for vehicles]. *Zaliznychniy transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 6, pp. 13-21.
20. Kostin N.A., Nikitenko A.V. *Avtonomnost rekuperativnogo tormozheniya – osnova nadezhnoy energoeffektivnoy rekuperatsii na elektropodvizhnom sostave postoyannogo toka* [Autonomy of regenerative braking – the bases of reliable energy efficient recovery for electric rolling DC]. *Zaliznychniy transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 3, pp. 15-23.
21. Sulim A.A., Lomonos A.I. *Raschet energii rekuperatsii pri ustanovke nakopitelya na elektro-poezde metropolitena* [Calculation of energy recovery when installing the drive on an electric train subway]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT: «Transportni systemy i tekhnologii»* [Collected Works DETUT: «Transport Systems and Technologies»], 2013, issue 23, pp. 22-29.
22. Sychev S.D. *Programnyi kompleks dlya zboru, vidobrazhennya, zapysu ta podalshoi matematychnoi obrobky danykh z analogo-tyyfrovyykh peretvoriuvachiv u kompiuteryzovanykh vymirivallykh kompleksakh («ELEKTRO»)* [The software package for collecting, displaying, recording and subsequent mathematical processing of analog-digital converters in a computerized measuring complexes («ELECTRO»)]. The certificate of registration of copyright, no. 16669, 2006.

УДК 681.325

*О. С. Гайденко*

*(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОБРОБКА БАЗ ЗНАНЬ ГОСПОДАРСТВА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

*Накопичена у базах знань інформація може допомогти у вирішенні завдань управління, але її ефективне використання вимагає автоматизованої обробки. У роботі проведено аналіз методів інтелектуальної обробки інформації. Виявлено, що провідним засобом обробки інформації є datamining. Запропоновано області можливого застосування алгоритмів datamining щодо баз знань господарства електропостачання залізниць.*

*Ключові слова: інтелектуальна обробка інформації, datamining, knowledge discovery in databases.*

*Накопленная в базах знаний информация может помочь в решении задач управления, но ее эффективное использование требует автоматизированной обработки. В работе проведен анализ методов интеллектуальной обработки информации. Выявлено, что ведущим средством обработки информации является datamining. Предложено области возможного применения алгоритмов datamining относительно баз знаний хозяйства электроснабжения железных дорог.*

*Ключевые слова: интеллектуальная обработка информации, data mining, knowledge discovery in databases.*

**Постановка проблеми.** У сучасному світі інформаційних технологій спостерігається постійне зростання інтересу до методів інтелектуальної обробки даних. Ці тенденції визначаються, з одного боку, зростаючими обсягами інформації, що зберігається, а з іншого – постійним зростанням попиту на інформаційні послуги, пов'язані з обробкою цих даних [1].

Процеси моніторингу, автоматизованого управління та діагностики роботи систем тягового електропостачання залізниці вимагають встановлення спеціальних технічних засобів для забезпечення збору інформації з інтелектуальних датчиків та приладів комерційного обліку до баз знань. Інтелектуальна мережа електропостачання рівня публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» передбачає об'єднання інтелектуальних мереж нижчих рівнів (залізниць, дистанцій електропостачання, тягових підстанцій) у єдиний інформаційний простір з базами знань усіх відповідних рівнів.

© Гайденко О. С., 2016

Величезний обсяг інформації, накопичений у базах знань, може приносити користь у вирішенні різноманітних управлінських завдань. Для цього необхідні ефективні засоби комплексного аналізу зібраних даних і пошуку в них закономірностей. Таке завдання через свою трудомісткість вимагає сучасних технологій обробки інформації.

**Основна частина.** Для вирішення деяких завдань інтелектуальної енергетики необхідна така обробка даних, яка дозволить на підставі знайдених взаємозв'язків будувати моделі, здатні описати особливості функціонування реальних систем електропостачання.

Традиційно обробка інформації з баз даних полягає в застосуванні статистичних методів для перевірки наперед сформульованих гіпотез та Online Analytical Processing (OLAP) для роботи з реляційними базами даних, а саме швидкого (оперативного) отримання відповідей на аналітичні запити. Такі підходи до аналізу даних мають низку недоліків.

Статистичні методи використовують усереднені значення. Опіраючись на них, важко виявити достеменний стан процесів у досліджуваній галузі. Усереднення по вибірці призводить до оперування фіктивними величинами і до нехтування нетипових спостережень (наприклад, пікових значень), що в свою чергу знижує достовірність результатів дослідження. Такий підхід є не ефективним для завдань, де головним критерієм кінцевих результатів є точність, наприклад, прогнозування. Зокрема, прогнозування споживання електричної енергії тяговою підстанцією критично залежить від даних, на які опирається процес, адже від точності прогнозу залежить закупівельна ціна електроенергії. Певні нетипові значення, описують унікальні, але важливі явища та можуть становити інтерес для дослідження. Навіть сама лише ідентифікація цих спостережень, може допомогти інтерпретувати сутність досліджуваних об'єктів чи явищ. Виняткові події можуть бути провідними у подальшому розвитку та поведінці складних систем як мережа тягового електропостачання.

Використання класичних методів обробки інформації, хоч і не втратило актуальності, та вузька спеціалізація не дозволяє ефективно застосовувати їх для вирішення завдань обробки баз знань господарства електропостачання залізниці.

З розвитком комп'ютерної техніки набуває популярності група технологій інтелектуального аналізу даних *datamining*, яка раніше не мала широкого практичного застосування в зв'язку з великою кількістю обчислень, необхідних для виконання алгоритмів. Зростання обчислювальної потужності процесорів усунуло вагомість цієї проблеми. Тепер якісний аналіз можна провести за прийнятний час [2, 3].

Накопичення великої кількості ретроспективної інформації стало поштовхом для розвитку інтелектуального аналізу. Сьогодні *data mining* є фактично синонімом інтелектуального аналізу даних.

Згідно визначення, *data mining* – це застосування певних алгоритмів для вилучення моделей із даних. Цими моделями є не відомі раніше практично корисні взаємозв'язки (тенденції, структури, залежності чи шаблони), які можуть бути інтерпретованими користувачем.

OLAP-системи забезпечують надання інформації зручної для перегляду та створення звітів, але в аналітичній обробці продукти OLAP вміють виконувати лише найпростіші дії і на практиці можуть використовуватися виключно для підготовки матеріалу [4]. Тоді як OLAP більше підходить для трактування ре-

троспективних даних, data mining використовує ретроспективні дані, щоб здобути інформацію про майбутнє. На відміну від більшості статистичних методів, data mining оперує дійсними значеннями. І в той час, як статистичні методи придатні в основному для підтвердження або спростування висунутих гіпотез, методи data mining на основі аналізу самостійно можуть будувати гіпотези, знаходити приховані правила і закономірності серед набору даних, які користувач не здатен спрогнозувати. Зважаючи на те, що найскладнішою задачею є саме формулювання гіпотези щодо взаємозв'язків, перевага data mining є очевидною.

Результати обробки даних за допомогою статистичних інструментів і OLAP-засобів можуть сприяти кращому розумінню характеру закономірностей, тому застосування data mining не виключає їх використання [3]. Інтелектуальний аналіз об'єднує останні досягнення у сфері інформаційних технологій з математичними інструментами, тому методи data mining умовно можна класифікувати як технологічні, статистичні та кібернетичні. Більшість методів datamining оснований на перевірених методах з машинного навчання, розпізнавання образів і статистики. Серед багатьох методів datamining насправді існує лише кілька фундаментальних. Усі інші є доповненням або гібридами основних.

Datamining полягає у використанні технологій розпізнавання шаблонів (patterns), а також статистичних і математичних методів. Шаблони відображають фрагменти багатоаспектних взаємозв'язків у даних. Цими шаблонами є закономірності, властиві підвибіркам даних, які можуть бути компактно виражені у зрозумілій людині формі. Пошук шаблонів проводиться методами, не обмеженими рамками апріорних припущень про структуру вибірки і вид розподілів значень аналізованих показників [2, 5].

Технології data mining є кроком у процесі виявлення знань у базах даних (knowledge discovery in databases (KDD)) та входять у концепцію інформаційних сховищ даних і організації інтелектуальних обчислень.

Дані в сховищі об'єднуються в цілісну структуру за різними рівнями деталізації, що надає потрібні для користувача міри узагальнення інформації. У цій концепції головне місце відведено метаданим – даним про дані. При цьому в сховищі також містяться результати перетворення інформації, її сумаризації та верифікації [6].

KDD полягає в застосуванні аналізу даних і алгоритмів виявлення, які, в прийнятних межах обчислювальної ефективності, створюють перелік шаблонів (або моделей).

Покрокове застосування KDD до баз знань господарства електропостачання залізниць умовно зображено на рис. 1. Процес KDD є інтерактивним й ітеративним, включаючи численні кроки з багатьма рішеннями, прийнятими користувачем:

1. Розвиток розуміння області застосування та визначення мети процесу KDD.
2. Створення вибірки даних: вибір набору даних, або акцентування на підмножині змінних або вибірок даних, на основі яких робитиметься відкриття.
3. Очищення та попередня обробка даних. Основні операції включають в себе видалення шуму при необхідності, збір інформації, необхідної для моделювання або обліку шуму, ухвалення рішення про стратегію обробки втраченої інформації та обліку в часовій послідовності інформації і відомих змін.

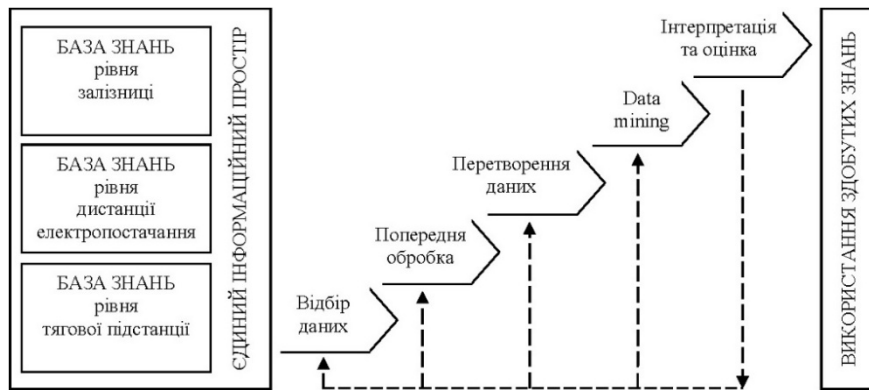


Рис. 1. Процес KDD у базах знань інформаційного простору господарства електропостачання залізниць

4. Зменшення даних та проектування: пошук корисних ознак для представлення даних в залежності від мети завдання. Зі зменшенням розмірності або методів трансформації, ефективна кількість змінних, відведених для компенсації, може бути зменшена, або знайдено незмінні ознаки для даних.

5. Узгодження мети процесу KDD (крок 1) з конкретним методом data mining (узагальненням, класифікацією, регресією, кластеризацією, тощо).

6. Дослідницький аналіз, моделювання і вибір гіпотези: вибір алгоритмів і методів інтелектуального аналізу даних, які використовуватимуться для пошуку шаблонів даних. Цей процес включає визначення доречних моделей та параметрів і узгодження методу data mining із загальними критеріями процесу KDD (наприклад, кінцевий користувач може бути більш зацікавлений у розумінні моделі, ніж її прогнозних можливостях).

7. Data mining: пошук моделей, які представляють інтерес, в конкретному вигляді, у вигляді дерева рішень або наборі правил класифікації, регресії, кластеризації, тощо. Користувач може суттєво допомогти методу data mining, правильно виконуючи попередні кроки.

8. Інтерпретація видобутих шаблонів, можливо, повернення до будь-якого з кроків з 1 по 7 для подальшої ітерації. Цей крок може також включати візуалізацію витягнутих шаблонів і моделей або візуалізацію даних, наданих здобутими моделями.

9. Робота з виявленими знаннями: використання знання безпосередньо, включаючи знання з іншої системи для подальших дій, або простої документації та звітності. Цей процес також включає в себе перевірку на наявність потенційних конфліктів з інформацією, яка була здобута раніше та їх вирішення.

Процес KDD може включати значні ітерації і містити петлі між будь-якими двома етапами. Основна робота KDD зосереджена на етапі 7, тим не менше, інші кроки є важливими для практичного застосування.

Після виявлення нових елементів і аспектів даних підхід до виявлення джерел і форматів даних з наступним зіставленням цієї інформації з заданим результатом може змінитися. Чим більше користувач оперуватиме даними, будуватиме моделі, оцінюватиме результати, тим кращим може бути результат. Робота з даними стає ефективнішою, коли можлива інтеграція наступних компонентів: візуалізації, графічного інструментарію, засобів формування запитів, оператив-

ної аналітичної обробки, що дозволяють зрозуміти дані й інтерпретувати результати і самі алгоритми, що будують моделі [1, 6].

Прогнозування та опис на практиці є основними завданнями datamining, мета яких може бути досягнута за допомогою ключових засобів datamining, таких як [1–3, 6–8]:

– класифікація – це віднесення об’єкту до однієї з визначених груп (класів) згідно певного набору правил або ознак, що характеризують конкретну групу. Крім того, класифікацію можна використовувати в якості вхідних даних для інших методів. Наприклад, кластеризація дозволяє використовувати загальні атрибути різних класифікацій з метою виявлення кластерів.

– кластеризація – загальне описове завдання, з метою визначення набору категорій або кластерів, необхідних для опису даних. Категорії можуть бути взаємно вичерпними і взаємовиключними. Досліджуючи один або більше атрибутів або класів, можна згрупувати окремі елементи даних разом, отримуючи структурований вивід. На простому рівні при кластеризації використовується один або декілька атрибутів як основа для визначення кластера схожих результатів.

– моделювання залежностей – метод знаходження моделі, яка описує істотні взаємозв’язки між змінними. Існує на двох рівнях: структурний рівень (часто у графічній формі), де змінні локально залежать одна від одної і кількісний рівень, що визначає сильні зв’язки, використовуючи деякі числові шкали.

– регресія – функція математичного очікування однієї випадкової величини залежно від значень іншої.

– підбивання підсумків – метод пошуку компактного опису для підмножини даних (наприклад, зведення до таблиці). Методи підбивання підсумків застосовується для інтерактивного дослідницького аналізу даних і автоматичної генерації звітів.

– виявлення змін і відхилень – метод, зосереджений на виявленні найістотніших змін у даних відносно норм або раніше вимірених значень.

У будь-якому алгоритмі data mining можна виділити три основних компоненти: модель представлення, модель оцінки, та пошук.

Модель представлення є мовою опису виявлених шаблонів. Якщо подання занадто обмежене, то точна модель для даних не може бути представлена, незалежно від кількості часу навчання та прикладів.

Критеріями моделі-оцінки є кількісні судження, наскільки добре певний шаблон (модель і її параметри) відповідає цілям процесу KDD. Наприклад, прогнозні моделі оцінюють тестовим набором за емпіричну точність прогнозування; описові – за розмірами прогностичної точності, новизни, корисності та зрозумілості.

Компонент пошуку в data mining складається з пошуку параметра і пошуку моделі. Після того як модель представлення і критерії моделі-оцінки нормалізовані, проблема data mining зводиться до задачі оптимізації: знайти параметри і моделі, які оптимізують критерії оцінки. Алгоритм пошуку параметра повинен шукати параметри, які оптимізують критерії моделі-оцінки, враховуючи спостережувані дані і представлення нормалізованої моделі.

Таким чином застосування алгоритмів data mining в інформаційному просторі господарства електропостачання залізниці може допомогти у виконанні завдань:

- оперативного та короткострокового прогнозування споживання електроенергії;
- виявлення невідомих взаємозв'язків між чинниками, що впливають на споживання електроенергії, та показниками споживання;
- короткострокового та довгострокового прогнозування виникнення аварійних ситуацій;
- виявлення прихованих тенденцій і закономірностей експлуатаційних процесів мережі електропостачання та прогнозування закономірностей їх розвитку;
- комплексного системного аналізу виробничих ситуацій;
- виявлення невідомих факторів впливу;
- візуалізації результатів аналізу;
- створення рекомендацій щодо прийняття управлінських рішень;
- підготовки звітів.

**Висновки.**

1. Визначено, що традиційні методи аналізу даних є не достатньо ефективними для їх об'єктивного застосування до баз знань інформаційного простору господарства електропостачання залізниць. Провідним засобом обробки інформації є інтелектуальний аналіз як етап процесу KDD.
2. Описано типову послідовність KDD для баз знань єдиного інформаційного простору господарства електропостачання.
3. Запропоновано області можливого застосування алгоритмів datamining.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Джулій В. М. Аналіз методів інтелектуальної обробки інформації / Джулій В. М., Чешун В. М., Кривцун В. І., Солодєєва Л. В.; ХмНУ, 2014.
2. Петренко А. I.Grid і інтелектуальна обробка даних DataMining // Проблемно і функціонально орієнтовані комп'ютерні системи та мережі – 2008. – №4. – С. 97-110.
3. Текуч Н. Ю. Актуальность и характерные особенности применения технологии datamining для решения корпоративных задач // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4 – С. 41-43.
4. Щавелёв Л. В. Агрегация и интеллектуальный анализ информации хранилищ данных / Щавелёв Л. В., Коровкин С. Д., Левенец И. А.; Новые информационные технологии: материалы науч.-практ. семинара / Моск. гос. ин-т электроники и математики. – М., 1998.
5. Стеценко Д. О. Інтелектуальна обробка даних в системі автоматизованого управління технологічним комплексом брагоректифікації / Стеценко Д. О., Зігунов О. М., Смітюх Я. В.; Технологический аудит. – 2014. – № 2/1(16). – С. 49-52.
6. Шерпа Т. А. Інформаційна технологія виділення та обробки знань у CDS/ISIS-сумісних базах даних // Бібл. вісн. – 2005. – № 5. – С. 8-13.
7. Ленков С. В. Концептуальна схема системи інтелектуальної обробки даних / Ленков С. В., Джулій В. М., Горбатюк О. М., Берназ Н. М.; ХмНУ, 2014.
8. Usama Fayyad From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases / Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth; AI Magazine – 1996. – С. 37-54.

**Oles' S. Haydenko**  
**(Graduate Student, State University for Transport Economy and Technologies)**

**INTELLIGENT PROCESSING KNOWLEDGE BASES OF RAILWAY  
POWER FACILITIES**

*The accumulated information in knowledge bases can help solve management problems, but its effective use requires automated processing. The analysis of methods intelligent information processing is performed in the paper. Found that the leading tool of information processing is data mining. Areas of possible data mining algorithms application to the knowledge bases of railway power facilities are suggested.*

*Keywords: intelligent information processing, data mining, knowledge discovery in databases.*

## REFERENCES

1. *V. Julie* Analiz metodiv intelektualnoi obrobky informazii [Analysis of intelligent information processing methods] / *V. Julie, V. Cheshun, V. Krivtsun, L. Solodeeva.*; Khmelnytsky National University, 2014.
2. *A. I. Petrenko* Grid i intelektualna obrobka danyh Data Mining [Grid and intellectual data processing Data Mining] // Problem and function oriented computer systems and networks – 2008. – №4. – P. 97-110.
3. *N. Y. Tekuch* Aktualnist i harakternie osobennosti primeneniya tehnologii data mining dlia reshenia korporativnyh zadach [The relevance and the typical features of application technology data mining for solving corporate tasks] // Software and systems – 2007. – № 4 – P. 41-43.
4. *L. V. Schavelev* Agregacia i intelektualniy analiz informacii hranilishch danyh [Aggregation and intellectual analysis of information storage] / *L. V. Schavelev, S. D. Korovin, I. A. Levenets*; New Information Technologies: Proceedings scientific-practical workshop / Moscow State Institute of Electronics and Mathematics. – Moscow, 1998.
5. *D. O. Stetsenko* Intelektualna obrobka danih v sistemi avtomatizovanogo upravlinnya tehnologichnim bragorektifikatsiynim complexom [Intelligent data processing for automated control system of technological complex alcohol distillation and rectification] / *D. O. Stetsenko, O. M. Zigunov, A. V. Smityuh*; Technological audit – 2014. – № 2/1(16). – P. 49-52.
6. *T. A. Sherepa* Informatsiyna tehnologiya vidilennya ta obrobki znan v CDS / ISIS-sumisnih bazah danih [Information technology selection and processing of knowledge in CDS / ISIS-compliant databases] // Library Journal. – 2005. – №5. – P. 8-13.
7. *S. V. Lenkov* Conceptualna shema systemy intelektualnoi obrobki danih [Conceptual diagram of a data mining] / *S. V. Lenkov, V. N. Julie, A. M. Gorbatyuk, N. M. Bernaz.*; Khmelnytsky National University, 2014.
8. *Usama Fayyad* From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases / *Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth*; AI Magazine – 1996. – C. 37-54.

УДК 621039

**Т. О. Піневич**

*(старший викладач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**Б. Б. Сергійчук**

*(студент Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*У наведеній статті розглянута еволюція телекомунікаційних систем. Проаналізовано розвиток та важливі події, революції в системах зв'язку, поява стандартів стільникового зв'язку, виникнення мережі NGN та способи її проектування. Виявлена та обґрунтована необхідність переходу на новітню мережу NGN, задля підвищення ефективності передачі різноманітних видів інформації. На основі проведеного дослідження бачимо швидкий розвиток систем зв'язку, еволюцію мереж передачі інформації та створення мультимедійних мереж, який дав змогу об'єднати більшу частину мереж в одну мультисервісну мережу.*

*Ключові слова: еволюція, зв'язок, стандарти, NGN, мережі, телекомунікації, трафік.*

*В данной статье рассмотрена эволюция телекоммуникационных систем. Проанализировано развитие и важные события, революции в системах связи, появление стандартов сотовой связи, возникновение сети NGN и способы ее проектирования. Выявлена и обоснована необходимость перехода на новую сеть NGN, для повышения эффективности передачи различных видов информации. На основе проведенного исследования можно увидеть быстрое развитие систем связи, эволюцию сетей передачи информации и создания мультимедийных сетей, позволит объединить большую часть сетей в одну мультисервисную сеть.*

*Ключевые слова: эволюция, связь, стандарты, NGN, сети, телекоммуникации, трафик.*

**Постановка проблеми.** Дослідити еволюцію мереж зв'язку, створення новітніх мереж передачі інформації і удосконалення міжнародних стандартів зв'язку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми досліджень еволюції телекомунікаційних систем розглядають у своїх дослідженнях В. Афанасьєв [1, с. 35-42], Р. Кох, П. Голишко та ін.

© Піневич Т. О., Сергійчук Б. Б., 2016

**Метою статі** є дослідження етапів створення мереж зв'язку з подальшим їх розвитком та створення новітніх мультимедійних мереж передачі інформації.

У своєму розвитку телекомунікаційні мережі пройшли шлях еволюції від аналогових систем передачі та комутації до цифрових мультисервісних мереж наступного покоління (Next Generation Network, NGN). На шляху розвитку телекомунікацій можна виділити три важливих етапи, які деякі автори називають революціями. Першою такою революцією можна вважати перехід від аналогових систем передачі та комутації до цифрових. На зміну аналоговим системам ущільнення (В 12-3, К-60, К-120, К-300, К-1920, К-3600 та ін.), що мали місце на первинних мережах та використовували принцип частотного розподілу каналів, прийшли системи плезіохронної цифрової ієрархії (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH) – ІКМ-30, ІКМ-120, ІКМ-480, ІКМ-1920, які вже будувалися на базі основного цифрового каналу 64 кбіт/с та використовували принцип часового розподілу каналів. У телефонних мережах відбувається перехід від декадно-крокових АТС з початку до координатних, а потім до квазіелектронних та повністю цифрових – електронних АТС. Етап цифровізації телекомунікацій розпочався в 60-х роках минулого століття практично одночасно в усьому світі та завершився у 80-х роках. У 70-х роках з появою цифрових волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) розпочалася заміна мідного кабелю на волоконно-оптичний, що сприяло збільшенню пропускних здатностей каналів зв'язку та їх надійності.

Другою важливою подією (революцією) була поява та активний розвиток мобільних систем зв'язку, в першу чергу пейджингових та стільникових. Можливість зв'язку в будь-який час та в будь-якому місці, що надається такими системами, сприяла їх активному поширенню. Першими в цій галузі були стандарти аналогового стільникового зв'язку NMT та AMPS (Advanced Mobile Phone Service), які належать до покоління 1 G. Але досить швидко їм на зміну приходять, а згодом повністю заміщують стандарти другого покоління 2 G – цифрового стільникового зв'язку GSM (Global System for Mobile Communications) та D-AMPS (Digital AMPS), з'являється стандарт CDMA (Code Division Multiple Access). Поява та впровадження технологій передавання даних через GSM-мережі GPRS (General Packet Radio Services) та EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) ознаменували перехід до покоління 2.5 G в стільникових системах зв'язку.

Подальшою революцією, яка вже спостерігається, є перехід до мереж наступного покоління NGN як транспортної основи майбутньої глобальної інформаційної інфраструктури. В основу концепції побудови NGN покладено ідею про створення універсальної мережі, яка б дозволяла переносити будь які види інформації, такі як мовлення, дані, відео, аудіо, графіка й т. ін., а також забезпечувати можливість надання найширшого спектра інфокомунікаційних послуг. Загалом NGN можна визначити як мультисервісну мережу, що надає послуги доступу до різноманітних інформаційних ресурсів гарантованої якості. ІТУ-Т уже здійснює стандартизацію мереж нового покоління в рамках проекту глобальної інформаційної інфраструктури, що привело до розробки низки рекомендацій MCE з ГП серії Y.

Виникнення концепції NGN є наслідком об'єктивних процесів, що відбуваються як в галузі телекомунікацій, так і в самому суспільстві (рис. 1).

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

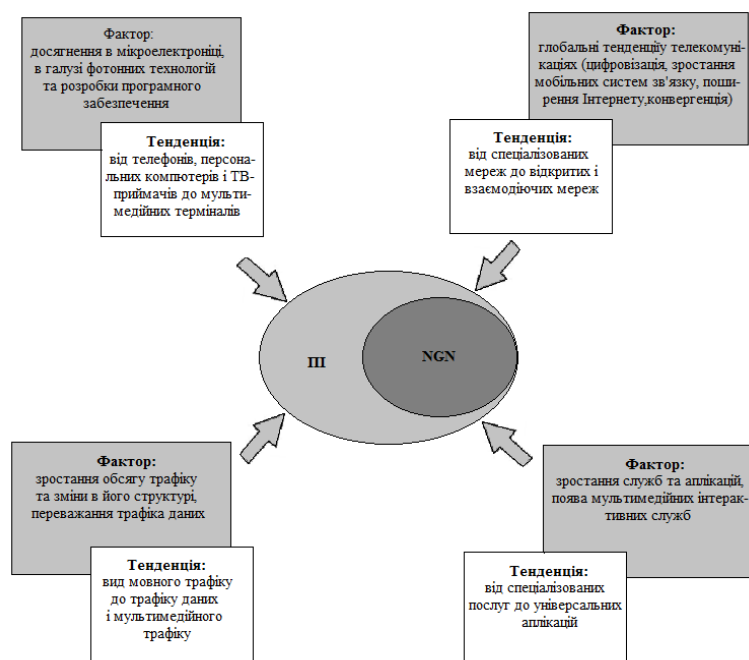


Рис. 1. Тенденції, що привели до виникнення концепції NGN

До числа сьогоденних глобальних тенденцій, які можна розглядати як ключові чинники, що визначають форми та зміст телекомунікацій у майбутньому, належать:

- розвиток цифрових мереж, які здатні переносити усі різновиди інформації, стають основою мережі загального призначення;
- зростання мереж мобільного зв'язку, які є реалізацією двох з найважливіших концепцій – концепції мобільності та концепції персональності зв'язку;
- зростання масштабів Інтернету та поширення інтернет-протоколу (Internet Protocol, IP);
- успіхи IP-телефонії, розробка технології програмованих комутаторів Softswitch, поява великої кількості нових мультимедійних інтерактивних аплікацій, що супроводжуються загальним зростанням обсягів трафіка, призводять до підвищення вимог як до пропускну здатності, так і до якості надання телекомунікаційних послуг в цілому. Домінування трафіку даних у загальній структурі трафіка призводить до зсуву акцентів з мереж комутації каналів на мережі пакетної комутації і, в першу чергу, на ті, що не орієнтовані на з'єднання;
- конвергенція мереж, процесів і послуг. Конвергенція послуг забезпечує нові розширені функціональні можливості для користувачів. Конвергенція процесів дозволяє провайдерам послуг працювати з обладнанням різних виробників і різних технологій для того, щоб пропонувати економічно ефективні послуги. Конвергенція мереж означає конвергенцію технологій, що надає можливість конвергенції різних мережевих послуг. У результаті структурних змін у телекомунікаціях починають зникати розбіжності між мережами загального користування й корпоративними мережами, мережами передачі даних і телефонними мережами.

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таким чином, зазначені глобальні тенденції в телекомунікаціях, які стали можливими завдяки досягненням в науці та техніці, в першу чергу в мікроелектроніці, фотонних технологіях і в галузі розробки програмного забезпечення, привели до таких переходів: від телефонів, персональних комп'ютерів і ТВ-приймачів – до мультимедійних терміналів; від спеціалізованих мереж – до відкритих і взаємодіючих мереж; від спеціалізованих послуг – до універсальних аплікацій; від мовного трафіку – до трафіку даних і мультимедійного трафіку.

На фоні таких змін поява нової мережевої концепції – концепції NGN, що враховує всі присутні тенденції розвитку телекомунікацій та виводить їх на принципово новий рівень розвитку, є закономірною та обґрунтованою.

Традиційно основу побудови системи електрозв'язку попереднього етапу становила первинна мережа, до складу якої входили середовище поширення сигналів й апаратура передавання сигналів, що у сукупності забезпечували створення типових каналів і трактів магістральної мережі. Типові канали та тракти первинної мережі використовувалися вторинними мережами, які розрізнялися за типом інформації, що передбачається у вторинних мереж є мережі телефонії, телевізійного мовлення, передачі даних (ATM, X.25, Frame Relay), стільникового радіозв'язку та транкінга, мережі спеціального призначення (диспетчерський зв'язок, оперативне та технологічне управління, селекторні наради та ін.). Основним принципом роботи систем зв'язку був принцип комутації каналів, що обумовлював першочергову орієнтацією на мовний трафік.

Внаслідок того, що первинна мережа була основою традиційної системи електрозв'язку, стандарти цих мереж не були різноманітними. Після переходу на цифрові системи передачі стандарту PDH їх розвиток відбувався тільки шляхом збільшення групової швидкості передачі: від 2,048 Мбіт/с (E1) до 140 Мбіт/с (E4). Коли процедура покрокового мультиплексування PDH почала гальмувати розвиток первинної мережі, з'явилася нова ієрархія SDH (Synchronous Digital Hierarchy), яка відрізнялася принципами побудови (реалізовувала принцип прямого мультиплексування), але відповідала загальній ідеології первинної мережі. Структура первинної мережі з комутацією каналів наведено на (рис. 2).

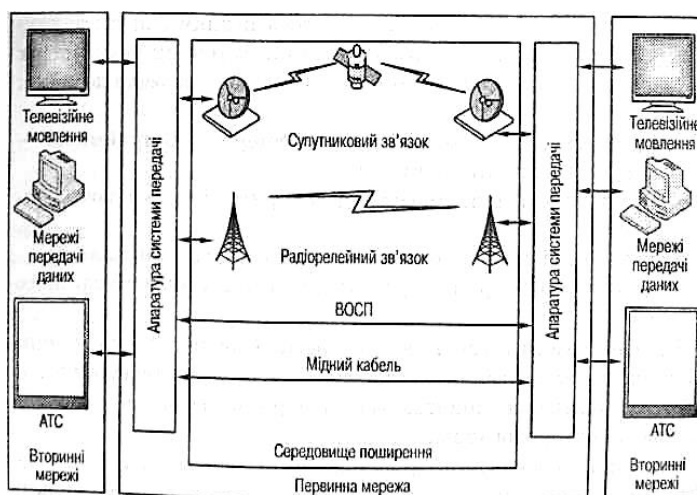


Рис. 2. Структура первинної мережі

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Згідно з глобальною тенденцією до домінування трафіка даних концепція NGN вимагає відмовитися від комутації каналів і перейти до принципу комутації пакетів як основного принципу організації зв'язку в мережі. В результаті визначення первинної мережі як основи ТКС стає неефективним, а поділ системи раціонально проводити по лінії «користувач – мережа». Таким чином виникають поняття транспортної мережі та мережі доступу. Структурна схема мережі, що заснована на технології пакетної комутації наведена на рис. 3.

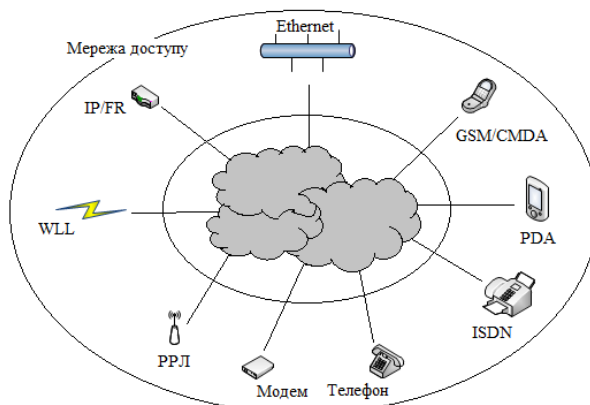


Рис. 3. Транспортна мережа та мережа доступу в NGN

Транспортна мережа NGN – це сукупність мережевих елементів, які забезпечують передачу трафіка. Мережа доступу – це сукупність мережевих елементів, які забезпечують доступ абонентів до ресурсів транспортної мережі з метою отримання послуг. Поділ на транспортну мережу та мережу доступу не є строгим, бо в рамках концепції NGN немає чіткого визначення, що є точкою стикування цих мереж. Крім того не визначено, який ресурс повинен бути типовим для тієї або іншої мережі доступу. Для мереж наступного покоління властивий певний демократизм: будь-яка технологія, що забезпечує передачу трафіка та/або надання послуг, може вважатися транспортною. Аналогічно, будь-яка технологія, що забезпечує доступ абонентів до ресурсів транспортної мережі, може вважатися абонентською, або технологією доступу.

У якості основних систем доступу, які застосовуються в абонентських мережах, можна виділити:

- системи, засновані на технологіях сімейства xDSL (Digital Subscriber Line – цифрова абонентська лінія);
- системи доступу з використанням спеціальних модемів у мережах кабельного телебачення (Cable modems);
- комбіновані системи «волокно/коаксіал» (Hybrid Fixed/Coax, HFC); оптоволоконні системи доступу (системи FTTH, Fiber-to-the-Home);
- системи радіодоступу, які базуються на технологіях стільникових мереж, системах WLL (Wireless Local Loop), радіорелейних системах і технологіях типу LMDS (Local Multipoint Distribution System);
- супутникові системи; виділені лінії з використанням систем E1/T.

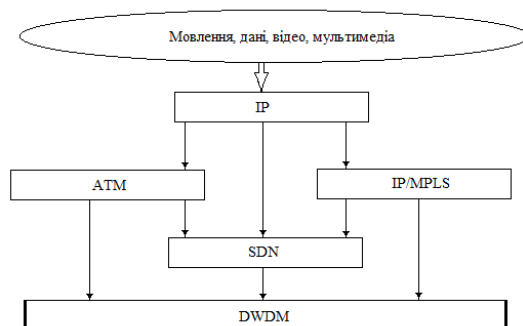
До них же належать традиційні технології – телефонні канали та модемний зв'язок.

У цілому еволюція мереж доступу сьогодні відбувається у двох напрямках:

- розвиток широкополосного (високошвидкісного) доступу, що забезпечує служби передачі мовлення, даних і відео;
- зменшення частки мідних кабелів при організації місцевих мереж.

При побудові транспортних мереж можливі різні комбінації таких мережевих технологій: IP, MPLS (Multiprotocol Label Switching), ATM, SDN, DWDM (Dense, PON, Wavelength Division Multiplexing) (рис. 4). При цьому останні – SDN та DWDM – за рахунок використання оптичного середовища поширення забезпечують високі пропускні здатності (до сотен Гбіт/с, а теоретично – до 10 Тбіт/с на одне оптоволокно), а перші – IP, MPLS, ATM – є технологіями комутації та маршрутизації, що конкурують одна з одною.

У рамках концепції NGN було враховано не тільки розширення переліку послуг, а й підвищення вимог щодо якості їх надання та виникнення потреби у гарантуванні певного (заздалегідь заданого) рівня обслуговування (Quality of Service, QoS). Як уже було зазначено, NGN є мультисервісною мережею, що забезпечує передачу різних типів інформації, кожен з яких має свої вимоги щодо показників якості роботи мережі – часових, швидкісних, ймовірнісних. Здатність до гарантування виконання цих вимог незалежно від типу трафіка може розглядатися як інтегральна оцінка якості роботи мережі NGN в цілому.



*Рис. 4. Можливі варіанти взаємодії різних технологій у рамках NGN*

Такий підхід до визначення якості роботи мережі значно відрізняється від традиційних підходів. До виникнення єдиної універсальної мережі у вигляді NGN кожна окрема мережа була орієнтована на передачу певного типу трафіка: телефонні мережі передають мовний трафік, мережі передачі даних – лише дані і т. д. А тому можна було чітко визначити вимоги до окремих мережевих елементів та їх характеристик, наприклад, норми на амплітудно-частотну характеристику каналу тональної частоти в аналогових системах передачі формувалися зі спектра мовного сигналу. Єдиною інтегральною оцінкою якості роботи мережі можна було вважати її надійність – відсоток часу, протягом якого виконуються усі експлуатаційні норми. В період аналогового зв'язку нормою на надійність було число 99,9, а згодом, із загальним підвищенням вимог до якості роботи телекомунікаційних мереж, вона зросла до 99,999 % («п'ять дев'яток»). Тепер, з появою NGN, відбувається зсув акцентів в оцінюванні загальної якості роботи мережі, хоча слід зазначити, що експлуатаційні норми на окремі параметри існують, і їх виконання є необхідною умовою задовільного функціонування мережі.

З іншого боку, така особливість мережі NGN як її здатність до гарантованого виконання заздалегідь визначених вимог щодо якості надання послуги є досить складною у реалізації задачею. Тому вона накладає свій відбиток на вибір мережної технології – IP, MPLS або ATM, що претендує на роль основної в транспортній мережі.

Незважаючи на досить широкі можливості технології ATM щодо надання послуг гарантованої якості, її конкурентоспроможність значно знизилася за рахунок високої вартості ATM-обладнання. А завдяки таким перевагам IP-мереж, як масштабованість, універсальність і відкритість, протокол IP, на думку багатьох аналітиків, стає найперспективнішим в якості основного мережного протоколу NGN. Таке позиціонування протоколу IP сприяло розробці нових механізмів і протоколів, що націлені на подальше підвищення масштабованості, забезпечення безпеки та надання гарантій щодо якості послуг, серед яких слід відзначити появу протоколу IPv6, механізмів обробки трафіка на вузлах мережі і в рамках архітектури DiffServ, протоколу резервування ресурсів RSVP в рамках архітектури IntServ. Зміцненню позицій IP сприяла поява технології багатопротокольної комутації міток MPLS: комбінація IP/MPLS, як показала практика експлуатації, є найбільш ефективним поєднанням широкого набору сервісів при відносно низькій собівартості.

Усі названі технології (як для рівня доступу, так і для рівня транспорту) конкурують одна з одною внаслідок поліваріантної природи мереж NGN, причому в рамках однієї мережі можуть ефективно співіснувати та взаємно проникати (у відповідності з принципом конвергенції) в різні технології. Таким чином, мережа NGN є досить різномірною та складно структурованою. В ній важко провести чітку межу між транспортною мережею та мережею доступу. Наприклад, якщо в мережі присутня технологія Ethernet, яка може бути як технологією доступу, так і транспортною технологією, провести цю межу можна тільки відповідно до ролі того чи іншого сегмента.

**Висновки.** Таким чином, з одного боку, NGN – це не простий розвиток або комбінація вже наявних телекомунікаційних мереж і мереж IP. Вона не є за своєю суттю технологією, призначеною для модернізації окремих мережевих вузлів або фрагментів мережі. Навпаки, ця якісна зміна усієї мережевої структури, свого роду повне комплексне рішення. З іншого боку, поява і розвиток мереж NGN – це не революція, а швидше – еволюція, тобто розвиток на базі традиційних мереж зв'язку із спадкоємством їх переваг і усуненням недоліків.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Багатоканальний електров'язок та телекомунікації Б14 технології [текст] : підруч. У 2-х ч. Ч. 1 / О.В.Лемешко, В.А.Лошаков, В.В.Поповський та ін, 2010. – 468 с.
2. Телекоммуникационные системы и сети Том 3 Мультисервисные сети: учеб. Пособ. / В.П.Шувалов. 2005. – 591 с.
3. Дансмор Б., Скандьер Т. Справочник по телекоммуникационным технологиям [текст]: пер.с англ. – М.: ИД (Вильямс), 2004. – 640 с.
4. NGN та нові пакетні транспортні технології. Тарбаєв С.І. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ 2010. – 359 с.
5. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1.
6. Телекомунікаційні системи та мережі. Абонентський доступ і технології локальних мереж. Т. 2.
7. В. И. Битнер, Ц. Ц. Михайлова. Сети нового поколения – NGN. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2011. – 226 с.

8. В.И. Басов. Цифровые интегральные сети связи. – Харьков: Транспорт Украины, 2000, 166 с.
9. Бондаренко В.Г. Гребенніков В.О. Сучасні і майбутні інфокомунікаційні технології України. – К.: Радіоматор-2004, 160 с.
10. Гребенніков В.О. Аналіз розвитку телекомунікацій незалежної України. «Зв'язок», № 2, 2010.

***Tetiana O. Pinevych***  
***(Senior Lecturer of Telecommunication Technology and Automation***  
***Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***  
***Bogdan B. Serhiychuk***  
***(Student of State University for Transport Economy and Technologies)***

### **MAIN STAGES OF DEVELOPMENT OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

*Telecommunication networks have being around for over a century now, public switched telephone network (PSTN), telegram etc. By mid 21st century wireless communication started to come up with the likes of 'Push to talk' systems, car telephone etc. But true Mobile communication networks did not start to show till late 1970s and mostly early 1980s. This was the era when the analog mobile phone came to being, these systems are the first generation (1G) of mobile telecommunication systems. It was based on analog modulation and it was built specifically for voice. Soon the second generation (2G) of mobile networks started coming, 2G was based digital modulation and also offered short messaging service (SMS) and later those networks offered additional services such as basic web browsing, email, multimedia messaging service (MMS) etc.*

**Keywords:** *Evolution, communication, standards, NGN, network, telecommunications, traffic.*

### **REFERENCES**

1. Multichannel telecommunication technology and telecommunications B14 [text]: textbook. In 2 parts. Part 1 / O.V.Lemeshko, V.A.Loshakov, V.V.Popovskyy et al, 2010. – 468 p.
2. *Telekommunikatsionnyye systems and network Volume 3 multiservice network: Textbook. Posob. / V.P.Shuvalov. 2005. -591 s*
3. Dansmor B., T. Skander *Directory technologies on telekommunikatsionnyy [text]: per.s anhl.-M.: ID (Williams), 2004.-640 p*
4. *NGN and new packet transport technology. Tarbayev. EKO-TRENDZ 2010. – 359 p.*
5. *Telecommunication systems and networks. The structure and basic functions. Volume 1*
6. *Telecommunication systems and networks. Subscriber access to local networks and technologies. Volume 2*
7. *VI Bitner, Ts Ts Mikhailov. Sets new generation – NGN. Uchebnoe posobyie for universities. – M. : hotline – Telecom, 2011. – 226 p*
8. *VI Basov. Tsyfrovyye yntehralnyye network connection. – Kharkov: Transport of Ukraine, 2000, 166 p.*
9. *V. Bondarenko Grebennikov VA Current and future technologies Infocommunication Ukraine. K. Radiomator-2004.160 pp.*
10. *Grebennikov VO analysis of the telecommunications independent Ukraine. . «How» №2 2010.*

УДК 621039

**Т. О. Піневич**

*(старший викладач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**І. С. Чигринець**

*(студент Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ NGN

*Було розглянуто архітектуру мережі наступного покоління та способи її реалізації. Основне завдання мереж наступного покоління полягає в забезпеченні взаємодії існуючих і нових телекомунікаційних мереж, підтримуваних єдиною інфраструктурою для передачі будь-яких видів інформації (голосу, даних, відео).*

*Ключові слова: мережа наступного покоління, архітектура мережі наступного покоління.*

*Была рассмотрена архитектура сети следующего поколения и способы ее реализации. Основная задача сетей следующего поколения заключается в обеспечении взаимодействия существующих и новых телекоммуникационных сетей, поддерживаемых единой инфраструктурой для передачи любых видов информации (голоса, данных, видео).*

*Ключевые слова: сеть следующего поколения, архитектура сети следующего поколения.*

Термін «мережі наступного покоління» NGN (NextGenerationNetworks) з'явився в телекомунікаційній літературі на початку нового тисячоліття. Основними об'єктивними передумовами виникнення ідеї мереж наступного покоління NGN є:

– успіхи пакетних технологій передачі інформації, що зумовили бурхливе зростання цифрового трафіку, насамперед за рахунок розширення використання Інтернет;

– збільшення попиту на рухомий зв'язок і на нові мультимедійні служби TriplePlay (сумісної передачі голосу, відео, даних);

– конвергенція (взаємопроникнення) мереж передачі даних, загально-технологічного та мереж оперативно-технологічного зв'язку на залізничному транспорті, розвиток інфокомунікаційних мереж.

Ідею розробки NGN, запропоновану в 2001 р. Європейським інститутом стандартів електров'язку ETSI (EuropeanTelecommunicationsStandardsInstitute),

© Піневич Т. О., Чигринець І. С., 2016

підтримав Сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електров'язку (МСЕ-Т). На початок 2011 року в цій серії вже було 70 рекомендацій, які відносять до так званої першої версії NGN (NGNrelease 1). Останнім часом в МСЕ-Т ведуться роботи по другій версії (NGNrelease 2).

Одна з основних причин появи ідеї NGN – завершення життєвого циклу експлуатованих цифрових комутаційних станцій телефонної мережі і бажання не замінювати їх такими самими станціями, а радикально модернізувати мережу з метою надання всього комплексу послуг TriplePlay. Таким чином, технологія NGN є новим способом розвитку і модернізації існуючих мереж зв'язку і в першу чергу, телефонних мереж зв'язку загального користування.

За визначенням, наведеним в Рекомендації МСЕ-Т Y.2001, мережа наступного покоління (NGN) – це мережа з пакетною комутацією, здатна забезпечити користувачів різноманітними вузькосмуговими і широкосмуговими послугами, включаючи послуги телефонного зв'язку, заснована на широкосмуговій мережі з пакетною технологією транспортування, що забезпечує необхідну якість послуг QoS (QualityofService), в якій функції, пов'язані з наданням послуг, не залежать від технологій транспортування інформації. Мережа NGN дає користувачам необмежений доступ до різноманітних послуг провайдерів і підтримує узагальнену мобільність, яка дозволяє користувачам отримати доступ до послуг у будь-якому місці і в будь-який час.

У рекомендації МСЕ-Т Y.2012 перераховані основні принципи функціональної архітектури NGN:

1. *Підтримка різних технологій доступу* – функціональна архітектура NGN повинна володіти гнучкою конфігурацією, необхідною для підтримки будь-яких технологій доступу.

2. *Розподілене управління* – повинен використовуватися принцип розподіленої обробки в пакетних мережах і підтримуватися прозорість місцезнаходження для розподілених обчислень.

3. *Відкрите управління* – мережеві інтерфейси управління мають бути відкриті для підтримки процесів створення нових і зміни існуючих послуг та підтримки засобів забезпечення логіки послуг сторонніх постачальників.

4. *Незалежність надання послуг* – процес надання послуг має бути розділений між функціями транспортної мережі, що працює з використанням зазначеного вище механізму розподіленого відкритого управління. Це призведе до підтримки конкурентного оточення при розвитку NGN, яке сприятиме прискоренню процесів впровадження нових послуг.

5. *Підтримка послуг конвергентних мереж* – це необхідно для створення гнучких, простих у використанні мультимедійних послуг для заміщення технічних можливостей конвергентних фіксовано-мобільних мереж за допомогою функціональної архітектури NGN.

6. *Розширені можливості безпеки і захисту* – це базовий принцип відкритої архітектури, він вимагає обов'язкового захисту мережевої інфраструктури за допомогою механізмів забезпечення відповідних рівнів безпеки і живучості мережі.

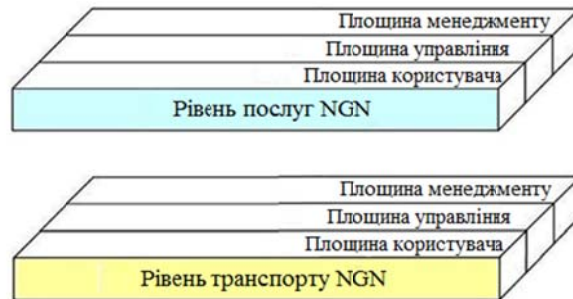
Для реалізації цих функцій в Рекомендації МСЕ-Т Y.2011 запропонована базова еталонна модель NGN, що включає два рівні: рівень послуг NGN (services-tratum) і рівень транспорту NGN (transportstratum), кожен з яких містить по три

площини: користувача, управління та менеджменту, еталонна модель будови NGN наведена на рис. 1.

Функціональність рівнів базової еталонної моделі NGN розкривається в загальній функціональній архітектурі NGN першої версії (NGNrelease 1), наведеної в Рекомендації МСЕ-Т У.2012 (рис. 1). На кожному з рівнів використовуються декілька функцій. Так, для надання послуг / додатків кінцевим користувачам використовуються функції підтримки додатків і функції підтримки послуг і відповідні керуючі функції. NGN підтримує точку сполучення з функціональною групою додатків, її називають інтерфейсом додатків мережі ANI (ApplicationNetworkInterface), який реалізує канал взаємодії та обміну інформацією між додатками і елементами мережі NGN. ANI забезпечує можливості і ресурси, необхідні для реалізації додатків. Транспортний рівень забезпечує послуги IP-з'єднань для користувачів мережі NGN за допомогою функцій управління транспортом, включаючи функції управління мережевими підключеннями NACFs (NetworkAttachmentControlFunctions) і функції управління ресурсами та доступом RACFs (ResourceandAdmissionControlFunctions). Особливістю технології NGN є відкриті інтерфейси між транспортним рівнем і рівнем управління комутацією.

Відповідно до Рекомендації МСЕ-Т У.2011 функції транспортного рівня включають безпосередньо транспортні функції і функції управління транспортом.

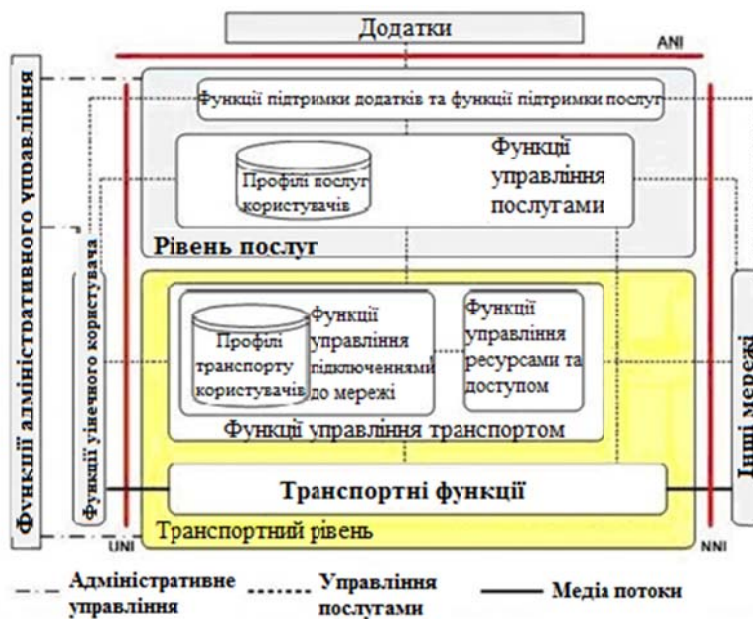
*Транспортні функції (transportfunctions)* забезпечують з'єднання всіх компонентів і фізично розділених функцій всередині NGN. Ці функції підтримують передачу медіаінформації, а також інформації управління (сигналізації) та технічного обслуговування. Транспортні функції включають функції мережі доступу, граничні функції, функції транспортного ядра (магістралі) і функції шлюзів.



**Рис. 1. Базова еталонна модель NGN( з Рекомендацій МСЕ-Т У.2011)**

*Функції мережі доступу (accessnetworkfunctions)* забезпечують підключення кінцевих користувачів до мережі, а також збір і агрегацію трафіку, що надходить з мережі доступу в транспортну магістраль (ядро). Ці функції також реалізують механізми управління якістю обслуговування QoS, пов'язані безпосередньо з користувацьким трафіком, включаючи управління буферами, чергами і розкладами, пакетну фільтрацію, класифікацію трафіку, маркування трафіку, визначення політики обслуговування і формування профілю передачі трафіку. Функції мережі доступу залежать від провідної технології доступу, що використовується, наприклад, вони розрізняються для безпроводної технології CDMA і провідної технології доступу xDSL.

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ



**Рис. 2. Загальна функціональна архітектура NGN  
(з Рекомендації МСЕ-Е Y.2102)**

Залежно від технології, що використовується для доступу до послуг NGN, мережа доступу включає функції, пов'язані з:

- кабельним доступом;
- доступом за технологіями xDSL;
- безпроводним доступом (наприклад, технології IEEE 802.11 (WiFi) і 802.16 (WiMAX) і доступ 3G/4G);
- оптичним доступом.

*Граничні функції (edge functions)* використовуються для обробки трафіку, який виходить шляхом агрегування трафіку, що надходить з різних мереж доступу і передається в магістральну транспортну мережу, вони включають функції, пов'язані з підтримкою якості обслуговування QoS і управління трафіком. Граничні функції використовуються також між магістральними транспортними мережами.

*Магістральні транспортні функції (core transport functions)* відповідають за гарантовану передачу інформації через транспортну мережу з різним рівнем якості. Вони забезпечують механізми реалізації заданого рівня якості передачі QoS для користувача трафіку, включаючи управління буферами, чергами і розкладом, фільтрацію пакетів, класифікацію, маркування і формування трафіку, контроль дотримання правил обслуговування, управління шлюзами і функції міжмережних екранів.

*Функції шлюзів (gateway functions)* забезпечують можливість взаємодіяти з функціями кінцевих користувачів та / або іншими мережами, включаючи інші типи мереж NGN і безліч існуючих мереж, таких як ТфЗК / ISDN, публічний Інтернет та інші. Функції шлюзів можуть управлятися або безпосередньо функціями рівня управління або через функції управління транспортною мережею.

*Функції обробки медіаінформації (media handling functions)* забезпечують обробку медіаінформації при наданні послуг, таких як генерація тональних сигналів і перекодування. Ці функції реалізуються спеціальними ресурсами обробки медіаінформації на транспортному рівні.

*Функції управління транспортною мережею (transport control functions)* включають функції управління ресурсами та доступом і функції управління приєднанням до мережі.

*Функції управління ресурсами та доступом RACFs (Resource and Admission Control Functions)* діють як арбітр між функціями управління послугами і транспортними функціями для підтримки QoS і пов'язані з керуванням транспортними ресурсами в мережі доступу і в магістральній транспортній мережі. Рішення з управління ґрунтується на угодах про заданий рівень обслуговування SLA, правилах мережної політики, пріоритетах послуг та інформації про стан і використання транспортних ресурсів. Функції RACF забезпечують абстрактний підхід до інфраструктури транспортної мережі для функцій управління послугами SCFs (ServiceControlFunctions) і забезпечують сервіс-провайдерам незалежність від мережевої топології, зв'язності, завантаження ресурсів, механізмів / технологій QoS та ін. Функції RACF взаємодіють з функціями SCF і транспортними функціями для різних додатків (наприклад, SIP-виклики, потокове відео та ін.), що потребує керування транспортними ресурсами NGN, включаючи управління QoS, керування NAPT / firewall і проходження трансляції мережевих адрес на рівні портів NAPT.

*Функції управління підключенням до мережі NACFs (Network Attachment Control Functions)* забезпечують реєстрацію на рівні доступу і ініціалізацію функцій кінцевого користувача для послуг доступу NGN. Ці функції забезпечують транспортний рівень ідентифікацією / авторизацією, керуючи простором IP-адрес в мережі доступу і аутентифікації сесій доступу. Вони також повідомляють кінцевим користувачам про функції контактної точки на рівні послуг. Функції NACF включають транспортний профіль користувача, який зберігатися у вигляді функціональної бази даних, що включає інформацію користувача, а також інші дані управління.

*Рівень послуг (servicestratum)* включає:

- функції управління послугами, включаючи функції профілів послуг користувачів;
- функції підтримки додатків і функції підтримки послуг.

*Функції управління послугами (service control functions)* включають управління ресурсами, функції реєстрації, аутентифікації та авторизації для різних послуг на рівні послуг. Вони також можуть включати функції управління медіаресурсами, такими як спеціалізовані пристрої і шлюзи на сигнальному рівні. Функції управління послугами підтримують профілі послуг користувачів, які являють собою комбінацію користувальницької інформації та інших даних управління, що утворить індивідуальний профіль кожного користувача і об'єднані у функціональні бази даних.

*Функції підтримки додатків і функції підтримки послуг (application support function and service support functions)* включають функції шлюзів, реєстрації, аутентифікації та авторизації на рівні додатків. Ці функції доступні у функціональних групах «додатки» і «кінцеві користувачі». Вони працюють спільно з функціями управління слугами для забезпечення кінцевих користувачів і додат-

ків необхідними послугами NGN. Через інтерфейс «користувач-мережа» UNI функції підтримки додатків і функції підтримки послуг забезпечують точку доступу до функцій кінцевих користувачів. Взаємодія додатків з даними функціями здійснюється через точку доступу, реалізовану інтерфейсом «додаток-мережа» ANI.

*Функції кінцевих користувачів (end-user functions)* не визначають ніяких обмежень на користувача інтерфейси і мережі кінцевих користувачів, які можуть бути з'єднані з мережею доступу NGN. Термінальні пристрої користувачів послуг NGN можуть бути будь-якими мобільними або стаціонарними пристроями.

*Функції адміністративного управління (management functions)* забезпечують можливість управляти мережею NGN для надання послуг із заданим рівнем якості, безпеки та надійності. Ці функції розподіляються децентралізовано по всіх функціональних блоках (FE) і вони взаємодіють із функціональними блоками управління мережевими елементами, управління мережею та управління послугами. Функції адміністративного управління використовуються на транспортному рівні і рівні послуг і для кожного цього рівня вони реалізують наступні завдання:

- управління процесом усунення відмов (Fault Management);
- управління конфігурацією мережі (Configuration Management);
- управління розрахунками з користувачами і постачальниками послуг (Accounting Management);
- контроль продуктивності мережі (Performance Management);
- забезпечення безпеки роботи мережі (Security Management).

З метою більш простого розуміння принципів побудови мереж наступного покоління в більшості публікацій з NGN наводиться узагальнена 4-рівнева архітектура NGN, в якій виділяються такі рівні (рис. 3):

- *рівень доступу*, що містить мережа абонентського доступу до транспортної пакетної мережі;
- *транспортний рівень*, що включає магістральну пакетну мережу (мережа, побудовану на базі протоколів пакетної комутації IP або ATM, в даний час найчастіше на базі технології MPLS і протоколу IP);
- *рівень управління комутацією*, включає сукупність функцій з управління всіма процесами обслуговування викликами в телекомунікаційній мережі;
- *рівень послуг та експлуатаційного управління*, який містить логіку виконання послуг та / або програм і управляє цими послугами, має відкриті інтерфейси для використання сторонніми організаціями (для розробки програм і нових послуг).

Термінальне обладнання не входить до складу мережі NGN і в принципі може бути будь-яким з набору абонентського обладнання існуючих провідних і безпроводних мереж. Однак таке термінальне обладнання може бути включено в мережу NGN тільки через узгоджуюче шлюзове абонентське обладнання рівня доступу. Безпосереднє підключення до мережі можливо тільки пакетних абонентських терміналів, що працюють з використанням протоколів SIP і H.323.

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

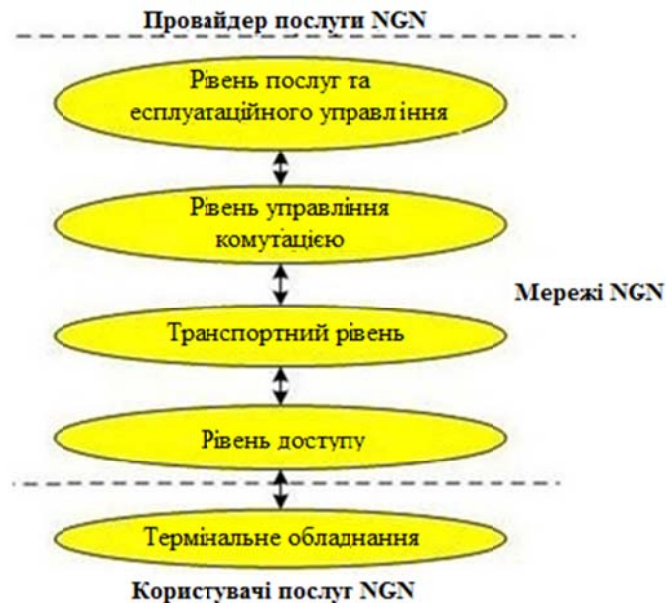


Рис. 3. Чотирирівнева модель NGN

**Висновки та пропозиції.** Сучасні потреби клієнтів у нових послугах є відправною точкою у визначенні стратегії розвитку мережевої інфраструктури. Попит на нові послуги – пакетної телефонії, передачі даних, відеоконференцзв'язок, голосової та універсальної пошти, теленавчання, VPN, а також додаткові інформаційні сервіси – розвивається в усьому світі стрімкими темпами. Технологія NGN може бути реалізована тільки за допомогою технології пакетної передачі і технологій програмної комутації, які є основними елементами мультисервісної мережі.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Тарбаєв С.І.* NGN і нові транспортні пакетні технології. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ 2010. – 359 с.
2. *О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, В.В. Поповський.* Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології Харків, Компанія СМІТ. 2010.– 470 с. Том I
3. *В.И. Битнер, Ц.Ц. Михайлова.* Сети нового поколения. – NGN. Горячая Линия – Телеком. – 2011. – 226 с.
4. *Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е.* Сети связи пост-NGN СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
5. *Гулевич Д. С.* Сети связи следующего поколения *Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знания, 2009.* – 184 с.
6. *Росляков А.В.* Сети следующего поколения NGN Эко-Трендз, 2008. – 424 с.
7. *Бакланов И.Г.* NGN: принципы построения и организации. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
8. *Dharwadkar, S.N.; Dale, M.P.; Masood, N.; Joshi, M.A.*;» NGN need and challenges.» *Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008. IET International Conference on, Pages(s): 30 – 33*
9. *Vinod Joseph, Srinivas Mulugu* Network Convergence: Ethernet Applications and Next Generation Packet Transport Architectures. MorganKaufmann 2013. – 620 с.
10. *Гольдштейн Б.С., Соколов Н. А., Яновский Г.Г.* Сети связи. СПб.: БХВ 2010. – 400 с.

*Tetiana O. Pinevych*  
(Senior Lecturer of Telecommunication Technology and Automation  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)  
*Igor S. Chegrinets*  
(Student of State University for Transport Economy and Technologies)

## SPECIFICS OF THE NETWORKS NGN

*The term «Network Architecture» means choosing the best set of protocols to meet all the network requirements and mechanisms for network communication. The challenge is to determine the best suited protocol among all the alternatives. The NGN architecture is designed such as to fulfill requirements of future networks and to reduce the complexity and improve the quality of services of the network. NGN (Next Generation Network) architecture is designed to provide multiple services such transmission of voice, images and data on a packet based network. An NGN provides Quality of Service (QoS) mechanism for different types of network traffic. Typically in NGN architecture transmission and routing of packets is physically and logically separated from call control and other services. This leads to two layered architecture where transport stratum is separated from services stratum. This network supports all of the services available on current network such as voice, image, multimedia and management application.*

*Keywords: network architecture, next generation network, layered architecture.*

## REFERENCES

1. Tarbayev S.I NGN and new packet transport technology. Moscow. EKO-TRENDZ 2010. – 359 p.
2. O.V.Lemeshko, V.A Loshakov, V.V Popovsky Multichannel telecommunication and telecommunication technologies Kharkiv, SMIT. 2010. – 470 p.
3. V.I Bitner, C.C. Mikhailov Next Generation Network – NGN. Hot Line – Telecom. – 2011 – 226 p.
4. Goldstein B.S, Curly AE Communication networks post-NGN SPb .: BHV-Petersburg, 2013. – 160 p.
5. Gulevich D.S Communication Networks next-generation Internet University of Information Technologies, Bean.Knowledge Laboratory, 2009. – 184 p 6. Roslyakov A.V Next Generation Network NGN Eco-Trendz, 2008. – 424 p.
7. Baklanov I.G NGN: principles and organization. – M .: Eco-Trendz, 2008. – 400 p.
8. Dharwadkar, S.N.; Dale, M.P.; Masood, N.; Joshi, M.A.;» NGN need and challenges.»Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008. IET International Conference on, Pages(s): 30 – 33
9. Vinod Joseph, Srinivas Mulugu Network Convergence: Ethernet Applications and Next Generation Packet Transport Architectures. Morgan Kaufmann 2013. – 620 c.
10. Goldstein B.S, Sokolov NA, Janowski GG Communication networks. SPb .: BHV 2010. – 400 p.

УДК 340.6+681.327+681.5.015

*С. М. Білан, к.т.н., професор*

*(професор кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»  
Державного економіко-технологічного університету транспорту,  
м. Київ)*

*А. А. Демаш*

*(заступник начальника науково-дослідного відділу Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації)*

*Т. В. Іваськів*

*(студентка Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## СИСТЕМА БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ З ДОВІЛЬНОЮ КЛЮЧОВОЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ

*У роботі розглядається та досліджується система біометричної ідентифікації особистості за динамікою почерку роботи на клавіатурі. Розглянуто основні аспекти біометричної ідентифікації. Запропоновано алгоритм формування кодів ключових послідовностей під час навчання системи. На основі порядку формування кодів під час навчання розроблено алгоритм ідентифікації особистості за динамікою почерку роботи на клавіатурі.*

*Ключові слова:* біометрична ідентифікація, почерк роботи на клавіатурі.

*В работе рассматривается и исследуется система биометрической идентификации личности по динамике почерка работы на клавиатуре. Рассмотрены основные аспекты биометрической идентификации. Предложен алгоритм формирования кодов ключевых последовательностей во время обучения системы. На основе порядка формирования кодов при обучении разработан алгоритм идентификации личности по динамике почерка работы на клавиатуре.*

*Ключевые слова:* биометрическая идентификация, почерк работы на клавиатуре.

**Вступ.** Сьогодні значна увага суспільства націлена на організацію високоефективних систем доступу до об'єктів та інформаційних ресурсів з обмеженим доступом. Для обмеження доступу в таких системах використовуються засоби біометричної ідентифікації особистості. Біометрична ідентифікація особистості ґрунтується на аналізі відомих характеристик людини, які підкреслюють його індивідуальність та одноосібно відрізняють його від усіх інших людей.

© Білан С. М., Демаш А. А., Іваськів Т. В., 2016

Такі характеристики ділять на статичні та динамічні. До статичних характеристик відносять: обличчя, відбиток пальця, райдужна оболонка ока, форма руки, вуха, рисунок вен і капілярів ока та пальця тощо [1-9].

До динамічних характеристичних особливостей людини належать: динаміка написання рукописного тексту, кардіограма роботи серця, динаміка роботи на клавіатурі і т.п. [4-7, 9].

В даний час всім зазначеним характеристичним особливостям приділено багато уваги. На їх основі розроблена велика кількість методів та засобів, які конкурують між собою по таких характеристиках як достовірність, швидкодія та надійність. Значні проблеми виникають при первинному перетворенні характеристики. Особливо це стосується статичних характеристик, які потребують спеціальних засобів просторового розташування. В таких засобах первинне перетворення на початку вносить спотворення. Для контролю та усунення спотворень застосовують додаткові засоби, що ускладнює систему.

Використання динамічних характеристик спрощує засоби первинного перетворення, але потребує додаткових витрат часу, які обмежені часовим діапазоном зміни параметрів особистості. Найменше застосування на практиці отримала така характеристика як динаміка зміни почерку роботи на клавіатурі. Дана характеристика займає 1% застосувань серед усіх інших параметрів [3-5, 9]. Така величина обумовлюється тим, що вона може бути застосована до людей, які професійно і тривалий час працюють з клавіатурою.

У даній роботі розглядаються існуючі підходи щодо побудови системи біометричної ідентифікації особистості по динаміці почерку роботи на клавіатурі (ДПРК). Запропонована система біометричної ідентифікації особистості по почерку роботи на клавіатурі по вільній ключовій послідовності символів.

**Загальні принципи функціонування та проблеми біометричної ідентифікації за ДПРК.** Біометрична ідентифікація по ДПРК може проводитись по фіксованій символній послідовності (ФСП) та по вільній символній послідовності (ВСП). По ФСП визначається час утримування клавіш у натиснутому положенні та час між двома сусідніми натисканнями клавіш [9].

У випадку використання ВСП підвищується ступінь захисту системи від несанкціонованого доступу (НСД). Це обумовлено тим, що зловмисник не зможе підробити часову послідовність натиску клавіші.

Для здійснення даного методу необхідно враховувати наступні фактори.

1. Час утримання клавіші у натиснутому стані.
2. Час між натиснутими клавішами. Цей час враховує послідовність розташування клавіш. Важливим є сполучення клавіш. Враховуються попередня та наступна клавіші, а також враховується кількість попередніх натиснутих клавіш та величина часу, яка витрачається на їх натиск. Також повинен враховуватись час доби. Таким чином, вхідна послідовність символів повинна перетворюватись у числову послідовність, яка містить величини часових тривалостей у відповідній послідовності символів.

Для формування вихідної послідовності враховуються сполучення попередніх клавіш по їх кількості. Якщо вибрана одна клавіша, то тільки одна враховується. Якщо дві клавіші, то враховуються комбінації двох попередніх клавіш і т. д. Така ситуація пов'язана з різним розташуванням клавіш. Різне розташування клавіш призводить до різних часових витрат між натисками сусідніх клавіш. Також різні пальці руки по різному натискають клавіші клавіатури, що призво-

дить до різних часових тривалостей між натисками клавіш і до різних часових тривалостей утримання кожної клавіші.

Параметри, які враховуються у послідовності, що формується у системі такі.

1. Номер елементу у послідовності.
2. Кількість попередніх введених символів.
3. Час натиску між визначеними клавішами.
4. Час утримання кожної клавіші у натиснутому стані.

**Алгоритм навчання системи.** Біометрична ідентифікація особистості за ДПРК ділиться на два етапи: навчання та ідентифікація. Для проведення якісної ідентифікації розробляється необхідний алгоритм навчання. Підбирається необхідний набір характеристичних ознак, які вибіляються під час введення контрольної послідовності символів людиною. Контрольні послідовності підбираються таким чином, щоб їх множина і сполучення символів покривали усі можливі комбінації символів при введенні ВСП.

Реалізація алгоритму навчання використовує такі параметри:

1. Довжина ВСП, яка указує загальну кількість символів у послідовності N.
2. Довжина D вибірки символів, з якої виділяються характеристичні ознаки.
3. Символи, що беруть участь у тестуемій вибірці, а також їх послідовність розташування  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_D$ .
4. Послідовність чисел, які указують тривалість натискання кожної клавіші тестуємої вибірки  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_D$ .
5. Послідовність чисел, які указують тривалість між початками натискання двох сусідніх клавіш символів  $t_{1_2}, t_{2_3}, t_{3_4}, \dots, t_{D-1_D}$ .

Процес навчання проводиться наступним чином.

1. За допомогою первинних перетворювачів здійснюють зчитування часових величин у цифровій формі. Також зчитуються коди символів натиснутих клавіш.
2. Задають величину D.
3. Розбивають контрольну ФСП на групи по D символів (рис. 1).

Персональний\_комп'ютер

Розбиття на групи для D=5

```

Персо нальн ий_ко мп'ют
ерсон альни й_ком п'юте
рсона льний _комп 'ютер
сонал ьний_ комп'ю
ональ ний_к омп'ю
нальн ий_ко мп'ют
льний _комп 'ютер
ьний_ комп'
ний_к омп'ю
ий_ко мп'ют
й_ком п'юте
_комп 'ютер
комп'
омп'ю
мп'ют
п'юте
'ютер
    
```

*Рис. 1. Приклад розбиття ФСП на групи при D=5*

4. Записують для кожної групи символів коди тривалостей натискання та коди тривалостей між натисканнями сусідніх клавіш (рис. 2).

C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>		C <sub>D</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>		t <sub>D</sub>	t <sub>1_2</sub>	t <sub>2_3</sub>		t <sub>D-1_D</sub>
----------------	----------------	--	----------------	----------------	----------------	--	----------------	------------------	------------------	--	--------------------

*Рис. 2. Структура коду окремої групи ФСП*

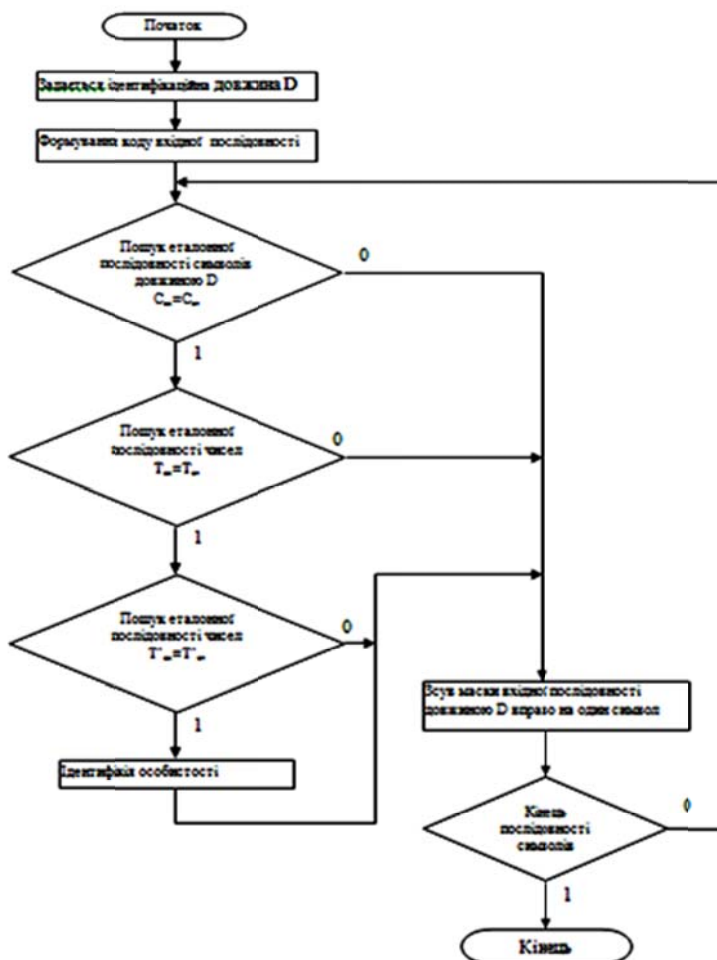
5. Проводять сортування сформованих кодів у пам'яті згідно з заданими пріоритетними сполученнями. Сортування здійснюють для полегшення алгоритму пошуку найближчого коду під час ідентифікації.

Сформовані коди розташовують у області пам'яті під адресою ідентифікатора, який є особистий ідентифікатор людини, що брала участь у процесі навчання системи. Також для кожного коду додатково додається код особистого ідентифікатора.

**Ідентифікація особистості по ДПРК.** Після того як сформована база еталонних кодів під час навчання система готова до ідентифікації.

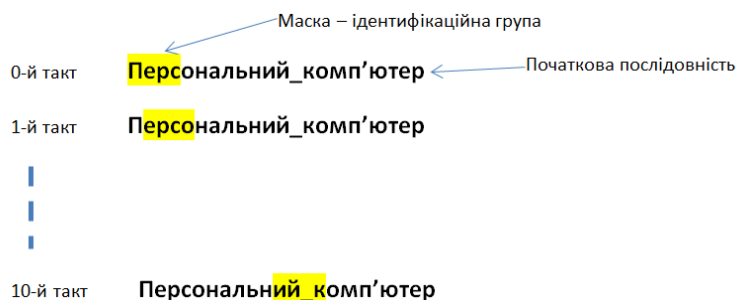
Для біометричної ідентифікації особистості по ДПРК на основі ВСП задається величина  $D$  довжини вибіркової групи, по якій здійснюється пошук еталонних кодів в системі. Під час ідентифікації натискаються клавіші і формується послідовність чисел, яка в процесі натискання клавіш визначається по заданій ідентифікаційній довжині  $D$ . Після натиску останньої клавіші записуються коди тривалостей між натисками та коди тривалостей утримання клавіш.

Порівнюються сформовані коди тривалостей з кодами, записаними для даної послідовності при навчанні. Якщо такий код тривалостей знайдений в пам'яті, то відбувається ідентифікація. Алгоритм ідентифікації подано на рис. 3.



*Рис. 3. Узагальнений алгоритм ідентифікації особистості по ДПРК*

Зсув маски вхідної послідовності довжиною  $D$  вправо на один розряд полягає у постійному переборі усіх символів вхідної послідовності по  $D$  символів, що послідовно розташовані один за одним. Приклад зсуву вправо маски довжиною 4 подано на рис. 4.



**Рис. 4. Приклад зсуву вправо маски символів довжиною  $D$  для формування ідентифікаційних груп**

В алгоритмі після кожного зсуву маски здійснюється визначення попадання останнього символу вхідної послідовності у маску. Тобто коли маска, після зсуву вправо, охоплює останній символ, процес ідентифікації завершується.

На кожному кроці зсуву здійснюється пошук еталонних кодів для  $T_{вх}$ ,  $T_{вх}'$ , (де  $T_{вх}$  – код послідовностей чисел, що вказують час натискання кожної клавіші;  $T_{вх}'$  – код послідовності чисел, що вказує час між натисканнями сусідніх клавіш). Якщо коди на відповідному кроці співпадають, то відбувається ідентифікація по заданій послідовності символів довжиною  $D$ . По кількості співпадань кодів з еталонними визначається найбільша кількість ідентифікацій однієї особистості і визначається особистість. Процес ідентифікації потребує часу, який уходить на формування вхідної послідовності, час на зсув і час на пошук еталонного коду.

**Висновки.** Запропонована система біометричної ідентифікації особистості по динаміці почерку роботи на клавіатурі дозволяє ідентифікувати особистість по ФСП та по ВСП. Запропонований алгоритм ідентифікації дає можливість багаторазово ідентифікувати особистість шляхом розбиття вхідної послідовності на ідентифікаційні групи. Для такої ідентифікації запропоновано алгоритм навчання, який дозволяє формувати еталонні коди відповідної ієрархії. Алгоритм дозволяє підвищити достовірність ідентифікації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Dr. R. Satya Prasad, Muzhir Shaban Al-Ani, Salwa Mohammed Nejres. An Efficient Approach for Human Face Recognition, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 5, Issue 9, September 2015.
2. B. Mathivanan, V. Palanisamy and S. Selvarajan. A Hybrid Model For Human Recognition System Using Hand Dorsum Geometry and Finger-Knuckle-Print.// Journal of Computer Science 2012, 8 (11).- P. 1814-1821.
3. www.biometrics.org.
4. Иванов А.И. Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. Пенза: Из-во Пензенского государственного университета, 2000. – 188 с.

5. Рыбченко Д.Е. Критерии устойчивости и индивидуальности клавиатурного почерка при вводе ключевых фраз. // Специальная техника средств связи. Серия. Системы, сети и технические средства конфиденциальной связи. Пенза, ПНИЭИ, 1997, Выпуск № 2, С.104 –107.
6. Брюхомицкий Ю.А., Казарин М.Н. Система аутентификации личности по почерку / сборник трудов научно-практической конференции с международным участием «информационная безопасность». – Таганрог: изд-во ТРТУ, 2002. – С. 22-29.
7. Manpreet Kaur, A.S.Arora. Combination Method for Powerline Interference Reduction in ECG. // International Journal of Computer Applications. - Volume 1, No.14.- 2010. – P. 10-16.
8. Shilpa B. Kutemate, Prof. R. U. Shekokar. Secure and Reliable Human Identification Based on Finger-Vein Patterns.// International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 4, Issue 3, 2015. - P. 978-980.
9. Білан С.М., Білан С.С., Демаш А.А., Катеринич Н.В. Пристрій біометричної ідентифікації особистості по почерку роботи на клавіатурі. – Патент України на корисну модель № 100843, Бюл. № 15 від 10.08.2015 р.

**Stepan M. Bilan, PhD (Technical Sciences), Professor**  
**(Professor Telecommunication Technology and Automation Chair, State**  
**University for Transport Economy and Technologies)**  
**Andriy A. Demash**  
**(Deputy Head of Research Department, State Research Institute for Spe-**  
**cial Telecommunication and Information Protection)**  
**Tetyana V. Ivasykv**  
**(Student of State University for Transport Economy and Technologies)**

#### **SYSTEM OF BIOMETRIC IDENTIFICATION WITH AN ARBITRARY KEY SEQUENCE**

*The paper considers and explores the system of biometric identification on the dynamics of handwriting of the work on the keyboard. The main aspects of the biometric identification are considered. An algorithm for the formation of the code key sequence during the system training is proposal. On the basis of the order of formation of the codes that developed in the training of the individual identification algorithm for dynamic handwriting operation on the keyboard.*

*Keywords: biometric identification, handwriting operation on the keyboard.*

#### **REFERENCES**

1. Dr. R. Satya Prasad, Muzhir Shaban Al-Ani, Salwa Mohammed Nejres. An Efficient Approach for Human Face Recognition, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 5, Issue 9, September 2015.
2. B. Mathivanan, V. Palanisamy and S. Selvarajan. A Hybrid Model For Human Recognition System Using Hand Dorsum Geometry and Finger-Knuckle-Print.// Journal of Computer Science 2012, 8 (11).- P. 1814-1821.
3. www.biometrics.org.
4. Ivanov A.I. Biometrycheskaya identifikacya lichnosti po dinamike podsoznatelynih dvizeniy. – Penza: Iz-vo Penzenskogo gosudarstvennogo universyteta, 2000 -188 p.
5. Рыбченко Д.Е. Критерии устойчивости и индивидуальности клавиатурного почерка при вводе ключевых фраз. [Специальная техника средств связи. Серия. Системы, сети и технические средства конфиденциальной связи].- Пенза, ПНИЭИ, 1997, Выпуск №2., p.104 –107.

6. *Bryuhomickiy U.A., Kazaryn M.N. Systema autentifikacyi lichnosti po pocherku* [Sbornyk trudov nauchno-praktycheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchstyem «informacionnaya bezopasnosty»]. – Taganrog: izdovo TRTU, 2002. – p. 22-29.
7. *Manpreet Kaur, A.S.Arora. Combination Method for Powerline Interference Reduction in ECG.* // International Journal of Computer Applications.- Volume 1, No.14.- 2010– P. 10-16.
8. *Shilpa B. Kutemate, Prof. R. U. Shekokar. Secure and Reliable Human Identification Based on Finger-Vein Patterns.*// International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 4, Issue 3, 2015.- P. 978-980,
9. *Bilan S.M., Bilan S.S., Demash A.A., Katerynich N.V. Prystryi biometrychnoi identifikacii osobististy po pocherku roboty na klaviaturi* [Patent Ukrain na korysnu model] № 100843, Bul. №15 vid 10.08.2015.

УДК 004.274

*Л. Ф. Мараховський, д.т.н., професор  
(професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології транспорту» Державного економіко-технологічного  
університету транспорту, м. Київ)*

*В. В. Москвин  
(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології транспорту» Державного економіко-технологічного  
університету транспорту, м. Київ)*

*А. В. Резидент  
(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології транспорту» Державного економіко-технологічного  
університету транспорту, м. Київ)*

## ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ПО НОВОМУ НАПРАВЛЕНИЮ В ОБЛАСТИ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СХЕМ ПАМЯТИ. Ч. 1

*В словаре дается краткое толкование значения понятий терминов и слов в области теории построения элементарных схем памяти, которые подкрепляются цитатами из научной литературы по новому научному направлению. Термины и понятия рассмотрены в области: теории синтеза и анализа схем автоматной (многофункциональной и многоуровневой) памяти. В статье предложены новые подходы по анализу схем памяти в виде их групп, указаны основные преимущества и отличия открытых многофункциональных схем памяти (МФСП) и полужакрытых многоуровневых схем памяти (МУСП) перед закрытыми структурами классических двоичных триггеров. Приведены математические зависимости структурных решений схем памяти, предложены новые универсальные буквенно-числовые языки описания структур схем памяти для символического обозначения МФСП и МУСП. Раскрыты различные принципы и методы структурной организации МФСП и МУСП.*

**Ключевые слова:** *теория синтеза и анализа схем памяти, многофункциональные схемы памяти, многоуровневые схемы памяти, теория микроструктурного синтеза многофункциональных схем памяти.*

*У словнику дається коротке тлумачення понять термінів і слів в області теорії побудови елементарних схем пам'яті, які підкріплюються цитатами з наукової літератури з нового наукового напрямку. Терміни і поняття розглянуті в області: теорії синтезу та аналізу схем автоматної (багатофункціональної і багаторівневої) пам'яті. У статті запропоновані*

© Мараховський Л. Ф., Москвин В. В., Резидент А. В., 2016

*нові підходи щодо аналізу схем пам'яті у вигляді їх груп, вказані основні переваги і відмінності відкритих багатofункціональних схем пам'яті (БФСП) і напівзакритих багаторівневих схем пам'яті (БРСП) перед закритими структурами класичних двійкових тригерів. Наведено математичні залежності структурних рішень схем пам'яті, запропоновані нові універсальні буквено-числові мови опису структур схем пам'яті для символічного позначення БФСП і БРСП. Розкрито різні принципи і методи структурної організації БФСП і БРСП.*

**Ключові слова:** *теорія синтезу та аналізу схем пам'яті, багатofункціональні схеми пам'яті, багаторівневі схеми пам'яті, теорія мікроструктурного синтезу багатofункціональних схеми пам'яті.*

**Постановка задачі.** Новая информационная технология потребовала объяснения новых терминов и новых понятий, которые необходимо понять специалистам в области компьютерных систем. Теория построения, анализа и синтеза схем автоматной памяти являются новым, неисследованным в вычислительной технике научным направлением. Поэтому, наряду с понятиями новых терминов, необходимо было достаточно просто и в компактном виде представить условные обозначения этих схем, предложить их расчёты, а также составить перечень терминов, связанных с данной темой. Особенно важным является то, чтобы всё это было собрано в одном месте, что и было сделано в данной статье.

#### **Теория построения элементарных схем памяти**

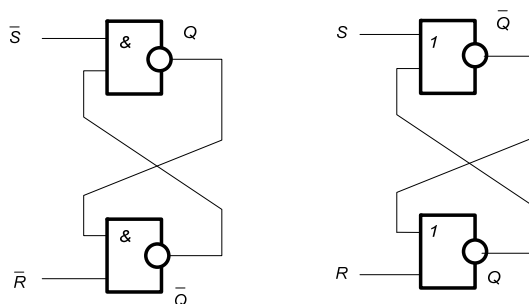
**Асинхронные элементарные схемы памяти (элементарные автоматы) [2; 4; 12].** Они обладают полной системой переходов, полной системой выходов и системой функций сохранения состояний. Они состоят из групп логических элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ), которые не связаны друг с другом по выходу, а выходы логических элементов каждой группы соединены с одним входом логических элементов всех других групп, кроме одной. Монофункциональные схемы памяти имеют только одну функцию сохранения состояний в асинхронном триггере и многостабильной схеме памяти (МСП), которые имеют закрытую структуру. Многофункциональные схемы памяти (МФСП) имеют больше одной функцию сохранения состояний и открытую структуру, за счет соединения одного входа каждого логического элемента с входной шиной схемы памяти, если в группе более одного логического элемента.

**Полнота системы переходов [2].** Полнота системы переходов элементарного автомата (схемы памяти) определяет, что для каждой пары внутренних состояний автомата, которые сохраняются при одном сохраняющем  $e(\Delta)$  входном сигнале, найдется входной сигнал  $x(t)$ , который переведет автомат с одного состояния в другое.

**Полнота системы выходов [2].** Полнота системы выходов элементарного автомата (схемы памяти) определяет, что в каждом состоянии автомат создает сигнал  $y_i$ , который отличается от сигналов, которые возникают в других состояниях автомата.

**Монофункциональная элементарная схема памяти [4].** Монофункциональная элементарная схема памяти названа одноуровневым элементарным автоматом, обладающим полными системами переходов и выходов при запоминании всех состояний автомата только при одном сохраняющем  $e(\Delta)$  входном сигнале.

**Асинхронний RS-триггер [4; 12].**



**Рис. 1. Схеми RS-триггерів на елементах І-НЕ і ІЛИ-НЕ**

Особенностью RS-триггера является то, что запись информации в нем осуществляется непосредственно с поступлением информационного  $x(t)$  (устанавливающего) сигнала на его входы, который однозначно определяет значения выходных сигналов RS-триггера. Хранение состояний выходных сигналов в схемах триггеров осуществляется при одном сохраняющем  $e(\Delta)$  входном сигнале, который действует между устанавливающими входными сигналами.

RS-триггер состоит из двух групп, в каждой группе которых находится по одному логическому элементу И-НЕ (ИЛИ-НЕ). Выходы каждой группы элементов соединены с входами элементов другой группы. Свободные входы элементов соединены с входной шиной схемы памяти. Надо отметить, что все двоичные триггеры в основе своей памяти используют асинхронный RS-триггер. Такие, как синхронные одно ступенчатые и двух ступенчатые триггеры – RS-триггер, D-триггер, JK-триггер, T-триггер и т. д.

**Работа RS-триггера на элементах И-НЕ и на элементах ИЛИ-НЕ**

**Таблица 1. Таблица истинности RS-триггера на элементах И-НЕ**

$\bar{R}$	$\bar{S}$	$Q$	$\bar{Q}$
0	0	1	1
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	1	0
		0	1

**Таблица 2. Таблица истинности RS-триггера на элементах ИЛИ-НЕ**

$R$	$S$	$Q$	$\bar{Q}$
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	1	0
		0	1

Триггер на элементах ИЛИ-НЕ имеет следующие три устанавливающие входные сигналы в автоматном непрерывном времени [4]:  $x_1(t)(R = 1; S = 1)$ ;  $x_2(t)(R = 1; S = 0)$ ;  $x_3(t)(R = 0; S = 1)$ ; и один  $e(\Delta)$  входной сигнал:  $(R = 0; S = 0)$ .

**Моделирование работы по тактам RS-триггера [4].**

Рассмотрим действие трех входных слов по тактам в таблицах при входных словах  $p_1(T) = x_1(t), e(\Delta)$ ;  $p_2(T) = x_2(t), e(\Delta)$  и  $p_3(T) = x_3(t), e(\Delta)$ .

*Таблица 3. Входное слово  $p_1(T) = x_1(t), e(\Delta)$*

Такты	1	2	3	4	5	6
$R$	1	1	1	*	0	0
$S$	1	1	1	*	0	0
$Q$	*	0	0	0	*	*
$\bar{Q}$	*	0	0	0	*	*

*Таблица 4. Входное слово  $p_2(T) = x_2(t), e(\Delta)$*

Такты	1	2	3	4	5	6
$R$	1	1	1	*	0	0
$S$	0	0	0	0	0	0
$Q$	*	0	0	0	0	*
$\bar{Q}$	*	*	1	1	1	1

*Таблица 5. Входное слово  $p_3(T) = x_3(t), e(\Delta)$*

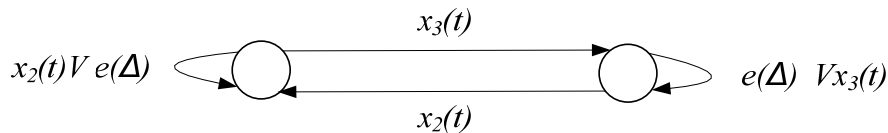
Такты	1	2	3	4	5	6
$R$	0	0	0	0	0	0
$S$	1	1	1	*	0	0
$Q$	*	*	1	1	1	1
$\bar{Q}$	*	0	0	0	0	0

При рассмотрении результатов вычислений при действии входного слова  $p_1(T)$ , мы видим, что устанавливающий  $x_1(t)$  входной сигнал определяет на обоих выходных узлах значение 0, которое не сохраняется при появлении сохраняющего  $e(\Delta)$  входного сигнала, потому что на обоих исходных узлах триггера сигналы имеют неопределенное значение 0,5 ( $Q = 0,5$  и  $\bar{Q} = 0,5$ ). Это объясняет то, что при применении слова  $p_1(T)$  триггер не имеет устойчивого выходного сигнала, а поэтому, такое входное слово для RS-триггера является запрещенным. На элементах И-НЕ и на элементах ИЛИ-НЕ входное слово  $p_1(T)$  в RS-триггере запрещается при использовании в детерминированных дискретных устройствах.

При рассмотрении результатов вычислений при воздействии входного слова  $p_2(T)$ . Мы видим, что устанавливающий  $x_2(t)$  входной сигнал определяет на выходных узлах значение  $Q = 0$  и  $\bar{Q} = 1$ , которые сохраняются при появлении сохраняющего  $e(\Delta)$  входного сигнала.

При рассмотрении результатов вычислений при действии входного слова  $p_3(T)$ . Мы видим, что устанавливающий  $x_3(t)$  входной сигнал определяет на выходных узлах значение  $Q = 1$  и  $\bar{Q} = 0$  хранящихся при появлении сохраняющего  $e(\Delta)$  входного сигнала.

Триггер считается, что находится в нуле, когда  $Q = 0$ , и в единице, когда  $Q = 1$ . Это условие необходимо запомнить, чтобы всегда было легко определить состояние, в каком находится триггер, так как он симметричный и легко можно ошибиться.



**Рис. 2. Граф-схема работы RS-триггера  
в автоматном непрерывном времени [4]**

**Вычисление основных цифровых параметров RS-триггера на элементах И-НЕ (ИЛИ-НЕ) [4].**

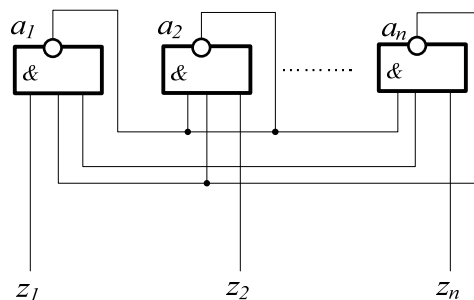
1. Число  $M$  запоминающих состояний двоичных или многостабильных триггеров вычисляется по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n (2 - 1)_i = n, \tag{1}$$

где  $n$ -число элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ) в схеме триггера или МСП.

2. Число  $r_e$  сохраняющих  $e(\Delta)$  входных сигналов двоичных или многостабильных триггеров вычисляется по формуле:

$$r_e = \prod_{i=1}^n (2 - 1)_i = 1. \tag{2}$$



**Рис. 3. Обобщенная структурная  
схема многостабильной схемы  
памяти (МСП) [4]**

МСП состоит из  $n$  ( $n > 2$ ) групп, в каждой группе из которых находится по одному логическому элементу И-НЕ (ИЛИ-НЕ). Выходы каждой группы элементов соединены с входами элементов других групп. Свободные входы элементов соединены с входной шиной схемы памяти.

Вычисление основных цифровых параметров МСП на элементах И-НЕ (ИЛИ-НЕ) определяется по тем же формулам, что и RS-триггер (см. выше).

### **Принцип реконфигурируемости [16]**

Принцип реконфигурируемости означает, что логическая структура реконфигурируемого устройства может динамически меняться как при подготовке к решению задачи, так и в ходе вычислительного процесса.

**Структурная универсальность реконфигурируемых устройств (РУ) [16].** Определяется принципом реконфигурируемости, когда удастся простым перепрограммированием структуры РУ настраивать его на эффективную реализацию заданного алгоритма.

**Принцип структурной организации многофункциональных схем памяти (МФСП) [4].** Заключается в том, что используются  $n$  логических элементов ИЛИ-НЕ (И-НЕ), которые разбиваются на  $m$  ( $m < n$ ) групп. Выходы элементов одной группы не связаны с входами своей группы логических элементов. Они соединяются с входами элементов других групп схемы. Один из свободных входов каждого  $i$ -го элемента соединяется с входами устанавливающей входной шины, на которую поступает входной сигнал  $x(t)$ , а второй из свободных входов каждого  $i$ -го элемента соединяется с входами сохраняющей входной шины схем памяти, на которую поступает входной сигнал  $e(\Delta)$ .

#### **Определениемногофункциональной схемы памяти (МФСП) [4; 5].**

МФСП – одноуровневый многофункциональный элементарный автомат с полной системой переходов и полной системой выходов при реализации каждой из  $r_e$  ( $r_e > 1$ ) функций  $\delta_e$  сохранения состояний.

МФСП можно функционально представлять как  $r_e$  одноуровневых элементарных автоматов, каждый из которых запоминает все свои состояния только при одном из различных соответствующих сохраняющих  $e_j$  ( $j = \overline{1, r_e}$ ) наборах входных сигналов. МФСП имеет матричную структуру запоминаемых состояний.

*Таблица 6. Матрица состояний МФСП*

	$\mu_1$	$\mu_2$	....	$\mu_n$
$\pi_0$	$a_{10}$	$a_{20}$	...	$a_{n0}$
$\pi_1$	$a_{11}$	$a_{21}$	...	$a_{n1}$
$\pi_2$	$a_{12}$	$a_{22}$	...	$a_{n2}$
...	...	...	...	...
$\pi_m$	$a_{1m}$	$a_{2m}$	...	$a_{nm}$

МФСП названа схемой автоматной памяти, потому, что матричная схема запоминания состояний, в которой может осуществляться переход по двум переменным, аналогично заданию матрицы переходов в сложных автоматах Мили и Мура [2].

**Язык описания структуры многофункциональных схем памяти цифровым числом** [4]. Цифровое описание элементарного устройства памяти представляется в виде позиционного числа (десятичного или шестнадцатилетнего), которое представляет структуру МФСП. Это число характеризует структуру так, чтобы используя это число, можно было бы формальными методами вычислить основные параметры схемы памяти, на основе которых осуществить выбор оптимальной, по мнению проектировщика, структуры и построить ее на логических элементах в виде функциональной схемы памяти. В цифровом описании МФСП целесообразно ввести десятичное число, количество разрядов которого соответствует количеству групп логических элементов в МФСП, а каждая цифра – количество логических элементов в той или иной группе. Максимальное количество разрядов десятичного числа равно 10, которое соответствует ограничению числа групп до 10 в структуре МФСП. Эти ограничения чисто условные, хотя и соответствуют в некоторой степени ограничением многих асинхронных элементов ИЛИ-НЕ (И-НЕ) интегральных схем.

Число, определяющее структуру МФСП в десятичной системе счисления, имеет ограничения по количеству логических элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ) в каждой группе до 9, что соответствует реальным ограничением интегральных схем. Количество разрядов, характеризующих структуру МФСП в десятичной системе счисления, имеют ограничения на количество возможных входов в используемых логических элементах (в данном числовом описании – до 10). В описании структура МФСП задается количеством логических элементов в каждой  $i$ -й позиции числа и количеством групп (разрядов) в самом числе.

Для получения результатов, которые получаются при использовании цифрового описания при выборе МФСП, можно выполнить следующие шаги:

1. При цифровом описании МФСП можно определить его основные параметры:  $M$  – количество запоминающихся устойчивых состояний;  $r_x$  – количество устанавливающих  $x_i(t)$  входных сигналов и  $r_y$  – количество входных сигналов  $e_j(\Delta)$ , а так же выбрать необходимый критерий (удовлетворяющий полученным результатам основных параметров) для логического проектирования МФСП, которое необходимо для создания перспективных устройств вычислительных машин и сетей.

2. Выбирая основные параметры МФСП, можно построить ее функциональную схему на базе логических элементов (И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И-ИЛИ-НЕ), а также найти ее описание в виде системы логических уравнений, когда это необходимо, для имитационного моделирования схем памяти.

**Определение параметров многофункциональных схем памяти [4].**

Характеристическое число запоминаемых состояний  $K_i$  в  $i$ -й группе определяется по формуле:

$$K_i = 2^{R_i} - 1, \quad (3)$$

где  $R_i$  – число логических элементов в  $i$ -й группе.

Количество  $M$  устойчивых состояний  $a(\Delta)$  МФСП, хранящихся под воздействием сохраняющих  $e(\Delta)$  входных сигналов, определяется формулой:

$$M = \sum_{i=1}^m K_i, \quad (4)$$

где  $K_i$  – характеристическое число  $i$ -й группы.

Общее количество  $r_x$  различных наборов устанавливающих  $x(t)$  входных сигналов МФСП определяется формулой:

$$r_x = M + 1, \quad (5)$$

где  $M$  – количество устойчивых состояний МФСП, которые сохраняются;

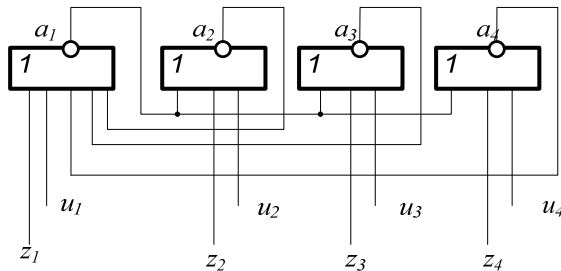
1 – дополнительный набор устанавливающего  $x_p(t)$  входного сигнала, однозначно устанавливающего состояние  $a_p(t)$ , которое не сохраняется ни при одном наборе сохраняющего  $e(\Delta)$  входного сигнала МФСП. Такой набор устанавливающего  $x_p(t)$  входного сигнала в детерминированных устройствах является запрещенным [12].

Общее число  $r_e$  различных наборов сберегающих  $e(\Delta)$  входных сигналов МФСП можно определять формулой:

$$r_e = \prod_{i=1}^m K_i, \quad (6)$$

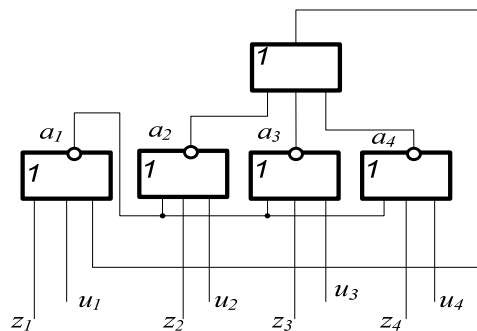
**Структуры многофункциональных схем [4; 5].**

МФСП рассматривают два класса функциональных схем: класс  $L$  и класс  $L^M$ . Например, многофункциональная схема класса  $L$ , описываемая цифровым числом 13 и обозначаемая  $L13$ , представлена на рис. 4.



*Рис. 4. Многофункциональная схема класса  $L$ , описываемая цифровым числом 13 и обозначаемая  $L13$*

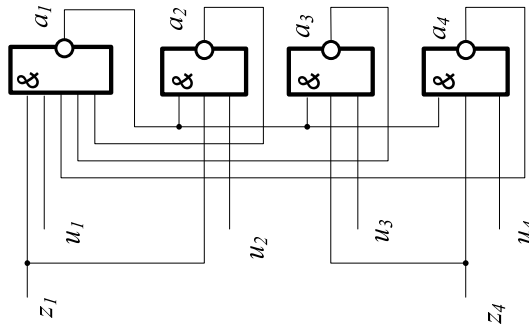
МФСП класса  $L^M$  на элементах ИЛИ-НЕ, описываемая цифровым числом 13 и обозначаемая  $M13$ , представлена на рис. 5.



*Рис. 5. МФСП класса  $L^M$  на элементах ИЛИ-НЕ, описываемая цифровым числом 13 и условно обозначаемая  $M13$*

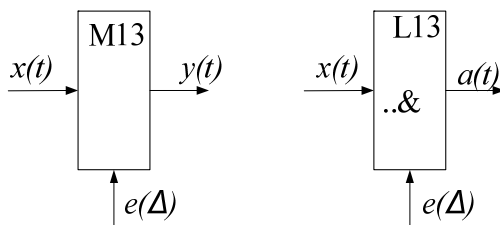
**Уменьшение узлов набора входного сигнала  $x(t)$  в МФСП [4].** Уменьшение количество входных узлов в МФСП класса  $L^M$  и класса  $L$ , где в группах логических элементов более 1, позволяет устанавливающие входы  $z_i(t)$  каждой  $i$ -й группы МФСП объединить в один входной узел. Входные  $u_i(\Delta)$  узлы в МФСП специально не объединены. При этом, алгоритм работы МФСП не изменяется.

Таким образом, набор входного сигнала  $x(t)$ , объединяющий устанавливающие узлы  $z_i(t)$  всех  $i$ -х групп МФСП, уменьшает количество входных узлов  $z_i(t)$  до  $m$  групп (рис. 6).



*Рис. 6. Многофункциональная схема памяти с объединением входных устанавливающих сигналов каждой группы*

**Условные обозначения многофункциональных схем памяти [4].** Внутри самого условного обозначения МФСП ставится обозначение  $M13$ , которое отражает структуру МФСП класса  $L^M$ . При МФСП класса  $L$  условное обозначение заменяется на  $L13$ . При необходимости в условном обозначении надо указать на каких логических элементах реализована схема МФСП, то под цифровым кодом можно поставить знак  $\&$ , когда используются логические элементы И-НЕ, а при отсутствии знака  $\&$  используются логические элементы ИЛИ-НЕ (рис. 7).



*Рис. 7. Условное обозначение МФСП*

Условные обозначения МФСП двух классов  $L$  и  $L^M$  отражают структуру, количество входных узлов входного сигнала  $x(t)$ , число которых равно количеству разрядов числа, количество входных узлов входного сигнала  $e(\Delta)$  и выходных сигналов  $y(T)$  (или  $a(T)$ ), которые соответственно равны сумме цифр числа, а также какие логические элементы И-НЕ или ИЛИ-НЕ используются в данной схеме.

**Выводы и предложения.** В статье авторы указали описание и значение таких понятий как МФСП и МУСП, а также показали их отличия и преимущества от классического построения вычислительной техники, которая использует в качестве памяти двоичные триггеры. Также, в статье был приведен список терминов и понятий в области построения, анализа и синтеза многофункциональных и многоуровневых схем памяти, а также предложен новый, простой и компактный способ их записи.

Это позволит значительно ускорить дальнейшую работу в этой области, а также упростит изучение данного нового направления в области компьютерной техники для студентов, аспирантов и специалистов, а также для людей изучающих схемотехнику в понимании синтеза и анализа МФСП и МУСП, что поможет им в изучении данной тематики.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Толковый словарь русского языка для учащихся школ / В.Г. и др. – Л.: Просвещение, 1982. – 384 с.
2. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
3. Глушков В.М. Теория алгоритмов. – К.: КВИРТУ, 1961. – 167 с.
4. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л. Основы новой информационной технологии: монография. – Saarbrcken, Germany, i.melnic@lap-publishing.ru / www.lap-publishing.ru. – 2013. – 369 с.
5. Мараховский Л.Ф. Основы теории проектирования дискретных устройств. Логическое проектирование дискретных устройств на схемах автоматной памяти: монография. – К.: КГСУ, 1996. – 128 с.
6. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л. Математические основы многофункциональных автоматов 1-го и 2-го рода и автоматов 3-го рода // «Академия Тринитаризма», М., Эл№77-6567, пул.14296. 17.03.07. – 36 с.
7. Словарь литературоведческих терминов. Словарь А-Я
8. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. Парадигма (философия)
9. Промоненков В.К., Парадигма информации // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, пул.20589, 16.05.2015.– 17 с.
10. Стахова А.П. The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science.–Canada, World Scientific, 2010. –600 p.
11. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
12. Справочник по цифровой вычислительной технике: (процессоры и память) / Б.Н.Малиновский, Е.И.Брюхович, Е.Л.Денисенко и др. / Под ред. Б.Н.Малиновского. – К.: «Техніка», 1979. – 366 с.
13. Мищенко В.А., Козюминский В.Д., Семашко А.Н. Многофункциональные автоматы и элементная база ЭВМ / Под ред. В.А. Мищенко. – М.: Радио и связь, 1982. – 249 с.
14. Marachovsky L.F. Basic Concepts to Build the Next Generation of Reconfigurable Computing Systems. International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2 – URL: www.science-sd.com/455-24170 (20.11.2013). 6 p.
15. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л. Структурный автомат. – Патент.–Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 25816 від 27 серпня 2007 р. – (51) МПК (2006) G06F 1/00 – Бюл. 13.– 12 с.
16. Палагин А.В. Реконфигурируемые вычислительные системы: Основы и приложения / А.В. Палагин, В.Н. Опанансенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.

***Leonid F. Marahovskij, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Professor Automation and Computer-Integrated Technology of Transport  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)  
Vadim V. Moskvina  
(postgraduate of Automation and Computer-Integrated Technology of Transport  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)  
Oleksiy V. Rezident  
(postgraduate of Automation and Computer-Integrated Technology of Transport  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

THE EXPLANATORY DICTIONARY IN THE NEW DIRECTION IN  
THE FIELD OF THE THEORY OF CONSTRUCTION OF ELEMENTARY  
SCHEMES OF MEMORY

*The dictionary gives a brief interpretation of the values in the theory of the construction of the elementary concepts of memory circuits of terms and words that are supported by citations from the scientific literature on new scientific direction. Terms and concepts discussed in: the theory of synthesis and analysis of the automaton circuit (multi-functional and multi-level) memory. The paper suggests new approaches to the analysis of the memory circuits in the form of groups, shows the main advantages and differences of open multi-functional memory circuits (MFMC) and the semi-enclosed multi-level memory circuits (MLMC) in front of the closed structures of the classical binary triggers. Mathematical formulas structural solutions of memory circuits were shown, new universal alphanumeric description languages structures of memory circuits for symbolic notation MFMC and MLMC were offered. Disclosed different principles and methods of the structural organization of MFMC and MLMC.*

**Keywords:** theory of synthesis and analysis of memory circuits, memory circuits multifunctional, multi-level memory circuit, the theory of multi-level memory circuit.

REFERENCES

1. *Tolkovyj slovar' russkogo jazyka dlja uchashhihsja shkol*[Explanatory Dictionary of the Russian Language: A Handbook for pupils]/ v.g. andetc. – l.: prosveshhenie, 1982. –384 p.
2. Glushkov V.M. *Sintez cifrovyyh avtomatov*. [Synthesis of Digital Automata] – M.: Fizmatgiz, 1962. – 476 p.
3. Glushkov V.M. *Teorija algoritmov*[The theory of algorithms]. –K.: KVIRTU, 1961. – 167 p.
4. Marahovskij L.F., Mihno N.L. *Osnovy novoy informacionnoj tehnologii: monografija*. – Saarbrcken, Germany, [i.melnic@lap-publishing.ru](mailto:i.melnic@lap-publishing.ru) / [www.lap-publishing.ru](http://www.lap-publishing.ru). [Fundamentals of new information technology. Fundamental principles of design of reconfigurable devices, computer systems and artificial neuron: a monograph] – 2013.– 369 p.
5. Marahovskij L.F. *Osnovy teorii proektirovaniya diskretnyyh ustrojstv. Logicheskoe proektirovanie diskretnyyh ustrojstv na shemah avtomatnoj pamjati: monografija*. [Basic theory of designing discrete devices. The logical design of discrete devices on the machine-memory schemas: monograph.]– K.: KGEU, 1996. –128 p.
6. Marahovskij L.F., Mihno N.L. *Matematicheskie osnovy mnogofunktional'nyh avtomatov 1-go i 2-go roda i avtomatov 3-go roda // «Akademija Trinitarizma»*, [Mathematical Foundations of multifunctional machines of the 1st and 2nd kind and machines of the 3rd kind] //»Academy of trinitarizm» M., Jel№77-6567, pul.14296. 17.03.07. – 36 p.
7. *Slovar' literaturovedcheskih terminov. Slovar' A-Ya* [Dictionary of literary terms. Dictionary A-Ya]
8. *Wikipedia, the free encyclopedia . Paradigm (philosophy)*
9. Promonenkov V.K., *Paradigma informacii // «Akademija Trinitarizma»*, [The paradigm of information] //»Academy of trinitarizm» M., Jel № 77-6567, publ.20589, 16.05.2015.– 17 p.
10. Stahova A.P. *The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science*.–Canada, World Scientific, 2010. –600 p.
11. Zade L.A. *Ponjatje lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij*[The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions]:translation from English.. – M.: Mir, 1976. – 165 p.
12. *Spravochnik po cifrovoj vychislitel'noj tehnike: (processory i pamjat')* [Guide to digital computing (processors and memory)] / B.N.Malinovskij, E.I.Brjuhovich, E.L.Denisenko i dr. / Under the editors:. B.N.Malinovskiy. – K.: «Tehnika», 1979. – 366 p.

13. Mishhenko V.A., Kozjuminskij V.D., Semashko A.N. *Mnogofunkcional'nye avtomaty i jelementnaja bazaEVM* [Multifunction machines and cell computer database]/ Under the editors. V.A. Mishhenko. – M.: Radio i svjaz', 1982. – 249 p.

14. Marachovsky L.F. Basic Concepts to Build the Next Generation of Reconfigurable Computing System. International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2 – URL: [www.science-sd.com/455-24170](http://www.science-sd.com/455-24170) (20.11.2013). 6 p.

15. Marahovskij L.F., Mihno N.L. *Strukturnij avtomat.* [The structural automatic machine] – Patent. – registered in the Ukrainian State Register of patents for utility models № 25816 27 27 of August, 2007. – (51) МПК (2006) G06F 1/00 – Бюл. 13.– 12 с.

16. Palagin A.V. *Rekonfiguriruemye vychislitel'nye sistemy: Osnovy i prilozhenija* [Reconfigurable computing: Fundamentals and applications]/ A.V. Palagin, V.N. Opanansenko. – K.: Prosvita, 2006. – 280 p.

УДК 004.274

*Л. Ф. Мараховский, д.т.н., професор  
(професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології транспорту» Державного економіко-технологічного  
університету транспорту, м. Київ)*

*В. В. Москвин  
(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології транспорту» Державного економіко-технологічного  
університету транспорту, м. Київ)*

*А. В. Резидент  
(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології транспорту» Державного економіко-технологічного  
університету транспорту, м. Київ)*

## ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ПО НОВОМУ НАПРАВЛЕНИЮ В ОБЛАСТИ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СХЕМ ПАМЯТИ. Ч. 2

*Во второй части словаря авторы дают краткое толкование дальнейших значений понятий терминов и слов в области теории построения элементарных схем памяти, которые подкрепляются цитатами из научной литературы по новому научному направлению. Термины и понятия рассмотрены в области: теории синтеза и анализа схем автоматной (многофункциональной и многоуровневой) памяти. Приведены математические зависимости структурных решений схем памяти, предложены новые универсальные буквенно-числовые языки описания структур схем памяти для символического обозначения МФСП и МУСП. Раскрыты различные принципы и методы структурной организации МФСП и МУСП.*

*Ключевые слова: теория синтеза и анализа схем памяти, многофункциональные схемы памяти, многоуровневые схемы памяти, теория микроструктурного синтеза многофункциональных схем памяти.*

*У другій частині словника автори дають коротке тлумачення подальших значень понять термінів і слів в області теорії побудови елементарних схем пам'яті, які підкріплюються цитатами з наукової літератури нового наукового напрямку. Терміни і поняття розглянуті в області: теорії синтезу та аналізу схем автоматної (багатофункціональної і багаторівневої) пам'яті. Наведено математичні залежності структурних рішень схем пам'яті, запропоновані нові універсальні буквено-числові мови опису структур схем пам'яті для символического позначення БФСР і БРСР. Розкрито різні принципи і методи структурної організації БФСР і БРСР.*

© Мараховський Л. Ф., Москвин В. В., Резидент А. В., 2016

**Ключові слова:** теорія синтезу та аналізу схем пам'яті, багатофункціональні схеми пам'яті, багаторівневі схеми пам'яті, теорія мікроструктурного синтезу багатофункціональних схеми пам'яті.

**Постановка задачі.** Новая информационная технология потребовала объяснения новых терминов и новых понятий, которые необходимо понять специалистам в области компьютерных систем. Теория построения, анализа и синтеза схем автоматной памяти являются новым, неисследованным в вычислительной технике научным направлением. Поэтому, наряду с понятиями новых терминов, необходимо было достаточно просто и в компактном виде представить условные обозначения этих схем, предложить их расчёты, а также составить перечень терминов, связанных с данной темой. Особенно важным является то, чтобы всё это было собрано в одном месте, что и было сделано в данной статье.

**Отличие МФСП от асинхронного RS-триггера [4].**

Принципиальным отличием МФСП от асинхронных RS-триггеров при их функционировании является то, что МФСП может функционировать в различных блоках  $\pi_j$  своих состояний, а RS-триггеры – только в одном. При различных наборах  $e_j(\Delta)$  входных сигналов в блоках  $\pi_j$  своих состояний МФСП (M22) может функционировать как девять различных RS-триггеров, имеющих различное множество своих состояний.

**Определение параметров асинхронных схем памяти [4].**

• **Максимальное число  $M$  запоминающих состояний при ограничениях параметров логических элементов, из которых строится схема памяти.**

Однофазные многостабильные схемы памяти, построенные на  $K$ -входных элементах И-НЕ (ИЛИ-НЕ) с нагрузочной способностью по выходам  $P_1$ , используют  $n$  ( $2 \leq n \leq K$ ;  $2 \leq n \leq P_1$ ) элементов. Максимальное возможное число  $M$  запоминающих состояний однофазных многостабильных схем памяти при  $K \leq P_1$  и  $n=m=K$  определяется по формуле:

$$M_{\max} = \sum_{i=1}^K (2-1)_i = K. \quad (4)$$

Для МФСП класса  $L$  на базе  $K$ -входных элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ) с нагрузочной способностью  $P_1$ , количество  $R_i$  ( $R_i = 2, 3, \dots, \frac{K}{2}$ ) которых одинакова во всех  $m$  группах, максимально возможное количество  $M_{\max}$  запоминающих состояний при  $n = K$ ;  $m = 2$ ;  $R_i = \frac{K}{2}$  ( $K \leq P_1$ ) вычисляются по формуле:

$$M_{\max} = \sum_{i=1}^m (2^{R_i} - 1) = \sum_{i=1}^2 \left( 2^{\frac{K}{2}} - 1 \right) = 2 * (2^{\frac{K}{2}} - 1) \quad (5)$$

Для МФСП класса  $L^M$  на базе  $K$ -входных элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ) с нагрузочной способностью  $P_1$ , количество  $R_i$  ( $R_i = 2, 3, \dots, R$ ) которых одинаково во всех  $m$  группах, и  $R$  – входных элементов И (ИЛИ) с нагрузочной способно-

стью  $P_2$  максимально возможное количество  $M_{max}$  запоминающих состояний при  $n < P_2$ ;  $m = K - 1$ ; ( $K \leq P_1$ );  $R_i = R$ ;  $n = m R$  вычисляются по формуле:

$$M_{max} = \sum_{i=1}^m (2^{R_i} - 1) = \sum_{i=1}^{K-1} (2^{R_i} - 1) \quad (6)$$

• **Нагрузочная способность по выходам ( $P_Q$ )**

Параметр  $P_Q$  указывает, какое число аналогичных логических элементов можно подключать к выходу устройства, не нарушая его работу на предельной рабочей частоте. Этот параметр зависит от нагрузочной способности по выходам элемента  $P_3$  и от числа связей выхода данного элемента  $S_3$  с другими элементами устройства. Для однофазных многостабильных схем памяти наименьший параметр  $P_Q$  определяется по формуле:

$$P_Q = P_3 - M_{max} = P_3 - K; (P \geq 1; P > K), \quad (7)$$

где  $M_{max}$  – максимальное число запоминающих состояний схемы памяти  
 $K$  ( $K=M_{max}$ ) – число входов элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ).

Для МФСП класса  $L$  нагрузочная способность по выходам  $P_Q$  определяется по формуле:

$$P_Q = P_3 - R_i = P_3 - \frac{K}{2} (P_Q \geq 1; P_1 \geq \frac{K}{2}; R_i = \frac{K}{2}) \quad (8)$$

где  $R_i$  – количество элементов в  $i$ -й ( $i = 1, 2$ ) группе МФСП.

Для МФСП класса  $L^M$  нагрузочная способность по выходам  $P_Q$  определяется по формуле:

$$P_Q = n_3 - 1 \quad (9)$$

и не зависит от параметров  $P_Q$ , используемых элементов.

• **Число внутренних связей ( $S_{св}$ )**

Параметр  $S_{св}$  характеризует общее число связей между элементами, которые необходимо организовать в схеме памяти для ее функционирования. Параметр  $S_{св}$  для однофазных многостабильных схем памяти определяется так:

$$S_{св} = n(n-1) \quad (10)$$

где  $n$  – число элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ), которые используются в схеме памяти.

Параметр  $S_{св}$  для МФСП класса  $L$  вычисляется по формуле:

$$S_{св} = mR_i(n - R_i), \quad (11)$$

где  $n$  – количество элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ), используемых в МФСП;

$m$  ( $m < n$ ) – количество групп таких элементов в МФСП;

$R_i$  – количество элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ) в  $i$ -й группе МФСП.

Для МФСП класса  $L^M$  параметр  $S_{внут.с}$  вычисляется по формуле:

$$S_{внут.с} = n + mR_i(m - 1), \quad (12)$$

где обозначения те же, что и в классе  $L$ .

• **Число внешних связей ( $S_{bc}$ )**

Параметр  $S_{bc}$  характеризует общее число внешних выходов, которые необходимо организовать в схеме памяти для ее дальнейшего корректного функционирования. Для однофазной многостабильной схемы памяти параметр  $S_{bc}$  определяется так:

$$S_{bc} = 2n, \quad (13)$$

где  $n$  – число элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ), которые используются в схеме памяти.

Для МФСП различных классов при одном и том же значении  $M$  (количества запоминающих состояний)

$$S_{bc} < 2n. \quad (14)$$

• **Число элементов на одно состояние ( $L$ )**

Параметр  $L$  относится к важным характеристикам схем памяти, так как позволяет оценивать потребляемую мощность и в некоторой степени аппаратные затраты на организацию памяти. Для асинхронного одноуровневого  $RS$ -триггера и всех однофазных многостабильных триггеров значение параметра  $L$  равно единице, поскольку  $M = n$  [12].

Для МФСП класса  $L$  имеем:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{\sum_{i=1}^m (2^{R_i} - 1)}, \quad (15)$$

а для МФСП класса  $L^M$ :

$$L = \frac{m + \sum_{i=1}^m R_i}{\sum_{i=1}^m (2^{R_i} - 1)}. \quad (16)$$

• **Максимальное число альтернативных отображений ( $r_e$ ).**

Число запоминаемых состояний  $M$  можно рассматривать как энтропию, которая служит мерой свободы системы: чем больше энтропия, тем больше состояний доступно системе, тем больше у неё степеней свободы [22].

Многостабильные схемы памяти [12] функционируют только в одном блоке своих состояний, запоминающиеся под влиянием только одного набора сохраняющего  $e_0(\Delta)$  входного сигнала, что определяет нулевую степень свободы.

МФСП функционируют в разных блоках  $\pi_j$  своих состояний, которые запоминаются под влиянием соответствующих наборов сохраняющих  $e_i(\Delta)$  входных сигналов. Благодаря этому расширяются возможности монофункциональных схем памяти, что определяет  $r_e$  степеней свободы. При этом удастся реализовать

альтернативные отображения  $\{X\} \xrightarrow{e_j} \{a\}$  при различных сохраняющих входных сигналах  $e_j(\Delta)$  в самой схеме памяти без соответствующих коммутаций входных и выходных сигналов.

*Таблиця 5. Сравнение параметров асинхронных схем памяти [4]*

Параметр	Многостабильная схема памяти	МФСП класса L	МФСП класса $L^m$	Преимущество класса МФСП
$M_{max}$	8	30	90	$L^M$
$P_q$	3	6	9	$L^M$
$S_{cb}$	756	18	12	$L^M$
$L$	1	0,2	0,3	L
$r_e$	1	>3	>3	$L^u L^M$

Многофункциональные схемы памяти обладают преимуществом перед двоичной схемой памяти RS-триггера и МСП. МФСП уменьшают аппаратные затраты на одно запоминаемое состояние; увеличивают функциональные возможности, осуществляя перестройку структуры запоминания состояний за один машинный такт  $T$ .

**Повышение надежности много-функциональных схем памяти [4].** МФСП обладают повышенной надежностью и живучестью, что очень важно для использования их при построении компьютерных систем для ответственных и важных объектов, как: атомные станции, воздушный и железнодорожный транспорт, космонавтика, что немало важно для безопасности любой страны.

1. При увеличении числа элементов в группах, величина средней наработки на отказ растет, что указывает на увеличение надежности МФСП как схемы памяти по сравнению с многостабильными и двоичными схемами памяти.

2. При увеличении числа групп с одинаковым числом элементов, величина средней наработки на отказ падает, что указывает на наиболее предпочтительное в смысле повышения надежности использование МФСП с двумя группами с  $R_i > 1$  элементов в каждой из них.

3. При выходе из строя логического элемента в группе, выходной сигнал которого не является активным, МФСП способно работать как схема памяти, но с ограниченными возможностями, что отражает ее живучесть как память.

**Многоуровневые схемы памяти [4; 10–21].** МФСП являются открытой структурой, имеющую возможность перестраивать структуру запоминания состояний, а, следовательно, и менять направление активной выходной информации по определенным выходным узлам. Кроме этого, МФСП имеет два набора входных сигналов: устанавливающие и сохраняющие. Эти два набора входных сигналов во времени не пересекаются. Для использования сохраняющих входных сигналов необходима их генерация из дополнительного источника. Таким дополнительным источником входных сигналов могут быть выходные сигналы другой схемы памяти. При этом такая объединенная схема памяти становится иерархической. Энтропия такой иерархической схемы памяти естественно возрастает.

При создании многоуровневой схемы памяти естественно существуют ее уровни. Максимальное число уровней при создании полузакрытой схемы памяти ограничивается последним (нижним) уровнем, который сохраняет свои состоя-

ния только при одном сохраняющем состоянии, как триггер или многостабильная схема памяти. Если нижний уровень иерархической схемы памяти имеет возможность использовать несколько наборов сохраняющих входных сигналов ( $r_e > 1$ ), то такая структура памяти является открытой.

Многофункциональная (МФСП) и многоуровневая (МУСП) схемы памяти названы *схемами автоматной памяти*, т.к. в основе их лежит матричная структура запоминания состояний.

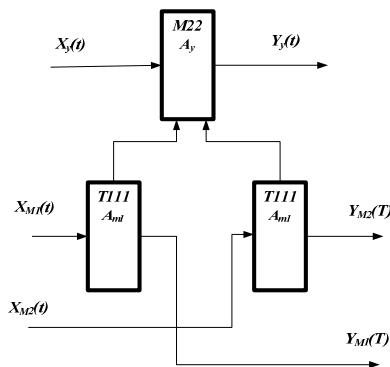
МУСП с многофункциональной системой организации определяет такую структуру, в которой многофункциональный режим работы одного устройства определяется другим устройством, так называемым *автоматом стратегии*  $A_M$ . Автомат стратегии  $A_M$  в МУСП может быть моно- и многофункциональным устройством памяти. В зависимости от возможностей автомата стратегии  $A_M$  МУСП с многофункциональной системой организации можно определить как открытую, полуоткрытую или закрытую структуру.

**Принцип структурной организации элементарных многоуровневых схем памяти [4].** Заключается в их разбиении на управляющие  $A_M$  и управляемые  $A_y$  многофункциональные схемы памяти, соединенные между собой соответствующим образом. Многоуровневые схемы памяти класса  $L_N$ , с общим автоматом стратегии  $A_M$ , и класса  $L_N^B$ , с автоматами стратегии  $A_M$  для каждой группы, рассматриваются в автоматном непрерывном времени. В МФСП входной сигнал  $e_i(\Delta)$  сохраняет определенные подмножества  $\pi_j$  состояний, которые позволяют создать новые функции переходов, что расширяет функциональные возможности МУСП, использующих в своей структуре МФСП. Одноступенчатые МУСП используют несколько соединенных по вертикали МФСП, которые можно синхронизировать одним сигналом. о

**Символьный язык описания МУСП [4].** Символьное описание структуры МУСП класса  $L_N^B$  представлено в следующем порядке:

- 1)  $(K-1)b$  – отражает  $K$ -уровень структуры МУСП
- 2)  $A_{k-1}, A_{k-2}, A_0$  – отражает цифровое описание каждой структуры МФСП, начиная с верхнего уровня МУСП. При использовании МУСП может использоваться одна цифра, которая указывает число логических элементов;
- 3)  $\tau_i$  ( $i = 0, 1, 2$ ) – отражает первую (или вторую) ступень МУСП, которая синхронизируется сигналом  $\tau_1$  (или  $\tau_2$ ) или асинхронную МУСП – символом  $\emptyset$ ;
- 4)  $Rc$  ( $R = 1, 2$ ) – отражает одно – или двухступенчатые структуры МУСП. Рассмотрим символьное описание асинхронной схемы памяти МУСП, которая имеет на верхнем уровне МФСП ( $M22$ ), а на нижнем уровне для каждой группы  $M22$  трюхзначные триггеры  $T111$  (или  $MCP3$ ) и описывается такой записью:

$1b, 22, 111, 111, \emptyset, 1c$

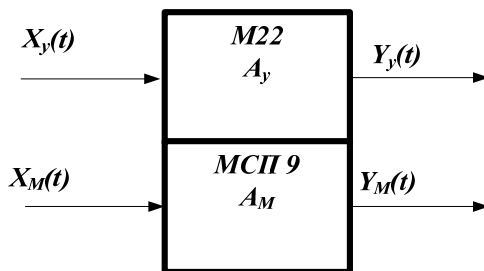


*Рис. 9. Условное обозначение асинхронной двухступенчатой схемы памяти класса  $L_N^B$*

В символьном описании структура МУСП класса  $L_N$  изображается в следующем порядке:

1. (K-1)у или (K-1)в – отображает K-уровневые структуры МУСП;
2. Ak-1, Ak-2, ..., A0 – отражает символьное описание каждой структуры МФСП, начиная с верхнего уровня МУСП;
3.  $\tau_i$  ( $i=0, 1, 2$ ) – отражает первую (или вторую) ступень синхронизирующей МУСП сигналом  $\tau_1$  (или  $\tau_2$ ) или асинхронную МУСП – символом  $\emptyset$ ;
4. Rc ( $R=1, 2$ ) – отражает одно- или двухступенчатые структуры МУСП.

Условное обозначение МУСП класса  $L_N$  можно представить в одном прямоугольнике, разделенном на две части: МФСП и автомат стратегии (АС), в который входят соответствующие входные сигналы  $x(t)$ .



*Рис. 10. Условное обозначение МУСП класса  $L_N$*

**Определение количества состояний МУСП**

$$M = m_k r_e, \tag{17}$$

где  $m_k$  – количество разрядов в символьном описании МФСП, которая управляется;  
 $r_e$  – количество наборов сохраняющих  $e_j(\Delta)$  входных сигналов в МФСП, которая управляется.

Количество состояний МУСП, которые запоминаются, также можно определить по количеству  $m_k$  разрядов в символьном описании каждой МФСП.

$$M = \prod_{i=1}^K m_i, \tag{18}$$

где  $m_i$  ( $i=1, 2, \dots, K$ ) – количество разрядов в символьном описании  $i$ -й МФСП всего МУСП;

$M$  – количество состояний МУСП, которые запоминаются.

**Соблюдение соотношения [4].**

При создании символьного описания автомата стратегии (нижних МФСП) необходимо соблюдение следующего соотношения:

$$r_e \leq M, \quad (19)$$

где  $r_e$  – количество наборов сохраняющих  $e_j(\Delta)$  входных сигналов МФСП верхнего уровня МУСП;

$M$  – количество состояний МФСП нижних уровней МУСП, которые запоминаются.

**Учет ограничений логических элементов при синтезе МУСП [4].**

Для синтеза по символьному описанию МУСП необходимо проверить сначала допустимость синтеза МФСП, который входит в состав МУСП, с учетом ограничений логических элементов, а затем выполнить проектирование МФСП с соответствующим символьным описанием.

Учитывая связи между уровнями МФСП в МУСП, следует добиться, чтобы нагрузочные способности  $P_i$  нижних МФСП удовлетворяли такому соотношению:

$$P_i \geq \sum_{i=2}^m R_i + K, \quad (20)$$

где  $R_i$  – значение цифр (кроме одной минимальной цифры) в символьном описании нижних МФСП;

$K$  – количество уровней МУСП.

Количество допустимых входных узлов логических элементов верхних МФСП  $K_b$  должно удовлетворять такое соотношение:

$$K_b \geq \sum_{i=2}^m R_i + K, \quad (21)$$

Суть синтеза МУСП на МФСП заключается в нахождении связей между выходными узлами нижних МФСП и входными узлами верхних МФСП.

**Преимущества МУСП [4].**

*По аппаратным характеристикам* МУСП по сравнению с многостабильными триггерами используют:

- меньше логических элементов на одно запоминаемое состояние не менее, чем на 40% (вместо 1 логического элемента 0,56 элементов);
- меньше внутренних связей в 20 раз (вместо 306 связей использует 14 внутренних связей).

*По функциональным характеристикам* МУСП по сравнению с многостабильными триггерами используют следующие возможности:

- МУСП является перестраиваемой структурой, а триггеры нет;

– МУСП спосбно при трехсту-пеновой структуре использовать детерминированные переходы – однозначные и укрупненные, а также вероятностные и нечеткие переходы, что повышает «машинный» интеллект компьютера, а триггеры – только один однозначный переход;

– МУСП способна воспринимать иерархическую информацию для запоминания за один машинный такт  $T$ , что триггеры принципиально осуществить не в состоянии.

**В детерминированном режиме** МУСП реализуют элементарные  $p_0(T)$  и  $p_y(T)$  входные слова. Анализируя элементарные  $p_0(T)$  и  $p_y(T)$  входные слова, приходим к следующим

Использование таких детерминированных элементарных  $p_0(T)$  и  $p_y(T)$  входных слов расширяет функциональные возможности триггеров. Это позволяет осуществлению переходов в течение одного машинного такта  $T$  по двум  $x_i(t)$  и  $e_j(\Delta)$  входными сигналами, что в принципе невозможно осуществить в триггерах.

Применение различных наборов сохраняющих  $e_j(\Delta)$  входных сигналов позволяет в одном машинном такте  $T$  менять структуру запоминающих состояний в МФСП, что очень важно при ускорении перестройки алгоритмов обработки информации.

При реализации автомата стратегии  $A_M$  на структурах многостабильных схемах памяти (МСП) [17] достаточно знать нужное количество  $r_e$  наборов сохраняющих  $e_j(\Delta)$  входных сигналов для управляемой МФСП  $A_y$  [64], чтобы применить  $r_e$  состояния в МСП, используемой в качестве автомата стратегии  $A_M$ .

Количество связей между управляемой МФСП  $A_y$  и автоматом стратегии  $A_M$  определяется по формуле:

$$r_c = \prod_{i=2}^m (2^{R_i} - 1) - 1 = r_e - 1, \quad (22)$$

где  $i$  –  $i$ -я группа БА;

$m$  – количество групп БА <sub>$j$</sub>  в управляемой МФСП  $A_y$ ;

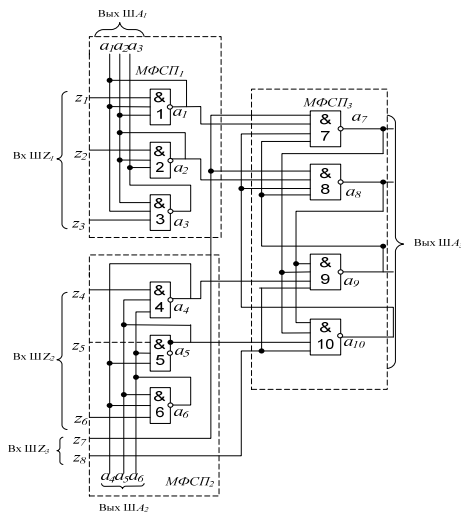
$R_i$  – количество БА <sub>$j$</sub>  в  $i$ -й группе управляемой МФСП;

$r_e$  – количество наборов сохраняющих  $e_j(\Delta)$  входных сигналов в МФСП  $A_y$ .

**Двухуровневая схема памяти МУСП класса  $L_N^B$  [4].**

Общее количество  $M$  запоминающих состояний многоуровневой схемы памяти вычисляется по формуле:

$$M = \prod_{i=1}^J m_i. \quad (23)$$



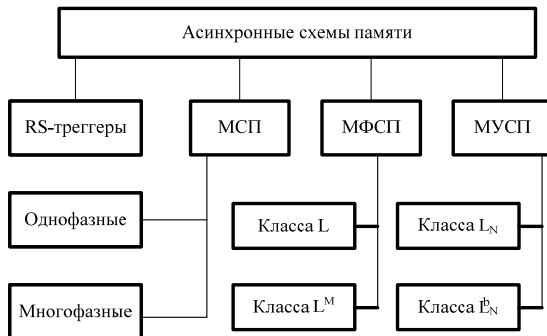
*Рис. 11. Двухуровневая схема памяти класса  $L_N$  [4]*

Общее количество  $S_{св.}$  внешних связей определяется соотношением:

$$S_{св.} < 2n. \quad (24)$$

Общее количество  $S_{вс.}$  внутренних связей между элементами определяется соотношением:

$$S_{вс.} < n \times (n-1). \quad (25)$$



*Рис. 12. Классификация схем памяти [4]*

**Сравнение параметров схем памяти, запоминающих 18 состояний [4]**

Параметры	Однофазная МСП	МУСП
$n_q$	1	10
$S_{св.}$	306	24
$S_{вс.}$	36	18
$L$	1	0,56

**Выводы и предложения.** В статье авторы указали описание и значение таких понятий как МФСП и МУСП, а также показали их отличия и преимущества от классического построения вычислительной техники, которая использует в качестве памяти двоичные триггеры. Также в статье был приведен список терминов и понятий в области построения, анализа и синтеза многофункциональных и многоуровневых схем памяти, а также предложен новый, простой и компактный способ их записи.

Это позволит значительно ускорить дальнейшую работу в этой области, а также упростит изучение данного нового направления в области компьютерной техники для студентов, аспирантов и специалистов, а также для людей изучающих схемотехнику в понимании синтеза и анализа МФСП и МУСП, что поможет им в изучении данной тематики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Толковый словарь русского языка для учащихся школ / В.Г. и др. – Л.: Просвещение, 1982. – 384 с.
2. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
3. Глушков В.М. Теория алгоритмов. – К.: КВИРТУ, 1961. – 167 с.
4. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л. Основы новой информационной технологии: монография. – Saarbrücken, Germany, i.melnic@lap-publishing.ru / www.lap-publishing.ru. – 2013. – 369 с.
5. Мараховский Л.Ф. Основы теории проектирования дискретных устройств. Логическое проектирование дискретных устройств на схемах автоматной памяти: монография. – К.: КГСУ, 1996. – 128 с.
6. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л. Математические основы многофункциональных автоматов 1-го и 2-го рода и автоматов 3-го рода // «Академия Тринитаризма», М., Эл№77-6567, пул.14296. 17.03.07. – 36 с.
7. Словарь литературоведческих терминов. Словарь А-Я.
8. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. Парадигма (философия)
9. Промоненков В.К., Парадигма информации // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.20589, 16.05.2015.– 17 с.
10. Стахова А.П. The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science.–Canada, World Scientic, 2010. –600 p.
11. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
12. Справочник по цифровой вычислительной технике: (процессоры и память) / Б.Н.Малиновский, Е.И.Брюхович, Е.Л.Денисенко и др. / Под ред. Б.Н.Малиновского. – К.: «Техніка», 1979. – 366 с.
13. Мищенко В.А., Козюминский В.Д., Семашко А.Н. Многофункциональные автоматы и элементная база ЭВМ / Под ред. В.А. Мищенко. – М.: Радио и связь, 1982. – 249 с.
14. Marachovsky L.F. Basic Concepts to Build the Next Generation of Reconfigurable Computing Systems. International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2. – URL: www.science-sd.com/455-24170 (20.11.2013). 6 p.
15. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л. Структурный автомат. – Патент. – Зарегистровано в Государственному реестрі патентів України на корисні моделі № 25816 від 27 серпня 2007 р. – (51) МПК (2006) G06F 1/00 – Бюл. 13. – 12 с.
16. Палагин А.В. Реконфигурируемые вычислительные системы: Основы и приложения / А.В. Палагин, В.Н. Опанансенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.

*Leonid F. Marahovskij, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Professor Automation and Computer-Integrated Technology of Transport  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

*Vadim V. Moskvin*

*(postgraduate of Automation and Computer-Integrated Technology of Transport  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

*Oleksiy V. Rezydent*

*(postgraduate of Automation and Computer-Integrated Technology of Transport  
Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

## THE EXPLANATORY DICTIONARY IN THE NEW DIRECTION IN THE FIELD OF THE THEORY OF CONSTRUCTION OF ELEMENTARY SCHEMES OF MEMORY

*The second part of the dictionary gives a brief interpretation of the values in the theory of the construction of the elementary concepts of memory circuits of terms and words that are supported by citations from the scientific literature on new scientific direction. Terms and concepts discussed in: the theory of synthesis and analysis of the automaton circuit (multi-functional and multi-level) memory. The paper suggests new approaches to the analysis of the memory circuits in the form of groups, shows the main advantages and differences of open multi-functional memory circuits (MFMC) and the semi-enclosed multi-level memory circuits (MLMC) in front of the closed structures of the classical binary triggers. Mathematical formulas structural solutions of memory circuits were shown, new universal alphanumeric description languages structures of memory circuits for symbolic notation MFMC and MLMC were offered. Disclosed different principles and methods of the structural organization of MFMC and MLMC.*

*Keywords: theory of synthesis and analysis of memory circuits, memory circuits multifunctional, multi-level memory circuit, the theory of multi-level memory circuit.*

## REFERENCES

1. Tolkovyy slovar' russkogo jazyka dlja uchashhihsja shkol [Explanatory Dictionary of the Russian Language: A Handbook for pupils]/ v.g. and etc. – l.: prosveshhenie, 1982. –384 p.
2. Glushkov V.M. Sintez cifrovyh avtomatov.[ Synthesis of Digital Automata] – M.: Fizmatgiz, 1962. – 476 p.
3. Glushkov V.M. Teorija algoritmov [The theory of algorithms]. –K.: KVIRTU, 1961. – 167 p.
4. Marahovskij L.F., Mihno N.L. Osnovy novej informacionnoj tehnologii: monografija. – Saarbrcken, Germany, i.melnic@lap-publishing.ru / www.lap-publishing.ru. [Fundamentals of new information technology. Fundamental principles of design of reconfigurable devices, computer systems and artificial neuron: a monograph] – 2013.– 369 p.
5. Marahovskij L.F. Osnovy teorii proektirovanija diskretnyh ustrojstv. Logicheskoe proektirovanie diskretnyh ustrojstv na shemah avtomatnoj pamjati: monografija. [Basic theory of designing discrete devices. The logical design of discrete devices on the machine-memory schemas: monograph.] – K.: KGEU, 1996. –128 p.
6. Marahovskij L.F., Mihno N.L. Matematicheskie osnovy mnogofunkcional'nyh avtomatov 1-go i 2-go roda i avtomatov 3-go roda // «Akademija Trinitarizma», [Mathematical Foundations of multifunctional machines of the 1st and 2nd kind and machines of the 3rd kind] // «Academy of trinitarizm» M., Jel№77-6567, pul.14296. 17.03.07. – 36 p.
7. Slovar' literaturovedcheskih terminov. Slovar' A-Я [Dictionary of literary terms. Dictionary A-Я]

8. Wikipedia, the free encyclopedia . Paradigm (philosophy )
9. Promonenkov V.K., Paradigma informacii // «Akademija Trinitarizma», [The paradigm of information] //»Academy of trinitarizm» М., Jel № 77-6567, publ.20589, 16.05.2015.– 17 p.
10. Stahova A.P. The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science.–Canada, World Scientific, 2010. –600 p.
11. Zade L.A. Ponjatje lingvisticheskoj peremenoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij [The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions]: translation from English.. – М.: Mir, 1976. – 165 p.
12. Spravochnik po cifrovoj vychislitel'noj tehnike: (processory i pamjat') [Guide to digital computing (processors and memory)] / B.N.Malinovskij, E.I.Brjuhovich, E.L.Denisenko i dr. / Under the editors.: B.N.Malinovskiy. – К.: «Техніка», 1979. – 366 p.
13. Mishhenko V.A., Kozjuminskij V.D., Semashko A.N. Mnogofunktional'nye avtomaty i jelementnaja baza EVM [Multifunction machines and cell computer database]/ Under the editors. V.A. Mishhenko. – М.: Radio i svjaz', 1982. – 249 p.
14. Marachovsky L.F. Basic Concepts to Build the Next Generation of Reconfigurable Computing System. International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2 – URL: [www.science-sd.com/455-24170](http://www.science-sd.com/455-24170) (20.11.2013). 6 p.
15. Marahovskij L.F., Mihno N.L. Strukturnij avtomat.[ The structural automatic machine] – Patent. – registered in the Ukrainian State Register of patents for utility models № 25816 27 27 of August, 2007. – (51) МПК (2006) G06F 1/00 – Бюл. 13.– 12 с.
16. Palagin A.V. Rekonfiguriruemye vychislitel'nye sistemy: Osnovy i prilozhenija [Reconfigurable computing: Fundamentals and applications]/ A.V. Palagin, V.N. Opanansenko. – К.: Prosvita, 2006. – 280 p.

УДК 656.25

*О. В. Розсоха, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Залізничні станції та вузли» Українського державного університету залізничного транспорту)*

*Ю. В. Смачило*

*(аспірант кафедри «Залізничні станції та вузли» Українського державного університету залізничного транспорту)*

### **АНАЛІЗ І ОСОБЛИВОСТІ ІСНУЮЧИХ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ РУХУ**

*Проаналізовані існуючі наукові підходи щодо визначення рівня безпеки руху на залізницях країн Європейського Союзу, Росії та України. Розглянуто набір методів оцінки ризиків, які зазнали практичного використання на залізницях за кордоном. У висновку наведені переваги розробки комплексного підходу в оцінці безпеки руху для українських залізниць.*

*Ключові слова: безпека руху поїздів, принципи безпеки руху, методи оцінки ризику.*

*Проанализированы существующие научные подходы в определении уровня безопасности движения на железных дорогах стран Европейского Союза, России и Украины. Рассмотрен набор методов оценки рисков, которые используются на практике на железных дорогах за рубежом. В заключении приведены преимущества разработки комплексного подхода в оценке безопасности движения для украинских железных дорог.*

*Ключевые слова: безопасность движения поездов, принципы безопасности движения, методы оценки риска.*

**Постановка проблеми.** Безперерійна діяльність залізничного транспорту неможлива без дотримання одного з найбільш важливих показників – рівня безпеки руху.

Відповідно до Наказу Міністерства інфраструктури України від 01.04.2011 р. № 27, безпека руху – стан захищеності руху залізничного рухомого складу, який характеризується відсутністю граничного ризику виникнення транспортних подій і їх наслідків, які можуть заподіяти шкоду життю та здоров'ю громадян, навколишньому середовищу, майну фізичних або юридичних осіб [1].

© Розсоха О. В., Смачило Ю. В., 2016

Згідно з Транспортною стратегією України на період до 2020 року, затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-Р [2], підвищення рівня безпеки на залізничному транспорті є актуальним напрямом щодо здійснення комплексу заходів, спрямованих на забезпечення безпеки перевізного процесу, енерго- та ресурсозбереження.

Через відсутність на залізницях України комплексного підходу в оцінці рівня безпеки руху немає можливості в досить повному обсязі отримати дані про рівень фактичної, або прогнозованої безпеки руху поїздів, оцінити її стан на окремому полігоні залізниць.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглядом питань, пов'язаних з безпекою руху на залізничному транспорті та розвитком теорії розрахунку показників надійності роботи залізничного транспорту, займалися такі вчені, як: Т. В. Бутько, В. Я. Болотний, Бертольд Грау, П. С. Грунтов, І. В. Жуковицький, Г. І. Загарій, О. М. Замишляев, В. А. Кобзев, Ф. П. Кочнев, В. М. Лисенков, М. К. Модін, В. Я. Негрей, В. М. Образцов, О. М. Огар, Ю. О. Пазойський, М. В. Правдін, В. М. Самсонкін, В. В. Сапожников, І. Б. Сотніков, М. Я. Стефанов, І. І. Страковський, М. Г. Шабалін та ін. [3].

Дослідження вказаних учених були сконцентровані навколо отримання даних про рівень безпеки руху на залізничному транспорті за окремою групою показників і увага питанню, пов'язаному з розробкою комплексного підходу в оцінці безпеки руху, приділялась не в повній мірі.

**Метою даних досліджень** є визначення способів підвищення якості перевізного процесу при вдосконаленні системи управління безпекою руху поїздів. На первинному етапі розробки відповідних заходів необхідно проаналізувати та встановити особливості існуючих наукових підходів щодо визначення рівня безпеки руху поїздів на вітчизняних та закордонних залізницях.

**Виклад основного матеріалу.** Діяльність залізничного транспорту безпосередньо пов'язана з ризиком, який у свою чергу потребує оцінки для контролю стану безпеки руху поїздів.

Наявність значень ризику тільки у цифровому уявленні не дає повноти його подальшого застосування у роботі систем без відповідних принципів забезпечення безпеки. В даний момент існують принципи забезпечення безпеки руху поїздів, які наведено нижче.

*Принцип ALARP (As Low As Reasonably Practicable)* почала перша використовувати Великобританія. Суть принципу: ризик повинен бути настільки низький, настільки це можливо. Не обов'язково повністю усувати ризик, досить знизити його до допустимого рівня, коли він перестає нести певну загрозу. Цей принцип застосовується і на залізницях Росії.

Цей принцип дозволяє розділити ризик на три рівні:

- рівень, вище якого негативний ризик неприпустимий і не повинен бути прийнятний, інакше як у виняткових обставинах;
- рівень, нижче якого ризик незначний і необхідно лише проводити огляд для підтримки низького ризику;
- центральна зона, де ризик слід утримувати настільки низьким, наскільки це реально можливо.

*Принцип мінімальної ендегенної смертності MEM (Minimum Endogenous Mortality)* використовується на території Німеччини. Суть принципу: загроза, яка пов'язана з новою системою, не повинна перевищувати цифру мінімальної

ендогенної смертності для індивідуума. Відповідно до цього принципу, смерть настає по різним причинам, серед яких є група «технологічних факторів», до яких відносяться: транспорт, робочі механізми, розваги та спорт, самостійні заняття, але смерть від хвороб, або вроджених вад до цієї групи не відноситься. На цю групу припадає деякий процент смертей на рік, величина якого залежить від віку населення, яке розглядається. Цей ризик називається «ендогенною смертністю» ( $R$ ). У розвинених країнах  $R$  є найменшим у віковій категорії від 5 до 15 років і називається «мінімальною ендogenous смертністю» ( $R_m$ ). Іншими словами, вірогідність загибелі людини від впливу залізничного транспорту не повинна перевищувати вірогідність загибелі людини (у віці 5-15 років) в силу природних причин. З урахуванням мінімальної ендogenous смертності, ймовірність загибелі людини від дії залізничного транспорту на протязі року становить  $10^{-5}$ .

*Принцип GAMAB (Globalement Au Moins Aussi Bon)* діє у Франції. Суть принципу: всі нові керовані транспортні системи повинні в цілому мати ступінь ризику, принаймні, такий же, що і рівнозначна існуюча система. Цей принцип вимагає, щоб будь-яка нова система була як мінімум не гірша від системи, яку вона замінює, або будь-якій еквівалентній системі, яка існує. Принцип гарантує, що встановлення нових систем не буде йти в зворотному напрямку з точки зору абсолютної безпеки. Однак, в ситуації, коли суспільні норми і очікування постійно розвиваються, даний принцип не є гарантією того, що безпека системи буде покращена.

Набір методів оцінки ризику у цих країнах при застосуванні принципів ALARP, MEM та GAMAB також буде індивідуальним та інтегрованим для відповідної ситуації на залізниці.

Стосовно визначення ризику слід детально зупинитись.

Оцінка ризику є частиною менеджменту ризику і є структурованим процесом, в рамках якого ідентифікують способи досягнення поставлених цілей, а також проводять аналіз наслідків, ймовірності виникнення небезпечних подій для прийняття відповідних рішень.

Існуючі Міжнародні Стандарти ISO/IEC 31010:2009 «Менеджмент Ризику – Методи оцінки ризику», які були розроблені Міжнародною Електротехнічною Комісією, містять рекомендації з вибору й застосування методів оцінки ризику, які в даний момент знайшли практичне застосування у країнах ЄС [4].

Даний стандарт містить 31 метод оцінки ризиків, які можуть класифікуватися за різними ознаками.

Одним з декількох найбільш ймовірних факторів, що впливають на вибір методу оцінки ризику в залізничній галузі, на наш погляд, є можливість отримання кількісних даних на виході (табл. 1).

Європейське залізничне агентство разом з Європейською комісією проводять широку програму для відкритого і конкурентоспроможного ринку залізничних перевезень і прагнуть при цьому покращити рівень безпеки. Реалізація Постанови Європейського Союзу (ЄС) 402/2013 (Імплементативний Регламент Європейської Комісії про загальний метод безпеки для виявлення та оцінки ризиків (CSM RA) і відміну Регламенту ЄС 352/2009) та відповідного до цього документа [5] (Загальна безпека. Метод оцінки ризику та експертиза) надає змогу гармонізувати процеси оцінки ризиків серед країн-членів ЄС. Процеси, що проводять-

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

ся в одній державі ЄС, отримують взаємного визнання у інших країнах європейського простору.

*Таблиця 1. Методи оцінки ризиків з можливістю отримання кількісних даних на виході*

Но- мер	Назва методу оцінки	Значущість факторів, які впливають		
		Ресурси та можливості	Невизначе- ність	Склад- ність
1	Аналіз дерева несправностей	Високі	Висока	Середня
2	Аналіз дерева подій	Середні	Середня	Середня
3	Аналіз причин та наслідків	Високі	Середня	Висока
4	Аналіз видів і наслідків від- мов(FMEA) і аналіз критичності видів і наслідків відмов(FMECA)	Середні	Середня	Середня
5	Аналіз «краватка-метелик»	Середні	Висока	Середня
6	Аналіз рівнів захисту (LOPA)	Середні	Середня	Середня
7	Аналіз впливу людського фактора (HRA)	Середні	Середня	Середня
8	Оцінка токсикологічного ризику	Високі	Висока	Середня
9	Технічне обслуговування, яке на- правлене на забезпечення безпеки	Середні	Середня	Середня
10	Марківський аналіз	Високі	Низька	Висока
11	Моделювання методом Монте- Карло	Високі	Низька	Висока
12	Байссівський аналіз	Високі	Низька	Висока
13	Аналіз ефективності витрат	Середні	Середня	Середня

Процес управління ризиками у ЄС не встановлює конкретних інструментів або методів, які будуть використані. Концепцію CSM RA на залізницях застосовують при будь-яких технічних, експлуатаційних або організаційних змінах залізничної системи. Якщо дані зміни впливають на безпеку, автор пропозиції приймає рішення, чи є дані зміни значущими, використовуючи при цьому відповідні критерії. У випадку, коли зміни відносяться до значущих, автор пропозиції повинен задіяти процес управління ризиками CSM RA.

Цей процес управління ризиками базується на аналізі та оцінці небезпек, використовуючи один чи декілька нижче приведених принципів прийняття ризику:

- застосування кодексів практики;
- порівняння з аналогічними системами (системи відліку);
- явна кількісна оцінка ризику.

Залізниці ЄС на етапі ідентифікації небезпек використовують загально визнані відомі методи оцінки ризиків [4]:

- аналіз видів і наслідків відмов(FMEA);
- аналіз дерева несправностей (FTA);
- аналіз дерева подій (ETA);
- дослідження небезпек і працездатності (HAZOP);
- ідентифікація небезпеки дослідження (HAZID);
- контрольні аркуші;
- структуровані групові інтерв'ю.

Слід зазначити, який би метод не використовувався, важливо мати правильне поєднання досвіду і компетенції, підтримувати неупередженість і об'єктивність. Правильна ідентифікація всіх небезпек лежить в основі всього процесу управління ризиками і дає впевненість в тому, що ризиками можна управляти під час процесу.

В Росії у 2009 році у ВАТ «РЖД» Розпорядженням № 562 р. було затверджено Методичні рекомендації щодо застосування у ВАТ «РЖД» системи гармонізованих показників для оцінки безпеки руху поїздів та системи організації діяльності по обліку та використанню цих показників [6].

У зазначеній методиці основна увага була приділена визначенню показника допустимого ризику. Допустимий ризик оцінюється ступенем його відповідності показникам, які характеризують частоту виявлених подій за звітний період (виражений відносним числом подій у розрахунку на 1млн. поїздо-км) і розраховується за формулою

$$P_R = \frac{C_N}{\Pi_N \cdot R_N}, \quad (1)$$

де  $C_N$  – число транспортних подій чи всіх інших видів подій в цілому за звітний рік  $N$ ;

$\Pi_N$  – загальне число поїздо-км у звітний рік  $N$ , поїздо-км;

$R_N$  – значення цільових показників безпеки руху поїздів за звітний рік.

У роботі [7] автором з ціллю визначення об'єктивності даної формули проведено розрахунки показника допустимого ризику для трьох змодельованих ситуацій. У першому випадку число поїздо-км ( $\Pi_N$ ) залишалось сталим у розглянутому періоді, у другому випадку число поїздо-км ( $\Pi_N$ ) зростало із року в рік, у третьому випадку – зменшувалось. Число транспортних подій чи всіх інших видів подій ( $C_N$ ) було взято зі статистичних даних, а цільовий показник ( $R_N$ ) відповідно до Функціональної стратегії № 562р був прийнятий рівним 2,58 [6].

Після проведення розрахунків у всіх трьох випадках показник допустимого ризику знижався із року в рік, тому формула розрахунку допустимого ризику не дає достовірних підсумків про безпеку перевізного процесу і не може використовуватися на практиці. Оскільки дана методологія не дає можливість розробити попереджувальні та коригувальні заходи щодо поліпшення стану безпеки руху, використання її стає дуже проблематичним.

*У тому ж 2009 році у ВАТ «РЖД» було розроблено Методику визначення рівня безпеки руху на основі статистичного аналізу та індексів оцінки ситуації для локомотивного господарства, колійного та господарства перевезень.*

Основна увага в даній методиці приділяється обробці та аналізу архіву статистичної інформації про транспортні події, що відбулися, а також факторам, які стали передумовами виникнення транспортних подій у минулі роки з вини робітників господарств. Методика ставить перед собою задачу визначити, в якій мірі той чи інший фактор передумав виникненню транспортної події, а також розрахувати рівень впливу цього фактору, який міг спричинити транспорту подію.

В разі, якщо статистичний матеріал є в наявності в повному обсязі, дана методологія є проблематичною у використанні через відсутність чітко прописаної процедури встановлення рейтингів для виділення факторів, а також відсутності прописаного алгоритму проведення розрахунків і неможливості організувати практичну роботу по попередженню виникнення транспортних подій.

Дана методика є незручною у практичному її використанні. У факторних аналізах не визначені вагові норми сформованих таблиць факторів, не виконані розрахунки по визначенню максимально допустимого рівня впливу, для кожного виду події або події на основі обробки статистичних даних, не проведено розрахунки щодо визначення індексу оцінки ситуації.

У 2009 році у ВАТ «РЖД» була розроблена методика оцінки показників процесів, які впливають на безпеку руху, на основі оцінки ризиків [8].

У зазначеній методиці окрім абсолютних статистичних показників (загальної кількості катастроф, аварій, транспортних подій і відмов транспортних засобів, а також кількості порушень і відмов технічних засобів по одному, або декільком показникам) та відносних показників (відношення абсолютних статистичних показників до базисного показника) може застосовуватися комплексний показник безпеки руху.

Комплексний показник безпеки руху, це показник безпеки руху, який визначається на основі комплексної оцінки ризику для безпеки руху в обраному процесі представляє собою середньозважений відносний статистичний показник кількості особливих подій. Події повинні бути класифіковані по значущості наслідків. Для цього виділена така класифікація:

- перший рівень (статистика катастроф, аварій, транспортних подій);
- другий рівень (статистика подій);
- третій рівень (статистика відмов технічних засобів).

Розрахунок комплексного показника безпеки руху проводиться за формулою

$$КП = \frac{\sum БП_j}{3}, \quad (2)$$

де  $КП$  – комплексний показник безпеки руху, який демонструє рівень безпеки руху процесу, який розглядається;

$j$  – порядковий номер рівня;

$БП_j$  – показник безпеки руху, якій демонструє рівень безпеки  $i$ -го рівня.

$$БП_j = \frac{a_j}{K_j \cdot П_0}, \quad (3)$$

де  $a_j$  – кількість порушень або відмов  $j$ -го рівня;

$K_j$  – коефіцієнт впливу  $j$ -го рівня;

$П_0$  – базисний показник процесу, який розглядається.

Комплексний показник безпеки руху розраховується для кожної групи процесів, кожного господарства, дирекції і залізниці, але  $K_j$  використовується один і той же (розраховується двома способами: експертним способом або на основі

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

статистики). Комплексний показник безпеки руху процесу, який розглядається, необхідно аналізувати в комплексі з іншими процесами, які виконують аналогічну діяльність. Це дозволить виявити найбільш слабкі процеси, які потребують першочергового поліпшення діяльності. Чим менше значення комплексного показника, тим кращий стан безпеки руху в розглянутому процесі.

З точки зору безпеки руху, для найбільш ефективної роботи по виявленню ризиків процесів на рівні груп (дирекцій, господарств, залізниць), необхідно визначити рівні безпеки руху (табл. 2).

Таблиця 2. Рівні безпеки руху

Рівні безпеки руху	Найменування рівнів безпеки руху
«Зелений»	«результативний» – рівень безпеки руху знаходиться на високому рівні
«Жовтий»	«потенційно небезпечний» – рівень безпеки руху знаходиться на низькому рівні
«Червоний»	«небезпечний» – загроза безпеці руху

Недоліком даної методики є те, що вона повністю базується на статистичних даних і ефективність її залежить від повноти та достовірності наявної інформації.

У 2010 році на Російських залізницях була розпочата робота по гармонізації існуючої нормативної бази у сфері управління інфраструктурою відповідно до європейських стандартів. Розпорядженням ВАТ «РЖД» від 13 грудня 2010 року був запроваджений Комплекс стандартів «Управління ресурсами на етапах життєвого циклу, ризиками і аналізом надійності (УРРАН)», розроблений ВАТ «НИИАС». В методології УРРАН використовується принцип ALARP у якості головного критерію визначення ризиків [9, 10, 11].

Процес управління ризиками передбачає ідентифікацію небезпек, визначення частоти і наслідків небезпечних подій, оцінювання ризику, його обробку та подальший моніторинг.

Для визначення частоти виникнення небезпечних подій російська методологія спирається на такі методи:

- оцінка частоти виникнення певної події в минулому на основі статистичних даних, а також прогнозування частоти, з якою ця подія може виникнути в подальшому;

- оцінка частоти виникнення певної події на основі даних про відмови технічних засобів, що відбулися за визначений період часу і припадають на одиницю виміру експлуатаційної роботи по кожному господарству залізничного транспорту;

- прогнозування частоти подій з використанням аналізу дерева несправності (FTA) та аналізу дерева подій (ETA);

- експертна оцінка;

- оцінка на основі показників експлуатаційної надійності та безпеки функціонування для залізничної інфраструктури.

Ідентифікація небезпек проводиться із застосуванням методу попереднього аналізу небезпечних подій (РНА). Даний метод застосовується на початкових етапах розробки проекту, у ситуаціях з недостатньою кількістю інформації про

саму систему та її функціонування, а також при проведенні аналізу існуючих систем для визначення пріоритету небезпек і ризиків для подальшого аналізу, або коли обставини створюють перешкоди для застосування більш докладних і всебічних методик. Але даний метод дає тільки попередню інформацію та не є всебічним.

АС УРРАН може бути використана для господарства колії, автоматики та телемеханіки, електрифікації та електропостачання, локомотивного і моторвагонного комплексу, зв'язку.

У даний час незручністю у використанні даної методології є те, що задля отримання статистичної інформації АС УРРАН взаємодіє з різними ізольованими інформаційними системами, що викликає незручність у роботі.

Одним із кроків у напрямі розроблення методології УРРАН стало затвердження Концепції комплексного управління надійністю, ризиками, вартістю життєвого циклу на залізничному транспорті [12]. Згідно даної концепції, в основу управління безпекою перевізного процесу закладені наступні твердження:

- абсолютної безпеки не існує, після застосування усіх захисних мір все одно існує залишковий ризик;
- безпечність системи досягається шляхом зменшення ризиків до допустимого рівня. Залишковий ризик не повинен перевищувати допустимий рівень;
- допустимий рівень ризику оцінюється та піддається коригуванню на всіх етапах життєвого циклу.

На залізницях Росії відбулася гармонізація з міжнародними стандартами, які в даний час чинні на залізницях країн Європейського Союзу. Російський Стандарт ІСО/МЕК 31010:2009 «Менеджмент ризика. Методи оцінки ризика» [13] є автентичним Стандартом ІСО/ІЕС 31010:2009 «Risk management – Risk assessment techniques» про який йшла мова вище.

1 серпня 2012 року на Російських залізницях був введений Стандарт Управління ризиками на залізничному транспорті, який встановив підходи і загальні правила щодо управління ризиками на залізничному транспорті, які пов'язані з функціональною безпекою об'єктів інфраструктури та рухомого складу [14]. Відповідно до цього стандарту, основною задачею управління ризиками на залізничному транспорті є досягнення і підтримка допустимого рівня ризику при забезпеченні функціональної безпеки об'єктів інфраструктури і рухомого складу.

У листопаді місяці 2012 року були затверджені Методичні рекомендації по оцінці ризиків на залізничній інфраструктурі ВАТ «РЖД», які встановлюють принципи та підходи по здійсненню оцінки ризиків на залізничній інфраструктурі [15]. Розгляд питань управління ризиками показав, що при розробці і реалізації концепцій, стратегій та програм технічного розвитку ВАТ «РЖД» необхідно оцінювати прогнозну ефективність функціонування і розвитку залізничного транспорту.

Аналіз рівня фактичних ризиків та їх порівняння з рівнем допустимих ризиків під час реалізації заходів, дасть можливість приймати рішення про допустимість реалізації проектів, або ж необхідність доопрацювання цих проектів з метою зменшення ризиків.

Комбіновані методи застосовуються для аналізу ризиків у складних системах, кількісні методи використовуються, коли збитки є великими. Оскільки, не завжди можливо отримати повну інформацію про систему, то тут приводиться у дію порівняльне кількісне або якісне ранжування ризику експертами. Спеціальні

допоміжні методи (анкетування, опитувальні листи) та практичний досвід знаходять своє використання на етапі ідентифікації небезпеки і попередніх оцінок ризиків.

*Одним із головних принципів функціонування залізничного транспорту в Україні є безпечність.* Цілеспрямований крок у європейському напрямі відбувся 1 грудня 2015 року, коли свою господарську діяльність розпочала нова компанія Публічне акціонерне товариство «Українська залізниця».

Зміни, які зараз відбуваються у галузі залізничного транспорту України потребують впровадження нових підходів у забезпеченні безпеки руху. Відповідно до нового запропонованого законопроекту [16], безпека руху на залізничному транспорті – це стан процесу (системи) руху залізничного рухомого складу, самого залізничного рухомого складу та об'єктів залізничної інфраструктури під час їх експлуатації, при якому ризик виникнення залізничних транспортних подій та їх наслідків не перевищує гранично допустимого рівня, а також забезпечується захист життя і здоров'я громадян, навколишнього природного середовища, майна фізичних чи юридичних осіб від наслідків таких подій.

Щорічний аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці проводиться на підставі кількості транспортних подій, які трапилися на мережі залізниць відповідно до діючого Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті України (затверджене Міністерством Інфраструктури України наказом № 12 від 12 січня 2012 р.). Відповідно до цієї класифікації транспортні події під час руху поїздів та здійснення маневрів, що загрожують безпеці руху, залежно від наслідків класифікують: катастрофи, аварії, серйозні інциденти та інциденти [17, 18].

У звіті відображаються і інші показники: кількість матеріальних збитків від транспортних подій; кількість посадових осіб, притягнутих до відповідальності з питань безпеки руху; кількість зауважень, які були виявлені при перевірках [19].

Через відсутність комплексного підходу при наявності цілого ряду показників однозначно оцінити рівень безпеки на залізничному транспорті України не видається можливим.

Існують і методики окремих вчених, які не в повній мірі відображені в існуючих нормативних документах, але мають певну інформаційну спрямованість в даному питанні.

У роботі [7] автором обґрунтовано методичний підхід щодо оцінки рівня безпеки руху з урахуванням вартісного вираження наслідків, порушень, систематизації та доповнення класифікації помилок персоналу, інтеграції різних методів аналізу.

Автором було розроблено методи оцінки рівня безпеки, які враховують модель поведінки людини в процесі її забезпечення на основі системи захисту від помилок. Також увага приділялась розробці матричної моделі обліку збитків та економічної оцінки заходів, спрямованих на забезпечення заданого рівня безпеки й уніфікованої методики.

Для практичного застосування цього методу статистична інформація про виникнення транспортних подій повинна бути представлена правдиво та в повному обсязі, оскільки тільки шляхом експертної обробки можна визначити достовірні індекси впливу.

В дослідженні сортувального процесу вагонопотоків на залізницях [20], автором запропоновано підхід до управління сортувальним процесом на основі математичної моделі управління безпекою розформування составів на гірках.

Раціональне управління безпекою розформування визначається за умови мінімізації ризиків, які можуть бути на сортувальній гірці. При цьому враховується вплив людського фактору. Автором розроблена процедура управляючих впливів на керувану систему на основі сценарної логіко-ймовірної моделі ризику виникнення порушень безпеки руху на сортувальній гірці. В цій моделі враховано логічний зв'язок можливих небезпечних ситуацій на різних дільницях маршруту скочування відцепів і тим самим є змога обчислити прогнозовану ймовірність виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки. Але для застосування логіко-ймовірної моделі ризику виникнення порушень безпеки руху на сортувальній гірці необхідно, щоб всі фактори ризику були чітко ідентифіковані, а детальний аналіз може бути тривалим за часом і тому вартим.

**Висновки та пропозиції.** Проаналізувавши існуючі методи оцінки безпеки руху на залізничному транспорті, можна зробити висновок, що в даний момент не впроваджено системи комплексного підходу в оцінці безпеки руху. Розробка комплексного показника безпеки руху дасть змогу однозначно оцінити рівень безпеки руху на окремій станції, або дирекції залізниць і отримати допомогу у розробці заходів з безпеки руху поїздів. Отримання даних про фактичний та прогнозований рівень безпеки дасть змогу оптимізувати ресурси, які виділені для забезпечення безпеки руху.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11/page>.
2. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.
3. Розсоха, О.В. Аналіз функціонування системи управління безпекою руху поїздів на залізницях України [Текст] / О.В. Розсоха, М.В. Люлін, О.В. Щербина // Залізничний транспорт України. – 2013. – № 5/6. – С. 21-25.
4. ISO/IEC 31010:2009 Risk management – Risk assessment techniques (IDT) [Електронний ресурс] // International Electrotechnical Commission. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.previ.be/pdf/31010\\_FDIS.pdf](http://www.previ.be/pdf/31010_FDIS.pdf).
5. Common Safety Method for risk evaluation and assessment Guidance on the application of Commission Regulation (EU) 402/2013 [Електронний ресурс] // Office of Rail Regulation. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [http://orr.gov.uk/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/3867/common\\_safety\\_method\\_guidance.pdf](http://orr.gov.uk/_data/assets/pdf_file/0006/3867/common_safety_method_guidance.pdf).
6. Тишанин, А.Г. Об утверждении Методических рекомендаций по применению в открытом акционерном обществе «Российские железные дороги» системы гармонизированных показателей для оценки безопасности движения поездов и системы организации деятельности по учету и использованию этих показателей [Текст] / А.Г. Тишанин. – Москва : ОАО «РЖД», 2009. – 31 с.
7. Олинович, Н.О. Разработка методов оценки уровня безопасности как механизма повышения качества перевозок [Текст] : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Иркутский государственный университет путей сообщения / Н.О. Олинович – Иркутск, 2011. – 156 с.
8. Лapidус, В.А. Методика оценки показателей процессов, влияющих на безопасность движения на основе оценки рисков [Електронний ресурс] / В.А. Лapidус, А.Н. Усольцев // Российские железные дороги. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.5.pdf>.

9. Розенберг, Е.Н. Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Управление стоимостью жизненного цикла систем, устройств и оборудования хозяйства ОАО «РЖД» [Текст] / Е.Н. Розенберг, А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский та ін. – Москва: ОАО «РЖД», 2012. – 65 с.
10. Замышляев, А.М. Прикладные информационные системы управления надежностью, безопасностью, рисками и ресурсами на железнодорожном транспорте [Текст] / А.М. Замышляев. – Москва, 2013. – 143 с. – (Печатный двор).
11. Гапанович, В.А. Система УРРАН. Универсальный инструмент поддержки принятия решений [Текст] / В.А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2010. – №10. – С. 16–22.
12. Гапанович, В.А. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте [Текст] / В.А. Гапанович. – Москва: ОАО «РЖД», 2010. – 132 с.
13. Менеджмент риска. Методы Оценки Риска ISO/IEC 31010:2009 Risk management – Risk assessment techniques (IDT) [Электронный ресурс] // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://nii-ot.ru/doc/mek.pdf>.
14. Дубровская, В.В. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] / В.В. Дубровская, А.И. Лозинин, Ю.С. Ходыкин// Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – 2011. – Режим доступа до ресурсу: [http://www.ibtrans.ru/GOST\\_R\\_54505-2011.pdf](http://www.ibtrans.ru/GOST_R_54505-2011.pdf).
15. Чернин, М.А. Методические рекомендации по оценке рисков на железнодорожной инфраструктуре ОАО «РЖД» [Текст] / М.А. Чернин, Е.Н. Розенберг, А.М. Замышляев. // ОАО «РЖД». – 2011. – С. 109.
16. Закон України Про залізничний транспорт України [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Міністерства інфраструктури України. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://mtu.gov.ua/news/200.html>.
17. Розсоха, О.В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків : УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.
18. Про затвердження Положення про класифікацію транспортних подій на залізницях України: Наказ від 12.01.2012 № 12 [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z0117-12>.
19. Крот, В.С. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2014 році [Текст] / В.С. Крот. – К. : Укрзалізниця. Департамент безпеки руху. – 2015. – 122 с.
20. Бантюкова, С.О. Підвищення ефективності експлуатації сортувальних гірок з урахуванням безпеки їх використання [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / С.О. Бантюкова [Українська державна академія залізничного транспорту]. – Харків, 2014. – 20 с.

**Alexander V. Rozsoha, PhD (Technical Sciences)**  
**(Associate Professor of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport)**  
**Yuliya V. Smachilo**  
**(Graduate student of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport)**

### ANALYSIS AND FEATURES OF EXISTING SCIENTIFIC APPROACHES TO DETERMINING THE LEVEL OF TRAFFIC SAFETY

*For railway services, safety is always a top priority. Lack of safety causes millions of losses in a best case scenario and death in a worst case scenario. Today is very important improve security of railway transport in Ukraine.*

*Organizations of all types and sizes face a range of risks that may affect the achievement of their objectives. All activities of an organization involve risks that should be managed. Risk assessment helps to answer the question: is the level of risk tolerable or acceptable and does it require further treatment?*

*This article describes three of the most common safety principles of the railways of the European Union which are based on the risks assessment: ALARP (As Low As Reasonably Practicable), MEM (Minimum Endogenous Mortality) and GAMAB (Globalement Au Moins Aussi Bon).*

*Safety management requires comprehensive systems approach to safety assessment, the implementation of which should make significant adjustments to the current system of safety management services.*

*Keywords: railway safety, risk assessment, safety principles.*

## REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro systemu upravlinnia bezpekoiu rukhu poizdiv u Derzhavni administratsii zaliznychnoho transportu Ukrainy [Approval of Regulations on safety management system of trains, the State Administration of Railway Transport of Ukraine], *Ofitsiyni veb-portal Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 2011. Available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11/page> (Accessed 10 February 2016).
2. Pro skhvalennia Transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2020 roku [On approval of the of the Transport Strategy of Ukraine till 2020], *Ofitsiyni veb-portal Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 2010. Available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-r> (Accessed 10 February 2016).
3. Rozsokha, O.V. Analiz funktsionuvannia systemy upravlinnia bezpekoiu rukhu poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy [Analysis of the safety management system of trains on the railways of Ukraine], O.V. Rozsokha, M.V. Liulin, O.V. Shcherbyna, *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 2013, no 5/6, pp. 21-25.
4. ISO/IEC 31010:2009 Risk management, Risk assessment techniques (IDT), International Electrotechnical Commission, 2009. Available at: [http://www.previ.be/pdf/31010\\_FDIS.pdf](http://www.previ.be/pdf/31010_FDIS.pdf) (Accessed 22 February 2016).
5. Common Safety Method for risk evaluation and assessment Guidance on the application of Commission Regulation (EU) 402/2013, Office of Rail Regulation, 2015. Available at: [http://orr.gov.uk/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/3867/common\\_safety\\_method\\_guidance.pdf](http://orr.gov.uk/_data/assets/pdf_file/0006/3867/common_safety_method_guidance.pdf) (Accessed 10 March 2016).
6. Tyshanyin, A.H. Ob utverzhdeniy Metodycheskykh rekomendatsiyi po pryimeneniyu v otkrytom aktsyonernom obshchestve «Rossyiskye zheleznye dorohy» systemy harmonyzyrovannykh pokazatelei dlia otsenky bezopasnosti dvizheniya poezdov y systemy orhanyzatsyy deiatelnosti po uchetu y yspol'zovaniyu etykh pokazatelei [On Approval of Methodological recommendations on the use of the open joint-stock company «Russian Railways» system of harmonized indicators for assessing the safety of trains and systems organization and to integrate the use of these indicators], A.H. Tyshanyin, Moscow: *ОАО «РЖД»*, 2009, 31 p.
7. Olynovych, N.O. Razrabotka metodov otsenky urovnia bezopasnosti kak mekhanizma povysheniya kachestva perevozok [The development of safety assessment methods as a mechanism to improve traffic quality], *Yrkutskiyi gosudarstvennyi unyversytet putei soobshcheniya*, N.O. Olynovych, Yrkutsk, 2011, 156 p.
8. Lapydus, V.A. Metodyka otsenky pokazatelei protsessov, vlyaiushchykh na bezopasnost dvizheniya na osnove otsenky ryiskov [Methods of assessing the performance of processes that affect traffic safety on the basis of a risk assessment], V.A. Lapydus, A.N. Usoltsev, *Rossyiskye zheleznye dorohy*, 2009. Available at: <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.5.pdf> (Accessed 10 March 2016).
9. Rozenberh, E.N. Upravlenye resursamy, ryiskamy y nadezhnostiu na etapakh zhyznennoho tsykla (URRAN).Upravlenye stoymosti zhyznennoho tsykla syytem, ustroystv y oborudovaniya khoziaistva OAO «RZhD» [Management of resources, risk and reliability in the stages of the life cycle (Urran). Life Cycle Cost Management System, devices and services equipment JSC «Russian Railways»], E.N. Rozenberh, A.M. Zamyshliaev, Y.B. Shubynskiyi ta in, Moscow: *ОАО «РЖД»*, 2012, 65 p.
10. Zamyshliaev, A.M. Prykladnye ynformatsyonnye systemy upravleniya nadezhnostiu, bezopasnostiu, ryiskamy y resursamy na zheleznodorozhnom transporte [Applied information management system reliability, security, risk and resources in railway transport], A.M. Zamyshliaev, Moscow, 2013, 143 p.
11. Hapanovych, V.A. Systema URRAN. Unyversalnyi ynstrument podderzhky pryniatya resheniy [Urran system. Universal Decision Support Tool], V.A. Hapanovych, *Zheleznodorozhnyi transport*, 2010, no.10, pp. 16–22.

12. Hapanovych, V.A. Kontseptsyia kompleksnoho upravleniya nadezhnosti, ryskamy, stoymostiu zhyznennoho tsykla na zheleznodorozhnom transporte [The concept of integrated management of reliability, risk, cost of rail transport lifecycle], V.A. Hapanovych, Moscow: *OAO «RZhD»*, 2010, 132 p.
13. Menedzhment ryska. Metody Otsenky Ryska ISO/IEC 31010:2009 Risk management – Risk assessment techniques (IDT), *Federalnoe ahentstvo po tekhnicheskomu rehulyrovaniyu y metrolohiy*, 2012. Available at: <http://nii-ot.ru/doc/mek.pdf> (Accessed 10 March 2016).
14. Dubrovskaia, V.V. Bezopasnost funktsionalnaia. Upravlenye ryskamy na zheleznodorozhnom transporte [Security functional. Risk management in rail transport], V.V. Dubrovskaia, A.Y. Lozynyn, Yu.S. Khodykyn, *Federalnoe ahentstvo po tekhnicheskomu rehulyrovaniyu y metrolohiy*, 2011. Available at: [http://www.ibtrans.ru/GOST\\_R\\_54505-2011.pdf](http://www.ibtrans.ru/GOST_R_54505-2011.pdf) (Accessed 10 March 2016).
15. Chernyn, M.A. Metodycheskiye rekomendatsyy po otsenke ryskov na zheleznodorozhnoi ynfrastrukture OAO «RZhD» [Guidelines for Risk Assessment on the railway infrastructure of JSC «Russian Railways»], A. Chernyn, E.N. Rozenberh, A.M. Zamyshliaev, *OAO «RZhD»*, 2011, p. 109.
16. Zakon Ukrainy Pro zaliznychnyi transport Ukrainy [The Law of Ukraine About zaliznychny transport Ukraine], *Ofitsiyni veb-portal Ministerstva infrastruktury Ukrainy*, 2015. Available at: <http://mtu.gov.ua/news/200.html> (Accessed 10 March 2016).
17. Rozsokha, O.V. Analiz funktsionuvannia system upravlinnia bezpekoiu rukhu poizdiv na zaliznytsiakh krain Yevrosoiuzu [Analysis functioning safety management systems of trains on the railways of the European Union], O.V. Rozsokha, Yu.V. Smachylo, *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*, Kharkiv : UkrDAZT, 2015. Vol. 151, pp. 4–11.
18. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro klasyfikatsiiu transportnykh podii na zaliznytsiakh Ukrainy: Nakaz vid 12.01.2012 № 12 [Approval of Regulations on classification of traffic accidents on the railways of Ukraine, Order of 12.01.2012 number 12], *Ofitsiyni veb-portal Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 2012. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z0117-12> (Accessed 10 March 2016).
19. Krot, V.S. Analiz stanu bezpeky rukhu v strukturі Ukrzaliznytsi u 2014 rotsi [Analysis of safety in the structure of Ukrzaliznytsia in 2014], V.S. Krot. K., *Ukrzaliznytsia. Departament bezpeky rukhu*, 2015, 122 p.
20. Bantiukova, S.O. Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii sortuvalnykh hirok z urakhuvanniam bezpeky yikh vykorystannia [Improved operation of marshalling humps based security use] S.O. Bantiukova, *Ukrainska derzhavna akademiia zaliznychnoho transportu*, Kharkiv, 2014, 20 p.

УДК 656.1

**В. О. Сістук, к.т.н.**

(доцент кафедри «Автомобільний транспорт», ДВНЗ «Криворізький національний університет»)

**А. О. Богачевський**

(асистент кафедри «Підйомно-транспортні машини», ДВНЗ «Криворізький національний університет»)

**В. Ю. Сергієнко**

(магістрант кафедри «Автомобільний транспорт», ДВНЗ «Криворізький національний університет»)

**К. О. Анікіна**

(магістрантка кафедри «Автомобільний транспорт», ДВНЗ «Криворізький національний університет»)

### **ПІДВИЩЕННЯ ПІШОХІДНОЇ БЕЗПЕКИ НА ПЕРЕХРЕСТІ З ОБМЕЖЕНОЮ ВИДИМІСТЮ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ**

*У даній статті приведені аналітичні дослідження пішохідної безпеки на перехресті з обмеженою видимістю транспортних засобів на одній із ділянок вулично-дорожньої мережі в місті Кривий Ріг. З цією метою розроблена імітаційна модель на основі даних про транспортні та пішохідні потоки, отриманих шляхом спостереження у різні періоди доби. За результатами досліджень представлені рекомендації з підвищення безпеки руху на даній ділянці.*

*Ключові слова:* автомобільний транспорт, аналіз транспортних потоків, нерегульований пішохідний перехід, імітаційне моделювання.

*В данной статье представлены аналитические исследования пешеходной безопасности на перекрестке с ограниченной видимостью транспортных средств на одном из участков улично-дорожной сети в городе Кривой Рог. С этой целью разработана имитационная модель на основании данных о транспортных и пешеходных потоках, полученных путем наблюдения в разные периоды суток. Исходя из результатов исследований, представлены рекомендации по повышению безопасности движения на данном участке дороги.*

*Ключевые слова:* автомобильный транспорт, анализ транспортных потоков, нерегулируемый пешеходный переход, имитационное моделирование.

© Сістук В. О., Богачевський А. О., Сергієнко В. Ю., Анікіна К. О., 2016

**Постановка проблеми.** Автомобільний транспорт є найважливішою ланкою господарства, що виконує функцію своєрідної кровоносної системи в складному організмі країни. Він не тільки забезпечує потреби господарства й населення в перевезеннях, а й разом з містами утворює «каркас» території, є найбільшою складовою інфраструктури, служить матеріально-технічною базою формування і розвитку територіального поділу праці, впливає на динамічність і ефективність соціально-економічного розвитку окремих регіонів і країни в цілому.

У той же час, із всіх видів транспорту автомобільний транспорт залишається одним з основних джерел підвищеної небезпеки. Дана теза знаходить підтвердження на основі статистичного аналізу аварійності на дорогах України за 2015 рік. Згідно з даними Міністерства надзвичайних справ за три квартали 2015 року було зафіксовано 17312 дорожньо-транспортних пригод (ДТП), в результаті яких постраждали 21708 осіб, з них загинула 2661 особа. Наслідком кожного третього ДТП є наїзд на пішохода, а у великих містах цей показник складає до половини з усіх ДТП [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наїзд автотранспорту на пішохода відбувається як на нерегульованих, так і на пішохідних переходах, обладнаних світлофорним регулюванням. Нерегульовані пішохідні переходи характеризуються більшою вірогідністю виникнення ДТП.

До основних факторів, що викликають наїзд на пішохода на нерегульованому пішохідному переході, відносять [2]:

1. Недостатнє освітлення та видимість лінії розмітки і знаків пішохідного переходу.
2. Кліматичні умови: дощ, грязь, туман, сніг та інші.
3. Наявність великогабаритних автомобілів, які можуть закривати собою знак пішохідного переходу.
4. Людський фактор, що виникає при відволіканні водія, яке може призвести до неможливості вчасно зменшити швидкість перед пішохідним переходом.
5. Погана видимість пішоходів у темну пору доби.

За відкритою статистикою наїзд на пішохода в темну пору доби складає 39,5% усіх ДТП в Україні, що перевищує денні показники приблизно на 10%, при цьому ризик отримати смертельні травми в темну пору для пішохода підвищується на 43,9%. У цілому це призводить до збільшення кількості загиблих у темну пору до 69,1% від їх загальної кількості [2].

Зважаючи на велику кількість аварійних випадків, пов'язаних з наїздом на пішоходів, актуальним стає дослідження організації безпеки руху на ділянках транспортної мережі великих міст, які є небезпечними для цих учасників дорожнього руху.

**Мета статті** – підвищення пішохідної безпеки на перехресті з обмеженою видимістю, розташованому у місті з населенням більше 500 тис. чоловік, а саме, у Кривому Розі.

Для вирішення поставленої мети необхідно:

1. Визначити транспортні навантаження на перехресті вулиць шляхом візуального спостереження у різні періоди доби.
2. Побудувати імітаційну модель перехрестя з урахуванням вихідних транспортних і пішохідних потоків.
3. Проаналізувати отримані показники довжини черги, що утворюється на пішохідному переході в залежності від часу доби.
4. Розробити рекомендації щодо підвищення безпеки проходження пішоходами небезпечних ділянок проїзної частини даного перехрестя.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для аналізу обрано кільце 30-річчя Перемоги, за адресою якого розташована ТРЦ «Сонячна галерея», з перехрестям вулиць Мелешкіна, Соборної та проспекту 200-річчя Кривого Рогу (рис. 1).

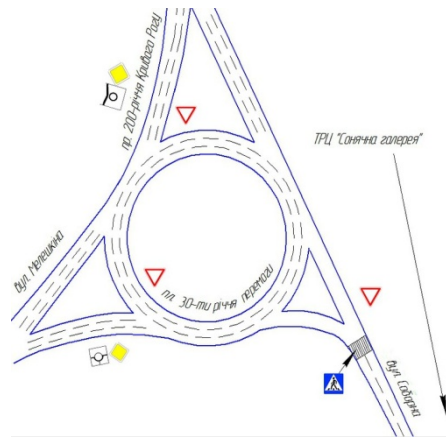


Рис. 1. Схема перехрестя вулично-дорожньої мережі

Проблемною частиною даної ділянки транспортної мережі міста є виїзд з кільця направо в сторону вулиці Соборна. З рисунків 2 – 6 можна побачити, що частина пішохідного переходу та відповідний знак 5.35.1 «Пішохідний перехід», що на вулиці Соборній, недостатньо проглядаються для водіїв при їх виїзді з кільця, що пояснюється значним кутом повороту для виконання даного маневру [3, 4].



Рис. 2. Загальний вид перехрестя



*Рис. 3. З'їзд з кільця 30-річчя Перемоги*

У зв'язку з описаним розташуванням пішохідного переходу та відповідного знаку, збільшується кількість випадків порушення водіями правил дорожнього руху, а саме, спроби проїзду даної ділянки без надання переваги пішоходам, підвищуючи вірогідність наїзду на людей.



*Рис. 6. Виїзд із боку вулиці Соборної на кільце 30-річчя Перемоги*

Для створення імітаційної моделі перехрестя і подальшого аналізу транспортної ситуації на ньому, використовувалось програмне забезпечення PTV Vission [5, 6]. Алгоритм створення імітаційної моделі включав [7, 8, 9]:

1. Побудову відрізків доріг на фоні супутникової карти ділянки транспортної мережі, що досліджується;
2. Задавання транспортних маршрутів відповідно до побудованих відрізків;
3. Визначення конфліктних зон та надання транспортним засобам пріоритетів їх проїзду відповідно до ПДД7;
4. Створення пішохідних зон та переходу на вулиці Соборній;
5. Надання пріоритетів та напрямків пішохідних потоків;
6. Завантаження інтенсивності транспортних потоків у відповідності з отриманими у реальних умовах даними;
7. Розміщення лічильників заторів на транспортних маршрутах;
8. Аналіз довжини черги за різними напрямками перехрестя за певний період доби (з 6-ї години ранку до 21 години вечора).

Згідно з представленим алгоритмом побудовано імітаційну модель кільця 30-річчя Перемоги з перехрестям вулиць Мелешкіна, Соборної та проспекту 200-річчя Кривого Рогу (рис. 7).

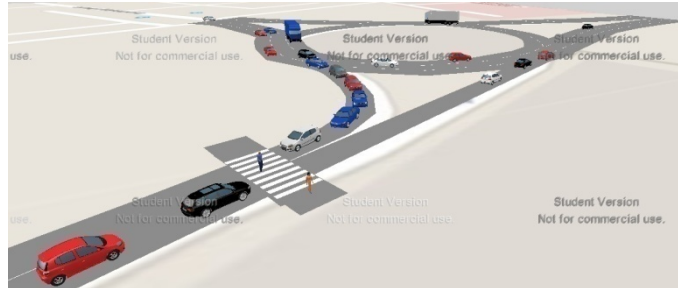


Рис. 7. Імітаційна модель кільця 30-річчя Перемоги

Отримані у результаті симуляції довжини черг на перехресті по окремих напрямках представлено на рис. 8.

Максимальні значення сумарної довжини черги спостерігаються для транспортних потоків, що прямують з вулиць Мелешкіна, 200-річчя Кривого Рогу, та кільця 30-річчя Перемоги на вулицю Соборну. Довжина черги за даним напрямом становить 130,4 м, і зберігається протягом 12 годин (з 9 години ранку до 21 години вечора). У зворотному напрямку довжина черги є меншою майже у 4 рази, і становить 44,1 м. Таким чином, для пішоходів, що перетинають перехід по вулиці Соборній, небезпекою є саме ті транспортні потоки, які направляються у бік ТРЦ «Сонячна галерея».

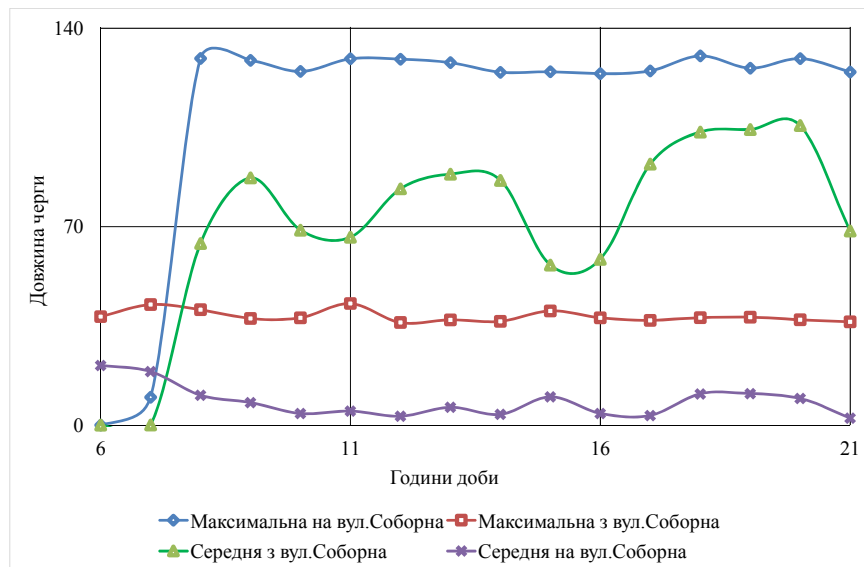


Рис. 8. Довжина черги за напрямками

**Висновки та пропозиції.** Для зниження аварійності на розглянутому нерегульованому пішохідному переході пропонується його комплексне оснащення технічними засобами організації дорожнього руху, у якості яких можливо використовувати такі сучасні інформаційні технології.

1. Автономна система освітлення пішохідного переходу з датчиком руху (рис. 9), яка слугує для забезпечення безпеки пішоходів в темний час доби. Водії за десятки метрів можуть ідентифікувати пішохідний перехід і, за необхідності, завчасно перейти на безпечний режим руху завдяки тому, що світлодіодний ліхтар здатний освітлювати проїзну частину як для водіїв, так і для пішоходів, що особливо актуально на не освітлюваних ділянках доріг. Вживання датчика руху дозволяє включати освітлення лише при появі пішохода в зоні пішохідного переходу [2].



*Рис. 9. Автономна система освітлення пішохідного переходу з датчиком руху*

2. Світловідбиваючі катафоти в темний час доби, які ідентифікують розмітку пішохідного переходу у вигляді зебри (рис. 10). Вони застосовуються на ділянках вулично-дорожньої мережі, що не мають штучного освітлення, де спостерігається значна вірогідність ДТП, відбиваючи світло від фар ТЗ, що сприяє підвищенню безпеки перетинання пішохідного переходу в темний час доби.



*Рис. 10. Світловідбиваючий катафот*

3. Іншим способом вирішення даної проблеми є перенесення переходу по вулиці Соборній на відстань 5–7 м від перехрестя й розширення пішохідної зони для збільшення його оглядовості, що підвищує можливість вчасного реагування водіями ТЗ на пішоходів, перетинаючих перехід. Вибір варіанта рішення залежатиме від результатів подальшого моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Матусьяк С. Количество ДТП в Украине растет лавинообразно [Электронный ресурс] / С. Матусьяк // Журнал «Автоцентр». – 2015. – Режим доступа: <http://www.autocentre.ua/news/praktika/kolichestvo-dtp-v-ukraine-rastet-lavinoobrazno-mb-67302.html>.
2. Обустройство пешеходных переходов [Электронный ресурс] // Группа компаний спецтехника. – Режим доступа: <http://www.kb-spectech.ru/projects8.html>
3. Правила дорожного руху України – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pdd.ua/ua>.
4. Потійчук О.Б. Транспортні розв'язки. Навч. Посібник./ О.Б. Потійчук, Л.М. Піліпака, – Рівне: НУВГП, 2013 – 274 с.
5. Программные продукты PTV Vissim. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ptv-vision.ru>
6. A+S. Краткое руководство по выполнению проектов в PTV VISSIM 6, 2014. – 76 с.
7. Пальчик А.М. Організація дорожнього руху: навч. посіб. – К.: НТУ, 2011. – 228 с.
8. Amudapuram Mohan Rao. Microscopic simulation to evaluate the traffic cingestion metegation strategies on urban arterials / Amudapuram Mohan Rao, K. Ramachendra Rao // European Transport / Trasporti Europei (2015) Issue 58 – ISSN 1825-3997 – Trieste, 2015 – P. 2-20,
9. Литвин В. В. Имитационное моделирование транспортных потоков с помощью программного обеспечения PTV VISION VISSIM / В. В. Литвин, А. Н. Мирошниченко // Сборник научных трудов международной конференции «Современные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014» – Днепропетровск, 2014 – С. 251 – 260.

*Volodymyr O. Sistuk, PhD (Technical Sciences),  
(Associate Professor of Automobile Transport Chair for Kryvyi Rih National University)*

*Anton O. Bogachevskiy  
(Assistant Lecturer of Hoisting machinery Chair for Kryvyi Rih National University)*

*Vladislav Yu. Serhiienko  
(postgraduate student of Kryvyi Rih National University)*

*Katerina O. Anikina  
(postgraduate student of Kryvyi Rih National University)*

**PEDESTRIAN SAFETY IMPROVING AT THE INTERSECTION  
WITH LIMITED VISIBILITY BASED ON SIMULATION ANALYSIS  
OF TRAFFIC FLOWS**

*This article includes studies that are aimed at pedestrian safety improving on unregulated pedestrian crossing with limited vehicles visibility in the city of Kryvyi Rih. The object of the study was circle of the 30th anniversary of the Victory with crossing Meleshkina, Cathedral streets and Avenue of the 200th anniversary of Kryvyi Rih, at the address of which the SEC «Sun Gallery» is located. Problem area of the transport system is the circle's exit in the Cathedral Street's direction. Due to the significant angle of the road, pedestrian crossing and the corresponding sign is not visible to road users, thereby increasing the number of violations of traffic regulations by vehicles drivers, namely there are attempts of this section passage without giving pri-*

*ority to pedestrians. By visual inspection at different times of the day field observations of traffic and pedestrian flows were conducted. With the help of modern software, namely complex PTV Vissim, a simulation model of the intersection was worked out and the traffic flows analysis was carried out. Based on the results of the study, recommendations to pedestrian safety improving on this street section of the road network were introduced.*

**Keywords:** automobile transport, traffic analysis, zebra crosswalk, simulation modeling.

## REFERENCES

1. Matusyak S. The number of accidents in Ukraine is growing rapidly. [Online] / S.Matusyak // «Autocentre magazine». – 2015. – Access mode: <http://www.autocentre.ua/news/praktika/kolichestvo-dtp-v-ukraine-rastet-lavinoobrazno-mb-67302.html>.
2. Pedestrian crossings facilities [Online] // Group of machinery companies. – Access mode: <http://www.kb-spectech.ru/projects8.html>
3. Road traffic regulations of Ukraine. – [Online] – Access mode: <http://pdd.ua/ua>.
4. Potiychuk O.B. Transport intersections. Textbook / O.B. Potiychuk, L.M. Pylypaka. – Rivne: NUWEE, 2013 – 274 p
5. Program products PTV Vissim. [Online]. – Access mode: <http://ptv-vision.ru>
6. A+S. A quick guide to the implementation of projects in PTV VISSIM 6, 2014 – 76 p.
7. Palchik A.M. Traffic managment:textbook /– K.: NTU, 2011. – 228 p.
8. Amudapuram Mohan Rao. Microscopic simulation to evaluate the traffic cingestion metegation strategies on urban arterials / Amudapuram Mohan Rao, K. Ramachendra Rao // European Transport / Trasporti Europei (2015) Issue 58 – ISSN 1825-3997 – Trieste, 2015 – P. 2-20
9. Litvin V. V. Simulation modeling of traffic streams with the help of ptv vision vissim software / V. V. Litvin, A. N. Miroshnichenko // Collection of scientific works of international conference «Modern technologies of engineering training for the mining and transport industry 2014».– Dnepropetrovsk, 2014 – pp.251 – 260.

УДК 656.025.2

**В. В. Габа, к.т.н., професор**

*(професор кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**Т. М. Грушевська, к.т.н.**

*(старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**В. П. Костюшко**

*(заступник начальника виробничого підрозділу Київської дирекції залізничних перевезень Регіональної філії «Південно-Західна залізниця», м. Київ)*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЇХНІ ОБСЯГИ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ**

*Стаття присвячена питанням розробки технологічних і організаційних заходів, застосування математичних моделей забезпечення приміських пасажирських перевезень із використанням технологічних і конкурентних переваг залізничного транспорту. Розглядаються пропозиції щодо покращення якості обслуговування пасажирів і підвищення ефективності залізничних приміських перевезень. На підставі проведених досліджень можна здійснювати комплексно, системно пов'язані розрахунки важливих техніко-технологічних та організаційних параметрів приміських пасажирських перевезень. До таких параметрів можна віднести параметри графіка руху поїздів, пасажиромісткість транспортних засобів, інтервали та маршрутні швидкості їх руху, необхідний час доступу до отримання транспортної послуги, розміри пасажирських платформ, кількість і розташування на них турнікетів, забезпечення зручної та безпечної посадки пасажирів на приміські поїзди, зони обслуговування приміських пасажиропотоків, тактовий та модульний принцип застосування рухомого складу, а також можливості перевізників та інших учасників транспортного ринку щодо збільшення кількості та якості транспортних послуг. Надано рекомендації технологічного й економічного характеру щодо збільшення ймовірності вибору пасажиром для поїздки залізничного транспорту.*

*Ключові слова: приміські пасажирські перевезення, якість обслуговування пасажирів, пасажиропотік, технологія перевезень, організація перевезень, пасажирський рухомий склад.*

© Габа В. В., Грушевська Т. М., Костюшко В. П., 2016

*Статья посвящена вопросам разработки технологических и организационных мероприятий, применения математических моделей обеспечения пригородных пассажирских перевозок с использованием технологических и конкурентных преимуществ железнодорожного транспорта. Рассматриваются предложения по улучшению качества обслуживания пассажиров и повышению эффективности железнодорожных пригородных перевозок. На основе проведенных исследований можно осуществлять комплексно, системно связаны расчеты важных технико-технологических и организационных параметров пригородных пассажирских перевозок. К таким параметрам можно отнести параметры графика движения поездов, пассажироместимость транспортных средств, интервалы и маршрутные скорости их движения, необходимое время доступа к получению транспортной услуги, размеры пассажирских платформ, количество и расположение на них турникетов, обеспечения удобной и безопасной посадки пассажиров на пригородные поезда, зоны обслуживания пригородных пассажиропотоков, тактовый и модульный принцип применения подвижного состава, а также возможности перевозчиков и других участников транспортного рынка по увеличению количества и качества транспортных услуг. Предоставлено рекомендации технологического и экономического характера по увеличению вероятности выбора пассажиром для поездки железнодорожного транспорта.*

*Ключевые слова:* пригородные пассажирские перевозки, качество обслуживания пассажиров, пассажиропоток, технология перевозок, организация перевозок, пассажирский подвижной состав.

**Вступ.** В умовах адаптації приміського пасажирського транспорту до конкурентного середовища повинен забезпечуватись інтенсивний пошук ефективних технологій організації процесу перевезення.

За накопиченим вітчизняним і закордонним досвідом роботи залізниць, саме у сфері залізничних регіональних та приміських перевезень, може відбуватися серйозна конкуренція між перевізниками державної, приватної, змішаної форм власності. В таких умовах для забезпечення конкурентоспроможності майбутніх залізничних компаній приміських перевезень буде важливим дослідження впливу технології та організації залізничних приміських перевезень на їхні обсяги в умовах конкуренції та методів їх реалізації.

Важливим показником також є раціональне використання пасажирського рухомого складу, підвищення зручностей, комфорту пасажирів на залізницях.

Все це зумовлює привабливість транспортних послуг приміської компанії порівняно з іншими перевізниками. Особливо актуальним в сучасних умовах є розробка комплексу задач з визначення раціональних експлуатаційних параметрів, що сприяють підвищенню ефективності приміських перевезень, зокрема: розрахунок кількості приміських поїздів з різною частотою, пасажиромісткістю і кількістю вагонів; визначення показників, що характеризують якість приміських пасажирських перевезень та ін. [1].

**Постановка проблеми та її зв'язки з науковими і практичними завданнями.** У зв'язку із необхідністю підвищення конкурентоспроможності приміських пасажирських перевезень все більшої актуальності набуває завдання зацікавити пасажирів до послуг залізничного транспорту. Це є одним із пріоритетних

питань Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки [1]. Тому з метою покращення ефективної організації приміських пасажирських залізничних перевезень необхідно досліджувати вплив технології та організації залізничних приміських перевезень на їхні обсяги в умовах конкуренції, враховуючи статистичні дослідження транспортного ринку.

**Аналіз попередніх досліджень і виділення невирішених раніше аспектів проблеми, яким присвячена стаття.** Розвиток досліджень щодо підвищення ефективності організації залізничних пасажирських приміських перевезень, питань якості транспортних послуг у науково-практичній літературі згадуються все частіше, що зумовлено зростаючою актуальністю проблеми. Найбільше робіт було присвячено питанням якості транспортних послуг, тривалості часу поїздки, часу очікування до початку поїздки, вартісній оцінці часу, що витрачає пасажир та поїзд різними видами транспорту. Серед публікацій доцільно відзначити роботи таких науковців як І.М. Аксьонов, Т.В. Бутько, О.М. Гудков, М.Д. Жердев, Д.В. Константинов, Ф. П. Кочнев, Ю.Ф. Кулаєв, Д.В. Ломотько, В.І. Мацюк, В.К. Мироненко, Ю.О. Пазойський, В.М. Самсонкін, В.Г. Шубко та інших авторів.

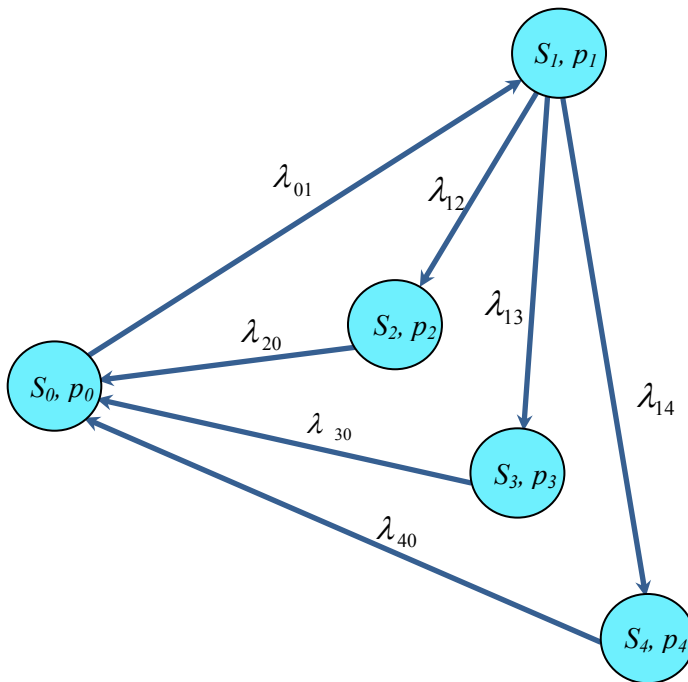
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Моделювання впливу технології та організації залізничних приміських пасажирських перевезень на їхні обсяги в умовах конкуренції на транспортному ринку є ефективним засобом вдосконалення, оптимізації системи організації приміських пасажирських перевезень та підвищення якості транспортного обслуговування.

В процесі проведених досліджень визначено, які фактори приваблюють пасажирів або відштовхують їх від того чи іншого виду перевезень:

- термін перебування пасажирів в дорозі;
- час відправлення та прибуття як на основні, так і на проміжні станції;
- рівень комфорту в поїздах;
- вартість проїзду;
- безпека руху;
- незалежність від кліматичних умов;
- початкові та кінцеві витрати часу, пов'язані з організацією поїздки.

У конкурентному середовищі на ринку транспортних послуг підвищується рівень автомобілізації населення, що призводить до підвищення вимог до громадського транспорту. Тому для того щоб залишатись конкурентоспроможним видом транспорту, необхідно в повній мірі задовольняти потреби пасажирів при перевезенні, а також підвищувати якість обслуговування.

Для дослідження впливу технології та організації залізничних приміських перевезень на їхні обсяги в умовах конкуренції на транспортному ринку застосуємо як досвід побудови аналогічних математичних моделей [2, 3, 4], так і аналогію з марковськими процесами [5], при яких система переходить із стану  $S_i$  у стан  $S_j$  (і перебуває в них з ймовірностями  $P_i$  та  $P_j$ ) під дією певних потоків подій, які (потоки) мають інтенсивність  $\lambda_{ij}$ . В умовах постановки задачі просторового розподілу пасажирів в мережі повним описом стану системи перевезень є визначення поведінки пасажирів щодо вибору напрямку руху. Орієнтований граф станів системи наведено на рис. 1.



де

- $S_0, p_0$  – відсутність пасажирів;
- $S_1, p_1$  – наявність пасажирів, вибір транспорту;
- $S_2, p_2$  – перевезення залізничним видом транспорту;
- $S_3, p_3$  – перевезення автомобільним видом транспорту;
- $S_4, p_4$  – перевезення приватним видом транспорту (приватне авто).

Рис. 1. Орієнтований граф станів системи ( $S_i, p_i$  –  $i$ -й стан системи та ймовірність знаходження системи в  $i$ -му стані)

Розглянемо систему конкурентного транспортного ринку «пасажир – альтернативні перевізники», де кількість пасажирів у визначений період часу може бути перевезена залізничним або автомобільним транспортом, причому рішення приймає пасажир, враховуючи економічні, організаційно-технологічні та інші переваги чи недоліки цих видів транспорту [2, 3].

Гіпотеза полягає в тому, що інтенсивність потоку подій залежить від економічних та організаційно-технологічних параметрів транспортного обслугову-

вання, різні сполучення яких роблять інтенсивності потоків більш чи менш інтенсивними, а різні стани системи – більш чи менш ймовірними [2, 3].

Як стан  $S_2$  розглядатимемо перевезення пасажирів обраним для цього залізничним транспортом, стан  $S_3$  – перевезення автомобільним транспортом, а стан  $S_4$  – перевезення приватним видом транспорту (автомобіль). Таким чином, ці три види транспорту розглядаємо як конкурентні, альтернативні. Описаним станам поставимо у відповідність їхні ймовірності і запишемо систему рівнянь балансу потоків для фінальних ймовірностей станів. Ця система, складена за відомими правилами [5], має вигляд:

$$\begin{cases} \lambda_{01} \cdot p_0 = \lambda_{20} \cdot p_2 + \lambda_{30} \cdot p_3 + \lambda_{40} \cdot p_4 \\ (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) \cdot p_1 = \lambda_{01} \cdot p_0 \\ \lambda_{20} \cdot p_2 = \lambda_{12} \cdot p_1 \\ \lambda_{30} \cdot p_3 = \lambda_{13} \cdot p_1 \\ \lambda_{40} \cdot p_4 = \lambda_{14} \cdot p_1 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

З цієї системи рівнянь спочатку знайдемо  $p_1$ , а потім усі інші ймовірності станів:

$$p_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}}{\lambda_{01}} + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}} + \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{40}}}; \quad (2)$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}}; \quad (3)$$

$$p_3 = p_1 \cdot \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{30}}; \quad (4)$$

$$p_4 = p_1 \cdot \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{40}}; \quad (5)$$

$$p_0 = p_1 \cdot \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}}{\lambda_{01}}; \quad (6)$$

Якщо припустити, що кожний стан системи перевезень здійснюється з рівною ймовірністю, то можна знайти найбільш ймовірний розподіл потоків.

Тепер визначимо інтенсивності пасажиропотоків, спираючись на гіпотезу, що наведена вище, використовуючи при цьому як натуральні, так і економічні параметри транспортного обслуговування. Отже, інтенсивності пасажиропотоків такі [2]:

$$\lambda_{01} = \frac{B}{T}, \quad (7)$$

де  $B$  – економічна вигода пасажирів від проїзду транспортом загального користування, у порівнянні з приватним транспортом, грн;

$T$  – період часу (годин, діб тощо), год.

Інтенсивності потоків  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{13}$  та  $\lambda_{14}$ , які зумовлюють вибір пасажиром одного з трьох видів транспорту (залізничного, автомобільного або приватного авто), визначаються за допомогою таких міркувань. Величина  $\lambda_{1j}$  повинна розраховуватися так:

$$\lambda_{1j} = \frac{C_6 - \Pi_j}{z_j}, \quad (8)$$

де  $C_6$  – вартість проїзду під час поїздки приватним автомобілем, грн;

$\Pi_j$  – вартість квитка пасажирів, необхідна для його здійснення  $j$ -м видом транспорту (вартість проїзду  $j = 2$  – залізничний транспорт,  $j = 3$  – автомобільний транспорт,  $j = 4$  – приватне авто), грн;

$z_j$  – повний час транспортного обслуговування пасажирів, який містить наведені нижче складові, год [2];

$$z_j = \tau_j + \frac{T \cdot q_j}{A_m} + \frac{L_j}{V_j}, \quad (9)$$

де  $A_m$  – обсяг перевезень пасажирів, який треба здійснити протягом періоду часу  $T$  (годин, діб тощо), пасажирів;

$\tau_j$  – час до початку подорожі (наприклад, час під'їзду до залізничної станції, підходу до приміських кас, автостоянки, час на купівлю квитка), год;

$\frac{T \cdot q_j}{A_m}$  – середній інтервал відправлення транспортних засобів (час очікування відправлення), який визначається за допомогою уже відомих величин, год;

$\frac{L_j}{V_j}$  – тривалість перебування пасажирів в процесі перевезення, яка залежить від його відстані  $L_j$  та швидкості  $V_j$ , год;

Інтенсивності потоків  $\lambda_{20}$ ,  $\lambda_{30}$  та  $\lambda_{40}$  (у загальному виді  $\lambda_{j0}$ ), які повертають систему у стан «немає пасажирів» після завершення перевезення пасажирів протягом часу, є такими [2]:

$$\lambda_{j0} = \frac{C_j}{T}. \quad (10)$$

Очевидно, що чим більшими є питомі економічні вигоди від перевезення пасажирів за одиницю часу, тим швидше відбувається перевезення пасажирів (система повертається у стан «немає пасажирів»), але лише для того, щоб розпочати новий цикл отримання вигод (повертається у стан «є пасажир»).  
Після наведених вище формул розпишемо в розгорнутому вигляді формулу –

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}}.$$

$$p_2 = \frac{\frac{C_6 - 1}{C_2}}{z_2 \cdot \left[ \frac{1}{T} + \frac{C_6 - 1}{C_2} + \frac{C_6 - 1}{C_3} + \frac{K - 1}{z_4} + \frac{1}{B} \cdot \left( C_2 \cdot \frac{C_6 - 1}{z_2} + C_3 \cdot \frac{C_6 - 1}{z_3} + \frac{C_6}{z_4} \cdot \left( 1 - \frac{1}{K} \right) \right) \right]}. \quad (11)$$

Формула 11, яка в розгорнутому вигляді відображає залежність ймовірності (шансів) вибору потенційним пасажиром залізничного транспорту, показує, що ці шанси залежать від сукупності технологічних, організаційних та економічних параметрів, що відображають умови перевезення пасажирів різними видами транспорту, які конкурують між собою. Очевидно, що ця залежність носить складний нелінійний характер, а змінні  $z_2$ ,  $z_3$  та  $z_4$  у свою чергу залежать від інших параметрів.

При наведених вихідних даних ймовірність вибору залізничного транспорту  $P_{zm}$ , якщо у пасажирів немає іншого вибору, ніж між залізничним, автомобіль-

ним транспортом і приватним авто, складатиме:  $P_{zm} = \frac{p_2}{p_2 + p_3 + p_4}$  (така мето-

дика розрахунку є коректною, оскільки ймовірності вибору того чи іншого виду транспорту – це ймовірності подій, що утворюють повну групу, сума ймовірностей яких завжди дорівнює одиниці).

Тепер розпишемо в загальному вигляді формулу для визначення ймовірності вибору потенційним пасажиром залізничного транспорту, автомобільного та приватного авто. Формула ймовірності вибору потенційним пасажиром залізничного транспорту приймає вигляд:

$$P_{zm} = \frac{\frac{C_6 - 1}{C_2}}{\left( \frac{C_6 - 1}{C_2} \right) + \frac{z_2}{z_3} \cdot \left( \frac{C_6 - 1}{C_2} \right) + \frac{z_2}{z_4} \cdot (K - 1)}. \quad (12)$$

Формула ймовірності вибору потенційним пасажиром автомобільного транспорту приймає вигляд:

$$P_{am} = \frac{\frac{I}{z_3} \cdot \left( \frac{C_6}{\Pi_3} - I \right)}{\frac{I}{z_2} \cdot \left( \frac{C_6}{\Pi_2} - I \right) + \frac{I}{z_3} \cdot \left( \frac{C_6}{\Pi_3} - I \right) + \frac{K - I}{z_4}} \quad (13)$$

Формула ймовірності вибору потенційним пасажиром приватного авто приймає вигляд:

$$P_{np} = \frac{\frac{K - I}{z_4}}{\frac{I}{z_2} \cdot \left( \frac{C_6}{\Pi_2} - I \right) + \frac{I}{z_3} \cdot \left( \frac{C_6}{\Pi_3} - I \right) + \frac{K - I}{z_4}} \quad (14)$$

Дослідження залежності  $P_{zm}$  від сукупності зазначених параметрів та умов виконано за допомогою розрахунків, результати, яких наведені на рис. 2, 3.

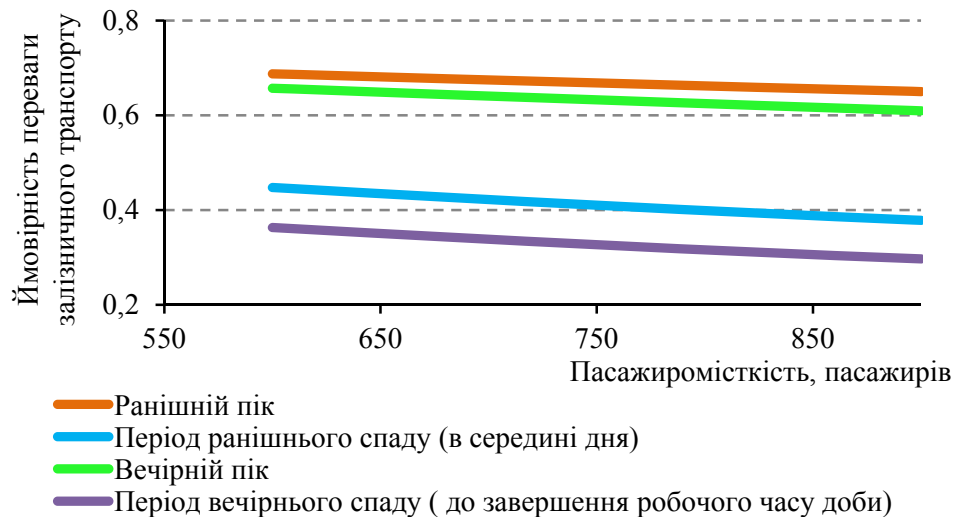


Рис. 2. Залежність імовірності надання пасажиром переваги залізничному транспорту від пасажиромісткості транспортного засобу

З рис. 2 видно, що залежність ймовірності переваги залізничного транспорту від пасажиромісткості приміського електропоїзда збільшується в ранішні та вечірні пікові періоди і сягає від 60 до 70 %, а в періоди ранішнього та вечірнього спаду навпаки зменшується і може коливатися від 29 до 45 %, залежно від пасажиромісткості транспортного засобу.

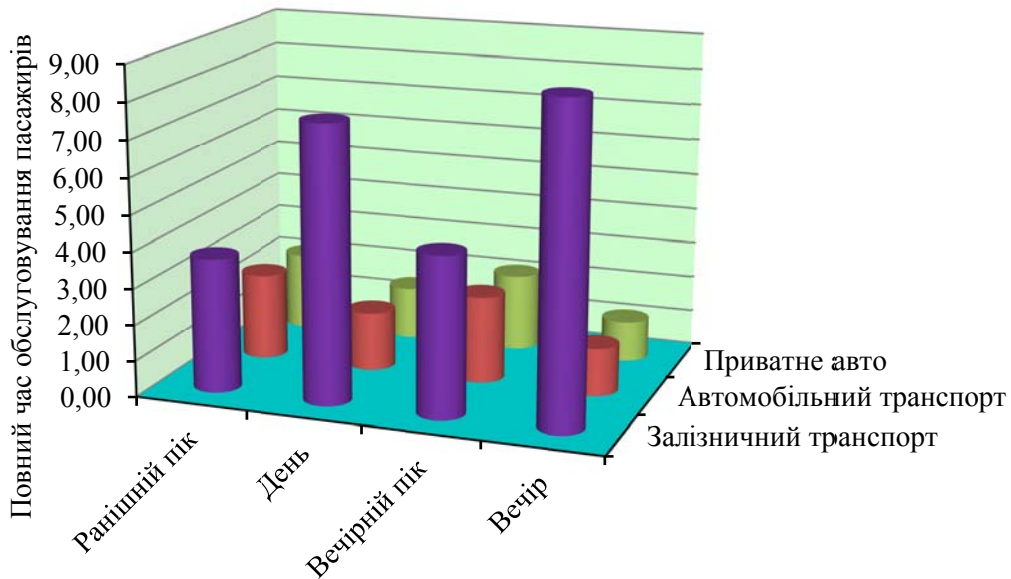


Рис. 3. Залежність повного часу обслуговування пасажирів кожним видом транспорту від періоду доби

З рис. 3 видно як протягом доби змінюється повний час обслуговування конкретним видом транспорту.

З теоретичної точки зору застосування цієї моделі та її призначення полягають у тому, щоб визначити  $P_{zt}$  – ймовірність переваги вибору потенційним пасажиром залізничного транспорту з урахуванням сукупності технологічних, організаційних та економічних параметрів, що впливають на транспортний потік та відображають умови перевезення пасажирів різними видами транспорту.

**Висновок.** Значний ефект для збільшення обсягів перевезень пасажирів залізничним транспортом в умовах його конкуренції з автомобільним є удосконалення організації і технологій доставки пасажирів, передусім шляхом скорочення тривалості очікування поїздки та збільшення маршрутних швидкостей.

Як основні фактори удосконалення системи залізничних приміських пасажирських перевезень в умовах ресурсних обмежень повинні розглядатися технологічні та організаційні фактори, ефективність застосування яких повинна оцінюватися повнотою та якістю задоволення попиту на перевезення і положенням перевізника на транспортному ринку.

Як технологічні фактори виділяються: пасажиромісткість транспортних засобів, інтервали та маршрутні швидкості їх руху, необхідний час доступу до отримання транспортної послуги, а як організаційні – форми організації руху пасажирських транспортних засобів, а саме розклади та графіки руху, зони обслуговування приміських пасажиропотоків, тактовий та модульний принцип застосування рухомого складу, а також можливості перевізників та інших учасників транспортного ринку щодо збільшення кількості та якості транспортних послуг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грушевська Т.М. Технологія приміських перевезень в залежності від інтервалу відправлення і дальності перевезення пасажирів [Текст] / Т.М. Грушевська // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2013. – Вип. 22. – С. 164 – 170.
2. Мироненко В.К. Математична модель організації залізничних приміських пасажирських перевезень на конкурентному транспортному ринку [Текст] / В.К. Мироненко, Т.М. Грушевська, О.Г. Родкевич // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2014. – Вип. 25. – С. 189 – 195.
3. *Натурні* дослідження та математичні моделі приміських пасажирських перевезень / В.К. Мироненко, В.В. Габа, В.І. Мацюк та ін. / Наукоємні технології №4 (24). – 2014. – С. 496 – 502.
4. *Моделювання* транзитних транспортних потоків / В.К. Мироненко, В.І. Мацюк, Г.С. Висоцька, Н.М. Алексійчук // Автошляховик України №6(230). – 2012. С. 17 – 22.
5. *Вентцель Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд., стер. – М.: Наука. – Гл. изд. физ.-мат. лит., 1988. – 208 с.

*Vasul V. Gaba, PhD (Technical Sciences), Professor  
(Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

*Tetiana M. Hrushevska, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

*Victor P. Kostyushko  
(Graduate Student of Transportation Processes Chair, Deputy Head of the Unit of the Kyiv Regional Directorate of Rail Transport Branch «South-Western Railway»)*

RESEARCH OF INFLUENCE TECHNOLOGY AND ORGANIZATIONS  
OF RAIL COMMUTER TRAFFIC ON THEIR VOLUMES UNDER  
COMPETITION

*Article is devoted to the development of technological and organizational measures of application of mathematical models suburban passenger services using technological and competitive advantages of rail transport. We consider proposals on for improving the quality of passenger service and increase the efficiency of rail commuter traffic. Based on the investigations can be carried out comprehensively, systemically important payments related technical, technological and organizational parameters of suburban passenger traffic. These parameters include parameters of the train schedule, passenger vehicles, intervals and shuttle on speed of their movement, the necessary time to obtain access to transport services, the size of passenger platforms, the number and location of them turnstiles, providing the comfortable and safe boarding of passengers on commuter trains commuter passenger service zone, clock and modular principle of rolling stock and opportunities carriers and other participants of the transport market to increase the number and quality of transport services. Are given recommendations of technological and economic nature to increase the probability of choice by a passenger for the journey of railway transport.*

***Keywords:** suburban passenger services, quality of service for passengers, passenger flow, technology of transportation, organization of transportation, passenger rolling stock.*

**REFERENCES**

1. Hrushevska T.M. Tekhnolohiia prymiskykh perevezen v zalezhnosti vid intervalu vidpravlennia i dalnosti perevezennia pasazhyriv [Tekst] / T.M. Hrushevska // Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i tekhnolohii». – K.: DETUT, 2013. – Vyp. 22. – S. 164 – 170.
2. Myronenko V.K. Matematychna model orhanizatsii zaliznychnykh prymiskykh pasazhyrskykh perevezen na konkurentnomu transportnomu rynku [Tekst] / V.K. Myronenko, T.M. Hrushevska, O.H. Rodkevych // Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i tekhnolohii». – K.: DETUT, 2014. – Vyp. 25. – S. 189 – 195.
3. Naturni doslidzhennia ta matematychni modeli prymiskykh pasazhyrskykh perevezen / V.K. Myronenko, V.V. Haba, V.I. Matsiuk ta in. / Naukoiemni tekhnolohii №4 (24). – 2014. – S. 496 – 502.
4. Modeliuvannia tranzytnykh transportnykh potokiv / V.K. Myronenko, V.I. Matsiuk, H.S. Vysotska, N.M. Aleksiiichuk // Avtoshliakhovyk Ukrainy №6(230). – 2012. S. 17 – 22.
5. Venttsel E.S. Yssledovanye operatsyi: zadachy, pryntsyphu, metodolohyia. – 2-e yzd., ster.

УДК: 504.064.3

**Т. І. Висоцька, к.х.н., доцент**

*(доцент кафедри «Екологія і безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**Т. В. Пічкур, к.і.н., доцент**

*(доцент кафедри «Екологія і безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**О. Ю. Тананайко, к.х.н., доцент**

*(доцент кафедри «Аналітична хімія» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, м. Київ)*

### НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ (ХІМІЧНИЙ КОНТЕКСТ)

*Стаття присвячена сучасним тенденціям застосування хімічної науки у розв'язанні екологічних проблем. Розглянуто походження терміна та історичний розвиток сенсорного аналізу. Наведено типи сенсорів, принцип дії та класифікація хімічних сенсорів. Проаналізовано можливості та перспективи, а також основні тенденції застосування сенсорних приладів.*

*Ключові слова: сенсор, детектор, екологічний моніторинг, хімічний аналіз, портативні сенсорні пристрої.*

*Статья посвящена современным тенденциям применения химической науки в решении экологических проблем. Рассмотрены происхождение термина и историческое развитие сенсорного анализа. Приведены типы сенсоров, принцип действия и классификация химических сенсоров. Проанализированы возможности и перспективы, а также основные тенденции применения сенсорных приборов.*

*Ключевые слова: сенсор, детектор, экологический мониторинг, химический анализ, портативные сенсорные устройства.*

Світовий екологічний стан вимагає всебічного і повсякденного аналізу навколишнього середовища. Глобальне забруднення навколишнього середовища і незадовільна екологічна ситуація в промислових регіонах обумовлюють необхідність постійного аналітичного контролю (моніторингу) за забрудненням повітря, якістю питної води і накопиченням токсичних хімічних речовин у ґрунті і рослинності. Тільки вивірені кількісні дані дають підставу для прийняття рішень про проведення необхідних заходів, покликаних унеможливити погіршення стану навколишнього середовища. У зв'язку з цим в якості аналітичних пристроїв у системі екологічного моніторингу все частіше використовуються хімічні сенсори, які дають об'єктивну інформацію

© Висоцька Т. І., Пічкур Т. В., Тананайко О. Ю., 2016

про вміст вуглекислого газу, озону, канцерогенних органічних сполук, оксидів сірки і азоту, радіоактивних ізотопів і безлічі інших мікродомішок.

Тому метою сучасної аналітичної хімії є зниження межі визначення, а також збільшення точності і надійності аналізу. Виникає необхідність у портативних, мініатюрних, інтелектуальних пристроях для моніторингу всього, що нам потрібно, включаючи саму людину (її самопочуття та хвороби). Успіхи у суміжних з хімією областях, зокрема, фізики, біології, медицини, мікроелектроніки, матеріалознавства, привели до появи нового напрямку в аналітичній хімії – хімічної сенсорики.

З арсеналу аналітичної хімії, що нараховує понад 150 методів, застосування хімічних сенсорів є найбільш ефективним і надійним серед методів, які охоплюють весь спектр забруднень навколишнього середовища (повітря, води, ґрунту, донних відкладень і рослинності) – від газів і парів до твердих часток і аерозолів.

*Хімічний сенсор* – це пристрій, який вибірково реагує на конкретний хімічний об'єкт (сполуку або групу сполук) шляхом хімічної реакції і який можна використати для якісного та кількісного визначення аналізу [1-3]. Як правило, хімічні сенсори мають аналоги серед інструментальних методів аналізу. У той же час, на відміну від традиційних методів, хімічний сенсор надає інформацію про склад середовища, що аналізується, без додаткових операцій відбору проби і пробопідготовки (або з мінімальною пробопідготовкою), методика «зашита» в пристрій. Сенсори можуть працювати без втручання оператора, в режимах «*on-line*» та «*off-line*», вони поєднані з системами накопичення і обробки експериментальних даних. На сучасному етапі розроблені різноманітні хімічні і біохімічні сенсорні пристрої для контролю якості об'єктів довкілля, промислових і біологічних об'єктів, а також в галузі охорони здоров'я.

У літературі також зустрічається поняття «*детектор*». Детектор (лат. *detector* – той, що відкриває, виявляє) – це пристрій для визначення та перетворення енергії чи фізичного поля (випромінювання) в інший вид енергії, зручний для індикації та вимірювання. Вважається, що детектор реагує на присутність енергії чи фізичного поля, а хімічний сенсор дозволяє провести напівкількісне чи кількісне визначення дослідженого компонента. Детектори як і сенсори можна використовувати також у проточному автоматичному режимі. У літературі доволі часто поняття «сенсор» і «детектор» підміняють одне іншим.

Поняття сенсор походить від англійського слова «*sense*» – відчуття, відчувати. Портативні пристрої використовували для встановлення хімічного складу середовища. Конструкція сенсору включала чутливий елемент та перетворювач. Перші хімічні сенсори відносять до кінця XIX – початку XX ст., коли з'явилися двоелектродна комірка Ф. Кольрауша (1885), металевий електрод В. Нернста (1888), скляний електрод М. Кремера і Ф. Габера (1906-1909). Такі прилади дозволяли проводити аналіз безпосередньо в одну стадію, оминаючи тривалу процедуру пробопідготовки.

З розвитком проточних методів аналізу у 50-х – 70-х роках XX ст. пов'язаний наступний етап розвитку хімічних сенсорів. У той час були розроблені газовий хроматограф, амінокислотний аналізатор (50-ті роки), а також іонний хроматограф (70-ті роки). З'явилася гостра необхідність в детекторах, для контролю речовини у потоці в автоматичному режимі. Як відомо, однією з відмінних рис сенсору і детектору є можливість роботи в автоматичному проточному режимі [2, 4].

Розробки П. Бергвельда, який у 1972 р. поєднав іон-селективну чутливу мембрану із затвором напівпровідникового польового транзистора, вважають наступним етапом розвитку хімічних сенсорів. Ця робота привела до розвитку іон-селективних напівпровідникових польових транзисторів, а також сприяла широкому впровадженню планарної технології мікроелектроніки у виробництво дешевих мініатюрних сенсорів. Були створені набори сенсорів (*sensor arrays*). З'явилася можливість розмістити декілька самостійних сенсорів на одному напівпровідниковому кристалі і створити так звану лабораторію на чіпі (*lab-on-chip*), що має у своєму складі мікропроцесор для обробки одержаних результатів [4].

Поєднання аналізу з інтелектуальним програмним забезпеченням мало принципове значення для розвитку аналітичної хімії. По-перше, покращилася селективність визначення за рахунок інтелектуалізації технічних засобів. По-друге, з'явилась реальна перспектива створити пристрої, рівні за можливостями органам відчуттів людини: електронний ніс, електронний язик. Розвиток сучасної хемосенсоріки зробив реальним вирішення задачі оцінки узагальнених показників якості об'єктів довкілля, харчових продуктів, біологічних та фармацевтичних препаратів та інших важливих для людства об'єктів.

Історія розвитку хімічних сенсорів у XXI ст. тісно пов'язана з розвитком мікротехніки, нанохімії та нанотехнології [2 – 5, 8]. На сучасному етапі хімічні сенсори – це потужний засіб не лише аналітичної хімії, але і діагностики у широкому розумінні цього слова: у технології, медицині, екології та інших галузях народного господарства і у побуті [3].

Умовно всі сенсори можна розділити на три типи: *фізичні* (їх частіше називають датчиками), що використовуються для визначення фізичних параметрів: відстані, температури, тиску та ін. (в цьому курсі не розглядаються); *хімічні* – використовують для якісного і кількісного визначення хімічних речовин. В залежності від наявності та концентрації таких речовин у сенсорі виникає хімічний або фізичний відгук різної інтенсивності; *біосенсори* – відрізняються від хімічних тим, що концентрація речовини, що визначається, вимірюється за допомогою матеріалу біологічної природи [1].

Зупинимось детальніше на хімічних сенсорах. *Хімічний сенсор* – це портативний пристрій для вибіркового і, часто безперервного, у режимі реального часу визначення концентрації речовини в одну стадію, оминаючи пробопідготовку. Методика «зашита» в пристрій і не змінюється. У будь-якому хімічному сенсорі є такі основні компоненти: блок, де проходить хімічна реакція (хімічно-чутливий шар, або розпізнаючий елемент), блок-перетворювач (трансдьюсер), що перетворює сигнал у фізичний та електронний блок обробки сигналу трансдьюсера. Загальна будова хімічного сенсора наведена на рис. 1.

При контакті аналіту з чутливим шаром відбувається хімічна реакція, що супроводжується зміною фізичного параметру (кольору, світіння, потенціалу, сили струму, теплоти, маси та ін.). Трансдьюсер реагує на таку зміну і перетворює енергію, що виникає в ході реакції, в електричний чи світловий сигнал, величина якого вимірюється за допомогою світлочутливого абоелектронного пристрою. Цей сигнал і є аналітичним, оскільки він дає пряму інформацію про склад аналіту [1-3]. Сучасні хімічні сенсори можуть функціонувати на принципах хімічних реакцій, за умови, якщо аналітичний сигнал виникає в результаті взаємодії аналіту з чутливим шаром, або ж на фізичних принципах, коли вимірюється фізич-

ний параметр об'єкта, що аналізується (поглинання, або відбиття світла, маса, провідність та ін.) [2].

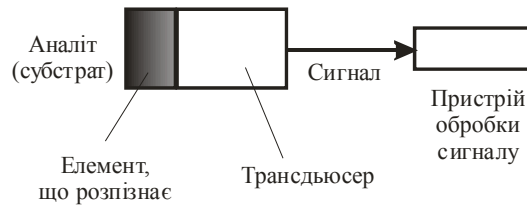


Рис. 1. Схема хімічного сенсору [1]

Поєднання чутливого елемента і перетворювача в єдиний аналітичний пристрій не є формальною процедурою. Це принципово новий підхід до практики аналізу. Одна з суттєвих переваг сенсору у порівнянні з класичними аналітичними приладами – це можливість його використання за межами лабораторії в польових умовах без складного обладнання [4]. Зараз перевага надається мініатюрним сенсорам, що здатні працювати в проточному режимі з електронною обробкою аналітичного сигналу.

За типом перетворювача всі хімічні сенсори умовно можна розділити на такі групи [2]:

1. Електрохімічні. Потенціометричні сенсори (іон-селективні електроди (ІСЕ); іон-селективні напівпровідникові польові транзистори (ІСНПТ); вольт- та амперметричні сенсори, включаючи тверді газові сенсори; кондуктометричні; напівпровідникові газові сенсори (механізм дії двох останніх не включає хімічну реакцію).

2. Оптичні. В оптичних сенсорах визначення може бути пов'язане з хімічною реакцією (оптоди), або не пов'язане з нею (ІЧ-газові сенсори). В залежності від типу сенсору вимірюється: поглинання, відбиття, люмінесценція чи розсіювання електромагнітного випромінювання. Діапазони довжин хвиль, що використовуються в оптичних сенсорах, включають УФ, видиме та ІЧ випромінювання.

3. Мас-чутливі (гавіметричні) сенсори. Цей тип сенсорів базується на використанні оберненого п'єзоелектричного ефекту. Включає п'єзорезонансні сенсори та сенсори на основі поверхневих акустичних хвиль (ПАХ). Такі сенсори особливо корисні для визначення газів а також у біохімічних методах аналізу.

4. Термочутливі сенсори. Сенсори, що відносять до цієї групи, ще називають калориметричними. Їх дія базується на реєструванні теплового ефекту хімічної реакції за допомогою термісторів чи пеллісторів. На такому принципі базується дія деяких протипожежних сенсорів, а також ряду біосенсорів.

5. Інші типи сенсорів, включаючи магнітні.

Класифікація сенсорів за типом перетворювача наведена на рис. 2.

Серед хімічних та біохімічних сенсорів найбільш розповсюджені електрохімічні, а саме: потенціометричні та амперметричні. В таких сенсорах компонент, що визначається, реагує безпосередньо з чутливим шаром на електроді або в об'ємі розчину біля електроду. Неослабний інтерес також відмічається до оптичних сенсорів.

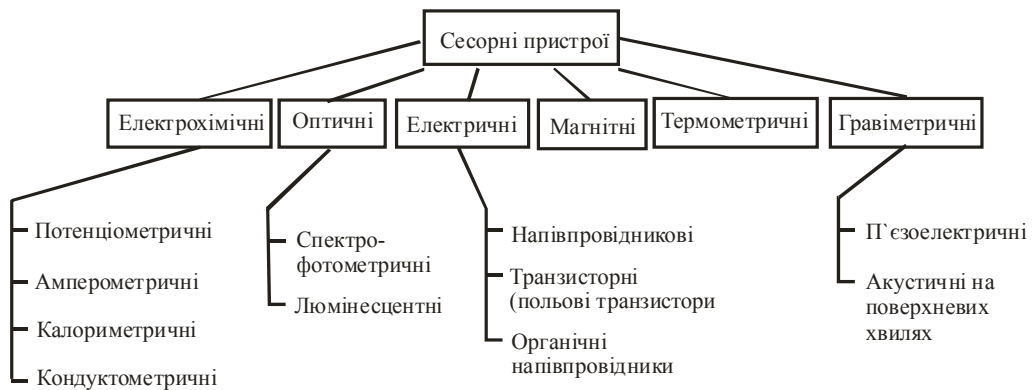


Рис. 2. Класифікація хімічних сенсорів [3]

**Характеристики ідеального сенсора.** Виходячи з особливостей та відмінних рис хімічних сенсорів можна сформулювати вимоги, що висуваються до ідеального сенсора:

- компактність, мініатюрність;
- самокалібровка;
- швидкий відгук – час отримання аналітичного сигналу від кількох секунд до хвилин;
- автоматизація;
- регенерація та можливість багаторазового використання;
- низька вартість у порівнянні зі стаціонарними приладами;
- можливість проведення аналізу на місці відбору проби;
- висока вибірковість до аналіту;
- достатня чутливість;
- можливість проведення напівкількісного і, навіть, кількісного визачення.

Успіхи в галузі хімічних і біохімічних сенсорів пов'язані з модернізацією чутливих елементів, їх комерційним виробництвом і більш широким використанням у повсякденному житті. Основна увага приділяється розвитку масового виробництва недорогих мініатюрних сенсорів для проведення аналізу поза межами лабораторії. У цьому плані перспективними є одноразові тест і сенсорні системи, на основі планарних чутливих елементів. Прикладом таких сенсорів можуть бути електрохімічні сенсори, що надруковані на принтері («screen-printed» (друковані) планарні електроди), де замість звичайних чорнил використовують вуглецеву пасту з відповідними добавками – модифікаторами. Для створення макету майбутнього електрода застосовують відповідні програми комп'ютерної графіки. Після цього електроди друкують на листі формату А4, це, так звані, «screen-printed» електроди [12,13]. Вартість таких електродів невисока, оскільки вони виготовляються автоматизовано за планарною технологією у великих кількостях. Електрохімічні сенсори на основі таких одноразових електродів застосовуються в медичній діагностиці, контролі на підприємствах, аналізі об'єктів довкілля. Наприклад, в автомобільній промисловості щорічно випуска-

ється мільйони дешевих сенсорів на кисень, в медичній діагностиці – сенсори на глюкозу, холестерол у крові, сенсори на лактозу і т.д. Цікавим напрямком розвитку сенсорів є об'єднання в один блок на полімерній чи керамічній підложці чутливого елемента сенсора, перетворювача і гнучкого екрану, на який виводиться результат вимірювання, так звана, друкована сенсорна система, «*all-printed biosensing system*». Інтелектуальні «*smart*» сенсори – інтегровані міні-прилади які розробляються шведською компанією для експрес визначення глюкози і лактози у біологічних рідинах [15]. Їх розмір не перевищує банківської кредитної картки, на одній підложці можуть міститися декілька сенсорних елементів на різні аналіти. Такі сенсорні системи одноразові і мають невисоку вартість.

З метою збільшення чутливості, скорочення часу формування сигналу аналітичного відгуку, зменшення об'єму проби і підвищення надійності, вимірювання часто проводять у проточному режимі, а також виготовляють мікросенсори, що об'єднані у набори мікрочіпів. Технологія виготовлення друкованих плат – *мікро- чи нанолітографія*, що застосовується у виробництві мікроелектронних схем, добре підходить для виробництва чіпів. Таким чином отримують чутливі елементи на основі напівпровідникових польових транзисторів, набори сенсорів, мікрочіпи, мікро- та нанофлюїдні системи. Для виготовлення таких планарних сенсорів використовують тонко- та товстоплівкову технології, а також інтегровані технології на поверхні керамічних, кремнієвих і полімерних пластин. Ще одним досягненням мікро- і нано-літографії є розробка дуже малих за розміром (не більше кількох мм) сенсорів, наприклад, для застосування *in-vivo*. Мініатюрні сенсорні чіпи можна розмістити на кінчику голки чи катетера і вести безпосередньо в організм [13]. Вони потребують мінімальної кількості проби (до 100 мкл) та реагентів і мають швидкий час відгуку. Такі сенсори можна використовувати багаторазово.

Ще одним перспективним напрямком розвитку сенсорів є створення на одній підложці набору чутливих елементів – «*sensor array*». Такі системи дозволяють проводити визначення одразу декількох компонентів у невеликому (менше 1 мл) об'ємі проби, якщо кожний чутливий елемент має достатньо високу селективність по відношенню до певного аналіту [12]. На основі таких наборів, що містять чутливі елементи невисокої вибірковості, розробляються системи для розпізнавання певної сполуки, або ряду сполук у складних об'єктах. Це, так звані «*електронний ніс*» та «*електронний язик*», системи по розпізнаванню образів. Для використання наборів сенсорів необхідний достатній складний математичний апарат обробки отриманих даних і попередня система калібровки (навчання) сенсору [14].

Нещодавно розроблені компаніями портативні мініатюрні сенсорні пристрої на основі напівпровідникових польових транзисторів, планарних друкованих електродів, систем інтегрованої оптики, ПАХ-сенсорів можна приєднати до смартфона за допомогою спеціального модуля або, навіть, завдяки бездротовій системі передачі інформації. Після установки відповідної програми, смартфон починає відігравати роль блоку обробки інформації. У майбутньому мініатюрні сенсори, мікрофлюїдні системи і чіпи, друковані сенсорні системи складуть основу лабораторій на-чіпі (*lab-on-chip*), що дозволить значно скоротити час аналізу, витрати реагентів та обладнання, об'єм проби, що аналізується, максимально

автоматизувати процес аналізу, а також досягти високої чутливості і селективності визначення із збереженням необхідної точності [12].

Протягом останніх кількох років цікавість до розвитку сенсорів носить експонентний характер. Можна обґрунтовано прогнозувати, що в самому найближчому майбутньому ми станемо свідками появи цілого сімейства пристроїв мультисенсорного типу, інтегрованих в портативні прилади спеціального призначення. За своїми основними технічними параметрами такі пристрої не будуть поступатись приладам сучасної аналітики [16].

Актуальність і практична значущість сенсорів обумовлена можливістю виявлення цілого ряду критично важливих для безпеки людей забруднювачів. Вирішення цієї екологічної проблеми має пріоритетне значення для електронної промисловості, хімічної промисловості, нафтогазової промисловості (видобуток, транспортування, зберігання), військових технологій та ін.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Б. Эггинс, Химические и биологические сенсоры, М., Техносфера, 2005, 335 с.
2. Р.В. Каттралл, Химические сенсоры, М. Научный мир, 2000, 143 с.
3. Г.К. Будников Что такое химические сенсоры. Соросовский образовательный журнал, 1998, № 3.
4. О.М. Петрухин, О.О. Максименко. Сенсоры в аналитической химии, Рос. Хим. журн., 2008, т. LII, № 2.
5. М. Отто, Современные методы аналитической химии, М. Техносфера, 2006.
6. Principles of Chemical and Biological Sensors, Ed. By D. Diamond, John Wiley and Sons Inc., New-York, 1998.
7. Э. Тернер, И. Кубе, Дж. Уилсон, Биосенсоры: основы и приложения. М.: Мир, 1992.
8. Аналитическая химия. В 2 томах под ред. Р. Кельнера, Ж-М Мерме, М. Отто, Г.М. Видмера, М.: Мир, 2004.
9. A.J. Cunningham, Introduction to Bioanalytical Sensors, New-York, 1998.
10. Biosensors for food analysis, Ed. by A.O. Scott, The RSC, London, 1998.
11. Г.К. Будников, В.Н. Майстренко, М.Р. Вяселев, Основы современного электрохимического анализа, М., Мир, 2003.
12. А. Р. F. Turner, Chem. Soc. Rev., 2013, 42, 3184.
13. Химические сенсоры в системе экологического мониторинга / И. Г. Казьмина, Л. Т. Рязанцева, В. И. Федянин / Вестник Воронежского государственного технического университета. – № 2. – том 7. – 2011.

***Tetyana I. Vysotska, PhD (Chemistry Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Ecology and Life Safety Chair, State University for  
Transport Economy and Technologies)***

***Tetyana V. Pichkur, PhD (Hisotry Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Ecology and Life Safety Chair, State University for  
Transport Economy and Technologies)***

***Oksana Yu. Tananaiko, PhD (Chemistry Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Analytical Chemistry Chair, Taras Shevchenko Na-  
tional University of Kyiv)***

### LATEST TECHNOLOGIES IN MONITORING OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS (THE CHEMICAL CONTEXT)

*The article is devoted to current trends in the application of chemistry in solving environmental problems. Considered the origin of the term and the historical development of sensory analysis. The types of sensors, and the principle of operation classification of chemical sensors are given. Reviewed the possibilities and prospects, and major trends in use touchscreen devices.*

*Keywords: sensor detector, environmental monitoring, chemical analysis, portable sensor device.*

## REFERENCES

1. B. Eggins, Himicheskie i biologicheskie sensory [Chemical and biological sensors], M., Tehnosfera, 2005, 335 s.
2. R.V. Kattrall, Himicheskie sensory [Chemical sensors], M. Nauchnyy mir, 2000, 143 s.
3. G.K. Budnikov Chto takoe himicheskie sensory [What is the chemical sensors]. Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal, 1998, #3.
4. O.M. Petruhin, O.O. Maksimenko. Sensoryi v analiticheskoy himii [Sensors in analytical chemistry], Ros. Him. Zhurn., 2008, t. LII, #2.
5. M. Otto, Sovremennyye metodyi analiticheskoy himii [Modern methods of analytical chemistry], M. Tehnosfera, 2006.
6. Principles of Chemical and Biological Sensors, Ed. By D. Diamond, John Wiley and Sons Inc., New-York, 1998.
7. E. Terner, I. Kube, Dzh. Uilson, Biosensoryi: osnovyi i prilozheniya [Biosensors: fundamentals and applications]. M.: Mir, 1992.
8. Analiticheskaya himiya [Analytical Chemistry]. V 2 tomah pod red. R. Kelnera, Zh-M Merme, M. Otto, G.M. Vidmera, M.: Mir, 2004.
9. A.J. Cunningham, Introduction to Bioanalytical Sensors, New-York, 1998.
10. Biosensors for food analysis, Ed. by A.O. Scott, The RSC, London, 1998.
11. G.K. Budnikov, V.N. Maystrenko, M.R. Vyaselev, Osnovyi sovremennogo elektrohimicheskogo analiza [Fundamentals of modern electrochemical analysis], M., Mir, 2003.
12. A. P. F. Turner, Chem. Soc. Rev., 2013, 42, 3184.
13. Himicheskie sensoryi v sisteme ekologicheskogo monitoringa [Chemical sensors in environmental monitoring system] / I. G. Kazmina, L. T. Ryazantseva, V. I. Fedyanin / Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. – # 2. – tom 7. – 2011.

УДК 629.4.072.7 : 629.067 : 159.9.072.423

**Я. П. Петин**

*(машинист электропоезда, помощник машиниста электровоза, Локомотивное депо Киев-Пассажирский регионального филиала «Юго-Западная железная дорога» ПАО «Украинская железная дорога»)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ НОРМЫ МАШИНИСТА В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫМ ПОЕЗДОМ

*Особенности управления машинистом скоростным поездом исследованы лично автором в различных условиях эксплуатационной работы как на железных дорогах колеи 1520, так и 1435 мм. Определён алгоритм проведения экспериментальных исследований без применения специальных (дополнительных) технических устройств. Разработана методика расчёта индивидуальной нормы машиниста скоростного поезда, построены соответствующие кривые варьирования индивидуальной нормы..*

*Ключевые слова:* скоростной поезд, индивидуальная норма, человеческий фактор, безопасность движения поездов, контроль состояния, операционная деятельность.

*Особливості управління машиністом швидкісним поїздом досліджені особисто автором у різних умовах експлуатаційної роботи як на залізницях колії 1520, так і 1435 мм. Визначений алгоритм проведення експериментальних досліджень без застосування спеціальних (додаткових) технічних пристроїв. Розроблена методика розрахунку індивідуальної норми машиніста швидкісного поїзда, побудовані відповідні криві варіації індивідуальних норм.*

*Ключові слова:* швидкісний поїзд, індивідуальна норма, людський фактор, машиніст поїзда, операційна діяльність, безпека руху поїздів, контроль стану.

**1. Введение.** В железнодорожных администрациях (компаниях), уже имеющих некоторый опыт скоростного движения, как правило, применяются современные технические средства управления скоростным подвижным составом, обеспечения безопасности движения поездов.

Однако, контролю и мониторингу состояния машиниста, его индивидуальным особенностям профессиональной деятельности в части непосредственного управления поездом, исследованию нормы поведения в этом смысле внимание, как правило, не уделяется. Или оно совершенно незначительно. Известно, что каждый поезд имеет свои особенности управления, обусловленные:

– техническими характеристиками (весом, длиной, количеством подвижных единиц и др.);

© Петин Я. П., 2016

- техническим состоянием (исправностью тяговых подвижных единиц, состоянием тормозной системы и т. д.);
- «человеческим фактором» (далее – ЧФ) – физическим и психофизиологическим состоянием локомотивной бригады, прежде всего машиниста;
- состоянием внешней среды: погодные условия, особенности инфраструктуры и т. п.

Несмотря на то, что подвижной состав для скоростного движения имеет в основном постоянный вес и длину, особенности управления им очень существенно зависят от состояния машиниста во время управления поездом, его надёжности в целом, способности своевременно и адекватно реагировать на многочисленные изменения внутренней и внешней среды.

С одной стороны, в последнее время к традиционным мерам обеспечения безопасности движения поездов добавилось немало дополнительных. Например, современные программы испытаний, усовершенствованные конструкции подвижного состава, элементов инфраструктуры, систем обеспечения жизни и здоровья пассажиров при крушении (аварии) и др.

Однако с другой стороны, существенных продвижений в части повышения надёжности «человеческого фактора», основным представителем которого является именно машинист поезда, непосредственно отвечающий за управление и безопасность движения поезда [1], пока ещё не наблюдается. А статистика нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте по всему миру не утешительная – как минимум 80 % всех транспортных происшествий происходят именно по вине «человеческого фактора» [2].

Таким образом, актуальность задачи повышения надёжности машиниста требует определения и учёта его индивидуальной нормы как функционального оптимума основного звена системы «обеспечения надлежащего уровня безопасности движения», имеющей высший приоритет в соответствии с Основными направлениями Концепции стратегического развития железнодорожного транспорта [3].

**2. Анализ литературных источников и постановка проблемы.** Особенности управления скоростными поездами на железных дорогах пространства «1520» уделяется недостаточно внимания. Это связано, как правило, с относительно небольшим «возрастом» такого вида движения поездов, отсутствием достаточного опыта их эксплуатации и т. п.

В то же время, на пространстве «1435», имеющем значительный опыт в этом виде движения поездов, в последнее время стали довольствоваться накопленным опытом и «охладели» к актуальности рассматриваемой темы. Подтверждением тому являются последние катастрофы со скоростными поездами в Европе и США, которые привели к человеческим жертвам.

Так, например, в [4] представлены некоторые варианты так называемых эмпирических правил вождения поезда квалифицированным машинистом с точки зрения прикладных нечётких систем. При этом считается, что машинист управляет движением поезда с учётом целей управления, которые можно выразить как «успешно остановиться», «точно остановиться», «высокая комфортабельность» и т. п.

Возможно, с точки зрения прикладных нечётких систем это вполне реальная картина, однако весь процесс управления поездом содержит в себе гораздо более широкое поле элементов, которые необходимо учитывать при исследовании природы вождения скоростных поездов.

В [5] очень обширно рассмотрены особенности управления поездом с разных точек зрения, уделено много внимания специфическим профессиональным тонкостям вождения поездов. Приведены сведения по ошибочным действиям машинистов и их зависимости от различных факторов. В то же время, результирующая картина в этой работе представляет собой некий общий знаменатель, под который приведены рассматриваемые темы, т. е. до углубления в индивидуальные особенности конкретного машиниста при управлении поездом дело пока ещё не дошло.

Авторы [6] разработали способ контроля работоспособности машиниста поезда исходя из определения текущего значения его физиологических параметров, ввода текущей информации об условиях движения поезда, подачи машинисту команды, требующей ответа, и определения соответствия состояния машиниста критериям работоспособности при смысловом соответствии команды и ответа. Кроме того, что такой подход «нагружает» машиниста дополнительными действиями, отвлекающими его от непосредственного управления поездом, особенно скоростным, это ещё требует использования дополнительных технических устройств и не учитывает индивидуальные особенности каждого машиниста.

В этих работах исследованы лишь некоторые аспекты особенностей профессиональной деятельности машиниста в части непосредственного управления скоростным поездом. Не решены актуальные проблемы автоматического оперативного определения функционального состояния машиниста с учётом всех необходимых факторов внутренней и внешней среды общей динамической системы «машинист – тяговый подвижной состав – инфраструктура ж. д. транспорта».

Разработанные в последнее время устройства, а также предлагаемые новые варианты решения основываются, как правило, на старых общепринятых аксиомах, требуют применения дополнительных технических устройств, увеличивают профессиональную нагрузку на машиниста.

Перспективные же направления развития железнодорожного транспорта, особенно скоростного движения, требуют существенного повышения уровня безопасности движения. А это, в свою очередь, обуславливает необходимость индивидуального подхода к контролю функционального состояния машиниста скоростного поезда (или поезда вообще), как главного звена (объекта) в рассматриваемой традиционной для эргономики системе «человек – техника – среда».

**3. Цель и задачи исследования.** Проведённое исследование ставило целью определение индивидуальной нормы деятельности машиниста в управлении поездом в различных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- лично детально исследовать особенности управления машинистом скоростным поездом в различных условиях эксплуатационной работы;
- определить порядок проведения экспериментальных исследований без применения специальных (дополнительных) технических устройств;
- разработать методику расчёта индивидуальной нормы машиниста;
- выполнить исследования и построить кривые варьирования индивидуальной нормы.

**4. Материалы и методы исследования и построения индивидуальной нормы машиниста скоростного поезда**

**4.1. Исходный материал и методы исследований.** При исследовании особенностей управления машинистом скоростным поездом для построения его индивидуальной нормы наиболее целесообразно рассматривать движение в режиме «ручного» управления на участке с заданной (постоянной) скоростью, которую необходимо выдерживать с достаточной точностью для выполнения графика движения поездов с одной стороны, и обеспечения безопасности движения – с другой.

Однако этот метод можно применять и для других условий следования поезда, например, в местах перелома установленных максимально допустимых скоростей движения, когда аналогичным порядком определяется характер управления машинистом поездом: темп снижения (увеличения) скорости, фактическая (мгновенная) скорость в заданных точках и др.

Оценка особенностей управления машинистом скоростным поездом производится путём создания и последующего анализа достаточно большой выборки вариант (несколько сотен, тысяч) – мгновенных значений фактической скорости движения на расчётном полигоне в режиме «ручного» управления.

Такая выборка создаётся методом последовательной фиксации, сохранения, расшифровки, систематизации данных, полученных путём использования соответствующего программно-аппаратного комплекса скоростного поезда, например, КЛУБ-У или аналогичного.

На основании полученной статистической совокупности данных производятся соответствующие расчёты, дающие основание для построения соответствующих диаграмм и кривых индивидуальной нормы.

В проведенных исследованиях использовались:

- личный опыт вождения автором поездов разных категорий и на различных типах ТПС;
- аналитические методы;
- методы математической статистики при анализе экспериментальных данных;
- теория нормы при оценке состояния машиниста в реальных условиях.

Исходя из того, что работники локомотивных бригад, прежде всего машинисты, относятся к профессиям, непосредственно связанным с движением поездов, и на них распространяются все требования и положения, которые касаются этой категории железнодорожников [1], методы исследования во всех случаях соответствуют требованиям этих положений.

Исследования проводились на участках магистральных железных дорог общего пользования пространства «1520» и «1435», на которых предусмотрено регулярное движение ускоренных или скоростных пассажирских поездов.

**4.2. Исследование индивидуальных особенностей машиниста в управлении скоростным поездом.**

*4.2.1. Планирование эксперимента.* При проведении экспериментальных исследований максимально возможно учитывались факторы, существенно влияющие на особенности управления скоростным поездом, которые имеют непостоянный характер:

- а) длина состава поезда (количество вагонов в схеме состава), включение тяги/рекуперативного торможения на моторных вагонах;
- б) уровень скорости на участках проведения исследований (низкий, средний, высокий);

- в) профиль пути экспериментальных участков (преимущественно равнинный, ломаный, устойчивый спуск/подъём);
- г) план пути (сравнительно прямой или преимущественно криволинейный);
- д) время суток (утро, день, вечер, ночь);
- е) время года (лето, осень/весна, зима).

Остальные внешние факторы на экспериментальных участках были постоянными или принимались таковыми ввиду незначительного влияния на результаты вычислений:

- 1) средства сигнализации и связи при движении поездов – трёхзначная односторонняя или двухсторонняя автоматическая блокировка на основе рельсовых цепей (релейная или с тональными рельсовыми цепями) с фиксированными границами блок-участков и децентрализованным размещением оборудования;
- 2) система электроснабжения тяги – переменный ток промышленной частоты 50 Гц номинальным напряжением 25 кВ, постоянный ток номинальным напряжением 3 кВ;
- 3) одинаковое (равнозначное) техническое состояние составов электропоездов, принимающих участие в исследованиях.

Для проведения наиболее показательных исследований была отобрана группа из 3 машинистов  $M_1, M_2, M_3$  со значительно различающимися индивидуальными характеристиками.

Обобщённые индивидуальные характеристики отобранных машинистов приведены в табл. 4.1.

*Таблица 4.1. Индивидуальные характеристики машинистов*

Машинист, $M_i$	Возраст, лет	Профильное образование	Стаж работы общий, лет	Стаж работы машинистом, лет	Количество прав управления локомотивами, МВПС	Класс квалификации	Опыт предыдущей работы машинистом, род ПС
$M_1$	42	Высшее	22	17	3	1	Тепловоз, Электровоз
$M_2$	47	Среднее специальное	25	19	2	1	Электровоз
$M_3$	37	Среднее специальное	15	9	1	2	Электропоезд

Экспериментальные исследования проводились на новых современных двухсистемных скоростных электропоездах:

- девятивагонных серии HRCS2 производства корейской компании Hyundai Rotem;
- шестивагонных серии EJ675 производства чешского концерна Skoda Vagonka.

Для проведения исследований из многообразия плечей обслуживания электропоездами выбрано 3 участка с разными заданными для постоянного поддержания максимальными скоростями  $V_z$ : 40, 90 и 160 км/ч. Это позволяет выявить

также и особенности восприятия скорости машинистом на различных её значениях благодаря существенной разнице между заданными  $V_z$  во взаимосвязи с результатами его умственной деятельности, которыми будут соответствующие активные воздействия на систему управления поездом, что и отразится на зашифрованных в КЛУБ-У мгновенных скоростях  $V_i$ .

4.2.2. *Создание основных статистических совокупностей данных.* Рассмотрим алгоритм создания рядов мгновенных скоростей  $V_i$  и соответствующей статистической совокупности на примере управления скоростным поездом машинистом  $M_j$  на участке с заданной скоростью  $V_z = 160$  км/ч.

Исходя из длины рассматриваемого расчётного участка с заданной скоростью в 21 км, для достаточной точности последующих вычислений принимается расстояние между элементами  $S_i$ , на которых будут расшифровываться показания мгновенной скорости  $V_i$ , в 0,1 км. Это соответствует порядка 2,25 сек времени следования скоростного поезда при расчётной скорости 160 км/ч, что вполне достаточно для высокого качества расчётов и получения детальной, поэлементной картины характера управления поездом машинистом.

В то же время, как на высоких, так и на низких скоростях, что более актуально, вполне возможно считывать показания  $V_i$  по времени с необходимой дискретностью, например, каждую секунду. Алгоритм расчётов при этом по своей сути не изменится.

Учитывая рекомендации [7], для достижения высокой точности расчётов количество вариант в выборках генеральных совокупностей мгновенных скоростей выбиралось от нескольких сотен до тысячи и более.

Соответствующие первичные экспериментальные данные и результаты расчётов приведены в табл. 4.2. Вычисления производились в программной среде Microsoft Office Excel 2010 Pro+.

Данные в табл. 4.2 представлены в сокращённом виде, но это не искажает общую картину исследования. Их динамика видна в приведённых первых 10 и последних 10 элементах рядов вариант. Вычисления по всем остальным элементам производились аналогичным порядком.

Как видно из табл. 4.2, в первой поездке  $P_1$  (при  $k = 1$ ) на первом элементе ( $i = 1$ ) координата имеет значение  $S_1 = 25,4$ , начальная мгновенная скорость –  $V_1^1 = 154$  км/ч. Варианта второго ( $i = 2$ ) элемента на соответствующей координате  $S_2 = 25,5$  имеет значение  $V_2^1 = 153$  км/ч. Таким же образом создаётся весь ряд вариант первой экспериментальной поездки  $P_1$  для всех элементов  $i \in [1, 212]$ .

Для всех поездок  $k \in [1, 5]$  этого же машиниста таким же образом создаются ряды вариант  $V_i^k$ .

Формирование статистических совокупностей рядов вариант для всех машинистов и заданных скоростей движения  $V_z = 40, 90$  км/ч выполняется аналогичным порядком.

**ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ**

4.2.3. *Обработка результатов эксперимента.* Для получения количественных и качественных характеристик для каждого машиниста, всех заданных скоростей и поездок рассчитываются соответствующие статистические величины.

*Таблица 4.2. Экспериментальные и расчётные данные поездок машиниста  $M_1$  на участке с  $V_z = 160$  км/ч*

M		M1																		
Vz		160																		
i	Si	Pi					Vim	si	Vim-si	Vim+si	Vim-sVim	Vim+sVim	VPm	VPm-sVim	VPm+sVim					
		1	2	3	4	5														
		Vi																		
1	25,4	154	154	157	151	153	153,80	2,17	151,63	155,97	152,93	154,67	158,05	157,18	158,93					
2	25,5	153	156	158	153	155	155,00	2,12	152,88	157,12	154,13	155,87	158,05	157,18	158,93					
3	25,6	153	158	160	154	157	156,40	2,88	153,52	159,28	155,53	157,27	158,05	157,18	158,93					
4	25,7	153	159	160	155	158	157,00	2,92	154,08	159,92	156,13	157,87	158,05	157,18	158,93					
5	25,8	153	160	160	156	159	157,60	3,05	154,55	160,65	156,73	158,47	158,05	157,18	158,93					
6	25,9	154	161	159	157	160	158,20	2,77	155,43	160,97	157,33	159,07	158,05	157,18	158,93					
7	26,0	153	160	161	158	160	158,40	3,21	155,19	161,61	157,53	159,27	158,05	157,18	158,93					
8	26,1	153	160	161	159	160	158,60	3,21	155,39	161,81	157,73	159,47	158,05	157,18	158,93					
9	26,2	152	159	160	159	159	157,80	3,27	154,53	161,07	156,93	158,67	158,05	157,18	158,93					
10	26,3	152	159	160	159	158	157,60	3,21	154,39	160,81	156,73	158,47	158,05	157,18	158,93					
204	45,7	158	158	160	159	151	157,20	3,56	153,64	160,76	156,33	158,07	158,05	157,18	158,93					
205	45,8	158	158	160	158	151	157,00	3,46	153,54	160,46	156,13	157,87	158,05	157,18	158,93					
206	45,9	157	159	159	158	150	156,60	3,78	152,82	160,38	155,73	157,47	158,05	157,18	158,93					
207	46,0	158	160	158	159	150	157,00	4,00	153,00	161,00	156,13	157,87	158,05	157,18	158,93					
208	46,1	159	159	158	160	149	157,00	4,53	152,47	161,53	156,13	157,87	158,05	157,18	158,93					
209	46,2	159	159	159	159	148	156,80	4,92	151,88	161,72	155,93	157,67	158,05	157,18	158,93					
210	46,3	158	158	160	159	147	156,40	5,32	151,08	161,72	155,53	157,27	158,05	157,18	158,93					
211	46,4	157	157	160	158	147	155,80	5,07	150,73	160,87	154,93	156,67	158,05	157,18	158,93					
212	46,5	156	156	159	158	146	155,00	5,20	149,80	160,20	154,13	155,87	158,05	157,18	158,93					
213	46,6	155	155	158	158	145	154,20	5,36	148,84	159,56	153,33	155,07	158,05	157,18	158,93					
	<b>VPi_m</b>	157,42	158,48	158,86	158,53	156,97	<b>158,05</b>													
	<b>sPi</b>	2,13	1,20	1,18	1,18	2,75														
	<b>Vi min</b>	152	155	154	153	145	154,20													
	<b>Vi max</b>	161	161	161	161	160	159,60													
	<b>sPi_m</b>	<b>1,69</b>																		
	<b>sVim</b>	<b>0,87</b>																		
	<b>sVPi_m</b>	<b>0,81</b>																		
	<b>sP_all</b>	<b>1,94</b>																		

Рассмотрим эти вычисления на примере первой поездки  $P_1$  (при  $k = 1$ ) машиниста  $M_1$  при заданной скорости  $V_z = 160$  км/ч.

Средняя (арифметическая) скорость первой поездки  $\bar{V}^1$  ( $VPm$ ) по формуле:

$$\bar{V}^1 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^1}{n} \quad (4.1)$$

где  $n$  – количество вариант (элементов) в ряду мгновенных скоростей (в данном случае  $n = 212$ , табл. 4.2).

Рассчитанная по формуле (4.1) средняя скорость первой поездки  $\overline{V}^1 = 157,44 \text{ км/ч}$ .

Среднеквадратическое отклонение мгновенных значений скоростей для  $k$ -той поездки  $\sigma(V_i^k)$  (sVP) определяется по формуле:

$$\sigma(V_i^k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i^k - \overline{V}^k)^2}{(n-1)}} \quad (4.2)$$

Аналогичным порядком составляются ряды вариант для поездок  $P_k$  при  $k \in [1,5]$  Их средние (арифметические) значения  $\overline{V}^k$  рассчитываются по формуле (4.1), а по формуле (4.2) – среднеквадратические отклонения  $\sigma(V_i^k)$ .

Из табл. 4.2 видно, что средние скорости пяти экспериментальных поездок  $\overline{V}^k$  отличаются друг от друга незначительно как с точки зрения выполнения графика движения поезда и перегонного времени хода, так и с точки зрения математической статистики. Это же подтверждается значением среднеквадратического отклонения средних (арифметических) значений скоростей этих рядов  $\sigma(\overline{V}^k)$  (sVPm), определяемого по формуле:

$$\sigma(\overline{V}^k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (\overline{V}^k - \overline{V})^2}{(p-1)}} \quad (4.3)$$

где  $p$  – количество поездок (рядов вариант),  $p = 5$ ;

$\overline{V}$  – среднее (арифметическое) значение средних скоростей экспериментальных поездок, определяемое по формуле:

$$\overline{V} = \frac{\sum_{k=1}^p \overline{V}^k}{p} \quad (4.4)$$

В результате  $\sigma(\overline{V}^k) = 0,81$ .

Однако, рассмотрев каждую поездку в отдельности, становится очевидным, что их дисперсии  $\sigma(V_i^k)$  (sVP) имеют большее значение и колеблются от 1,06 до 2,74, а их средняя (арифметическая) составляет 1,69, что в 2 раза больше дисперсии всей совокупности.

Разброс скоростей, или минимальное  $\min V_i$  и максимальное  $\max V_i$  значения, представленные в конце табл. 4.2, тоже достаточно разнообразны и колеблются от 145 до 161 км/ч соответственно.

Таким образом, в 1 и 5 поездках характер управления поездом на опытном участке существенно отличается от других поездок этого же машиниста – дисперсия увеличилась в 2 и более раза.

Средняя (арифметическая) скорость всей статистической совокупности вариант мгновенных скоростей  $\overline{V}_i$  определяется по формуле:

$$\overline{V}_i = \frac{\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n V_i^k}{p \cdot n} \quad (4.5)$$

И соответственно, дисперсия всей совокупности  $\sigma(V_i)$  ( $s_{Vi}$ ) определяется по формуле:

$$\sigma(V_i) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \left( (V_i^k)^2 - (\overline{V}_i)^2 \right)}{n \cdot p - 1}} \quad (4.6)$$

Рассчитанные по приведённым формулам (4.5), (4.6) эти величины принимают значения соответственно  $\overline{V}_i = 158,07 \text{ км/ч}$ ,  $\sigma(V_i) = 1,92$ .

Полученные результаты опытных поездок машиниста  $M_1$  на участке с заданной скоростью  $V_z = 160 \text{ км/ч}$  изображены на рис. 4.1. При этом сплошной горизонтальной линией показана средняя скорость всех рядов вариант на рассматриваемом опытном участке  $\overline{V}_i$ , а горизонтальными штриховыми линиями – границы (полоса) математического ожидания  $\overline{V}_i \pm \sigma(V_i)$ .

Аналогичным порядком определяются статистические характеристики особенностей управления скоростными поездами другими машинистами на всех опытных участках с соответствующими заданными максимальными скоростями  $V_z$ .

На рис. 4.2 для всех заданных скоростей  $V_z$  изображены программно аппроксимированные значения для машиниста  $M_1$ :

- дисперсии совокупности  $\sigma(V_i)$ , красная линия (сплошная);
- дисперсии средних (арифметических) значений скоростей поездок при одной и той же заданной скорости  $\sigma(V_i^k)$ , зелёная линия (длинный пунктир);
- средней (арифметической) дисперсии поездок при одной и той же заданной скорости  $\sigma(V_i^k)$ , синяя линия (короткий пунктир).

Аналогичным порядком на рис. 4.3 показаны соответствующие индивидуальные особенности машиниста  $M_2$ .

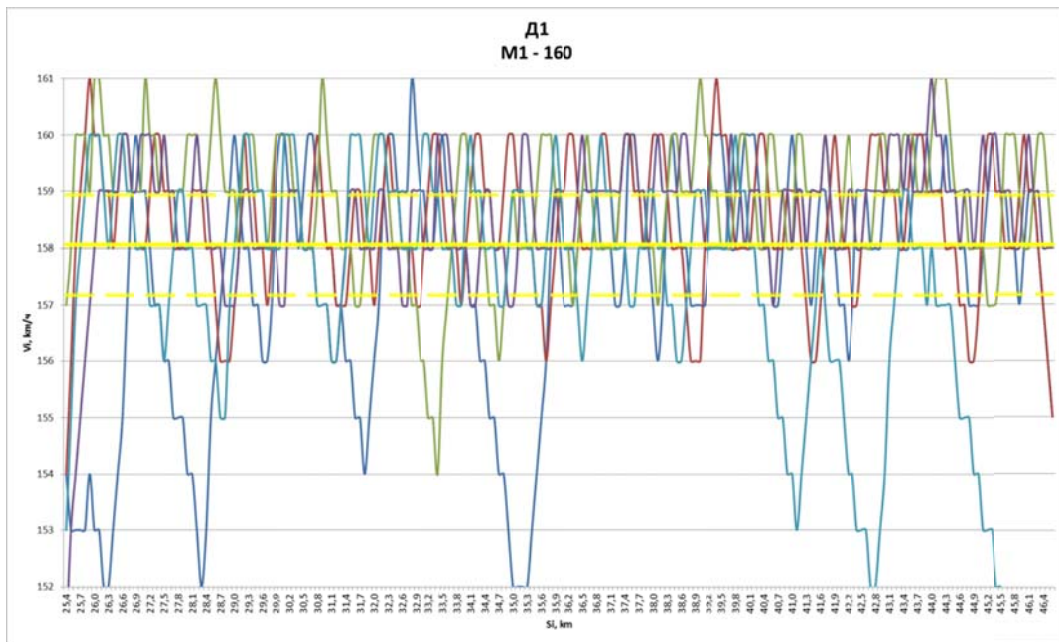


Рис. 4.1. Результаты опытных поездок машиниста  $M_1$  на участке с  $V_z = 160$  км/ч

Проанализировав кривые на рис. 4.2 и 4.3 становится очевидным, что машинисты имеют ярко выраженные индивидуальные особенности в характере управления поездом. Аналогичная ситуация и с машинистом  $M_3$ . Это свидетельствует о том, что у каждого машиниста существует своя «норма».



Рис. 4.2. Статистические характеристики особенностей управления скоростными поездами машинистом  $M_1$

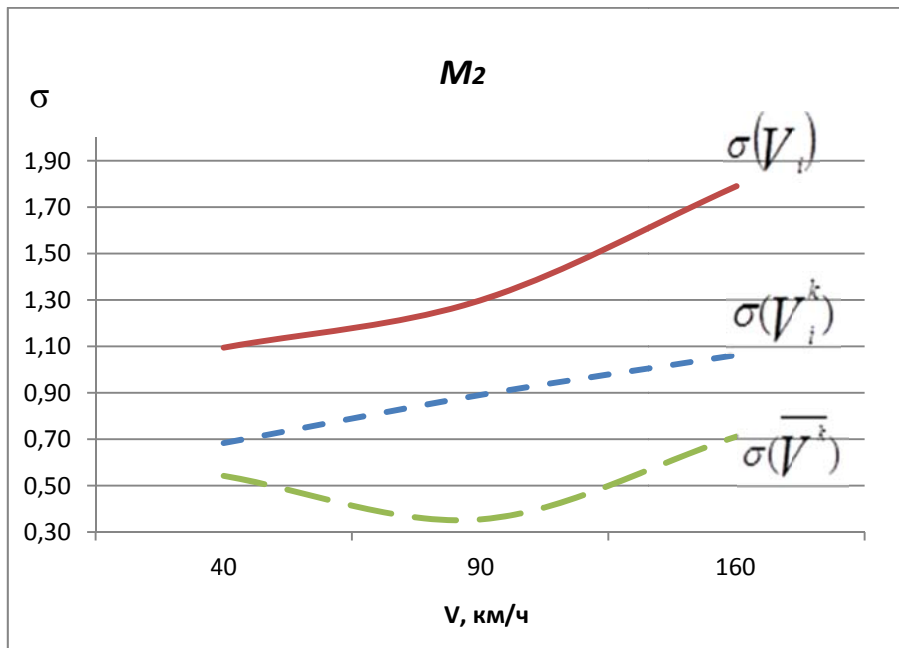


Рис. 4.3. Статистические характеристики особенностей управления скоростными поездами машинистом  $M_2$

**5. Результаты исследований индивидуальных особенностей машиниста в управлении скоростным поездом в реальных условиях.** Исследования особенностей машиниста в управлении скоростным поездом в реальных условиях показали, что каждый машинист имеет свою, особенную (индивидуальную) характеристику операционной деятельности по управлению поездом. Это говорит о том, что «причёмсывание» всех машинистов под одни и те же параметры устаревших устройств контроля бдительности весьма неэффективно.

Определить индивидуальную норму машиниста можно для любой скорости движения поезда практически в любых условиях.

Полученные результаты позволяют не только организовать оперативный контроль за состоянием машиниста в пути следования без применения дополнительных технических средств, отвлекающих машиниста или дополнительно «нагружающих» его, но и дать достоверный материал для машиниста-инструктора и психолога депо, который показывает «узкие» места и направления профилактической работы с каждым машинистом в отдельности.

**6. Выводы.** В результате проведенных исследований:

1 Разработана методика проведения экспериментальных исследований для построения индивидуальной нормы машиниста в управлении скоростным поездом, определены оптимальные (типичные) полигоны для таких исследований, порядок и объёмы получения экспериментальных данных;

2 Определён алгоритм расчёта индивидуальной нормы машиниста на основе полученных экспериментальных данных, обработанных с использованием аппарата математической статистики;

3 Проведены опытные поездки скоростными поездами, на основании которых выполнены соответствующие расчёты и построены практические кривые индивидуальной нормы машинистов скоростных поездов.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Інструкція локомотивній бригаді, затверджена наказом Укрзалізниці від 22.11.2004 [Текст] – № 876-ЦЗ, С. 5, 18.
- 2 Самсонкін, В. М. Теорія безпеки на залізничному транспорті [Текст]: монографія / В. М. Самсонкін, В. І. Мойсенко. – К.: Видавництво «Каравела», 2014. – С. 5–12.
- 3 Концепция стратегического развития железнодорожного транспорта государств-участников СНГ до 2020 года. Утверждена Решением Совета глав правительств СНГ. – Санкт-Петербург, 18 октября 2011 года.
- 4 Прикладные нечёткие системы: Перевод с японского канд. техн. наук Ю.Н. Чернышова./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
- 5 В. Г. Козубенко Безопасное управление поездом. Вопросы и ответы. Транспорт. – М.: Транспорт, 1993. – 296 с.
- 6 Галчѐнков Л.А. Система контроля работоспособности машиниста поезда / Галчѐнков Л.А., Рабинович М.Д., Кожанов И.А., Никифоров Б.Д. – М.: ООО «АВІТ Технологія», патент № 2511506, 2012, <http://www.findpatent.ru/patent/251/2511506>.
- 7 Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для ВУЗов – 4-е издание, переработанное и дополненное – Москва: Высшая школа, 1990. – 352 стр., ил. 15.

**Yaroslav P. Petinov**

*(driver of EMU, assistant driver of an electric locomotive, Locomotive's depot «Kiev-Passazhirsii» of JSC «Ukrzaliznytsia»)*

### DEFINITION OF INDIVIDUAL NORM OF TRAIN'S DRIVER IN ACTUAL PRACTICE CONTROLS OF THE HIGH-SPEED TRAIN

*This article discusses features of control of high-speed trains in modern conditions as at the space '1520 and at the space '1435. Need of an individual approach at the problem of the control of a train's driver state is proved. The scheme of definition of the train's driver individual norm don't use special technical devices on his body. The individual norm of the driver of the high-speed train is calculated using the method which was developed by the author. This method uses only technological parameters of a traction rolling stock, for example, traveling speed monitoring, time, coordinates and others. The norm of each train's driver is very individual. It hasn't analogs among other colleagues. On the basis of the developed method the individual norm of any driver can be calculated and be actualized automatically (to be corrected) unlimited number of times. Actual curve variations of individual norm of different drivers is constructed as a result of an experience.*

**Keywords:** *high-speed train driver, professional activity, human factor, traffic safety of trains, individual norm, control.*

**REFERENCES**

1. Instruction to locomotive crew, approved by the order of the Ukrzaliznitsa. (2004). Kiev, 876-CZ, 5 – 18.
2. Samsonkin, V.N., Moiseenko, V.I. (2014). The theory of safety on railway transport. Monography. Kiev: Karavela, 248.
3. The concept of strategic development of railway transport of the State Parties of the CIS till 2020. The concept is approved by the Decision of Council of CIS Heads of Government. St. Petersburg, on October 18, 2011.
4. Applied indistinct systems: The translation with Japanese by c.t.s. U.N. Chernyshov./ K. Asai, D. Vatala, S. Ivai. Moscow: Mir, 1993, 368 p.
5. Kozubenko V.G. Safe control of train. Questions and answers. Moscow: Transport, 1993. 296 p.
6. Galchenkov L.A., Rabinovich M.D., Kozhanov I.A., Nikiforov B.D. Monitoring system of efficiency of the driver of the train. Moscow: AVP Technology, patent number 2511506, 2012, URL: <http://www.findpatent.ru/patent/251/2511506>.
7. Lakin G.F. Biometrics: The manual for higher education institutions. The 4th edition processed and added. Moscow: The higher school, 1990, 352 p.

УДК 625.1(09)

*Т. Ф. Демченко, к.і.н.*

*(старший викладач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності»  
Державного економіко-технологічного університету транспорту,  
м. Київ)*

### **БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЯК ОСНОВА БЕЗПЕЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

*У даній роботі висвітлюється значення дисципліни БЖД у навчальних закладах. Показаний взаємозв'язок людини з навколишнім середовищем – природним, техногенним, соціальним. Розглянуто питання техногенно-екологічної безпеки в умовах науково-технічного прогресу. Адже проблеми безпеки життєдіяльності людини – одні з найактуальніших проблем сучасності.*

*Ключові слова: надзвичайна ситуація, транспортний засіб, ризик, безпека життєдіяльності.*

*В данной работе освещается значение дисциплины БЖД в учебных заведениях. Показана взаимосвязь человека с окружающей средой – естественным, техногенным, социальным. Рассмотрены вопросы техногенно-экологической безопасности в условиях научно-технического прогресса. Ведь проблемы безопасности жизнедеятельности человека – одни из самых актуальных проблем современности.*

*Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, транспортное средство, риск, безопасность жизнедеятельности.*

**Постановка проблеми.** Проблема безпеки людини у всіх її сферах діяльності дуже складна, комплексна, і потребує глибокого дослідження. Світова статистика свідчить, що 60-80% нещасних випадків – це результат невміння передбачити, розпізнати приховану небезпеку, невміння оцінити ризик і узгоджувати його із своїми можливостями, які визначаються психо-фізіологічними властивостями організму людини та станом техніки. Актуальність проблеми, висвітленої в статті, особливо пов'язана з підвищеною небезпекою на транспорті.

**Метою роботи** є забезпечення комфортних умов життєдіяльності людини на всіх стадіях її життєвого циклу й нормативно припустимих рівнів впливу негативних факторів на людину й природне середовище, комплексне висвітлення проблем безпеки життєдіяльності та безпечної експлуатації транспортних систем.

Стан і робоча ефективність технічних засобів попередження аварійних ситуацій, структурні недоліки матеріалів і ступінь їх відповідності призначенню, рівень спрацювання, корозії, старіння конструкцій – все це становить предмет досліджень при з'ясуванні причин аварій і катастроф. Сьогодні, як ніколи, най-

важливішою національною потребою для України залишається забезпечення безпеки громадян. Адже головна цінність суспільства – це життя і здоров'я людини.

В Україні щороку виникають тисячі складних надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, внаслідок яких гине велика кількість людей, матеріальні збитки досягають декількох мільярдів гривень. Нині в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами становище характеризується як дуже складне. Характерним є збільшення кількості у світі стихійних лих. на сьогоднішній час їх кількість збільшилась удвічі порівняно з 1990 роком. Так, наприклад, 2013 року сильні снігопади в Україні призвели до затоплення великих площ південних та західних областей, до виникнення в окремих регіонах зсувів.

Нещасні випадки щороку забирають життя тисяч людей. Тобто, з кожних 10000 осіб за рік гине 15 осіб. Від надзвичайних ситуацій в країні щороку отримують ушкодження здоров'я майже 2 млн осіб, смертельно травмується понад 70 тис. осіб або близько 200 осіб щодня. З них 99% осіб потерпають від нещасних випадків на виробництві. Щорічні виплати травмування громадян сягають 8 млрд грн. Отже, такі показники травматизму майже вдвічі перевищують показники 1990 року.

Як відомо, стан здоров'я населення залежить на 20-40 % від стану навколишнього середовища, на 15-20 % – від генетичних факторів, на 25-50 % – від способу життя й тільки на 10 % – від діяльності служб охорони здоров'я.

Наслідком забруднення навколишнього середовища є генетичні порушення та високий рівень захворюваності. Смертність в Україні перевищує народжуваність. А це пов'язано також зі способом життя, із соціальним неблагополуччям та соціально-політичним станом у нашій країні [1].

Варто зазначити, що в даний час населення і територія України знаходиться під впливом різних негативних факторів, що призводять до виникнення небезпечних подій. Вплив на людину таких небезпек і є головною причиною смертності і травматизму.

Характерною проблемою негативного впливу на безпеку життєдіяльності людини є також техногенні чинники. Наприклад, аналізуючи події, які трапилися нещодавно на складі нафтопродуктів біля Києва: вибухи та їхні наслідки – пожежі. Адже при горінні багатьох матеріалів утворюються високотоксичні речовини, від дії яких люди гинуть частіше ніж від вогню. Понад 60% пожеж у побуті зумовлено помилками людей або їхньою некомпетентністю. Особливо різко зростає ризик виникнення пожеж та вибухів, коли на виробництві проводиться скорочення працівників. Цим самим знижується рівень безпеки на підприємстві та ефективність його функціонування.

З метою запобігання таких надзвичайних ситуацій проводиться робота для зменшення ймовірності виникнення пожеж та мінімізації їх наслідків. Цьому свідчать навчальні плани вищих навчальних закладів, які передбачають вивчення питань пожежної безпеки. Адже забезпечення пожежної безпеки – невід'ємна частина державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища. Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Закон України «Про пожежну безпеку» та інші закони України, постанови Верховної Ради України, укази і розпорядження Президента України, декрети, постанови та розпорядження

Кабінету Міністрів України; рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті в межах їх компетенції.

Закон України «Про пожежну безпеку» передбачає обов'язкове навчання усіх працівників при прийнятті на роботу і періодично в процесі роботи [2]. Форми навчання (інструктажі, попереднє спеціальне навчання, протипожежний технімум тощо) регламентуються Законом залежно від категорії працівників, особливостей виконуваної роботи та функціональних обов'язків. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань пожежної безпеки, забороняється. Новостворені підприємства починають свою діяльність після отримання дозволу в органах державного пожежного нагляду. Експертиза проектів щодо пожежної безпеки та видача дозволу на початок роботи підприємства здійснюється органами державного пожежного нагляду в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України. Ці органи також беруть участь у прийнятті об'єктів в експлуатацію. Забороняється застосування в будівництві та виробництві матеріалів та речовин, на які немає даних щодо пожежної безпеки. Пожежна охорона створюється з метою захисту життя і здоров'я громадян, приватної, колективної та державної власності від пожеж, підтримання належного рівня пожежної безпеки на об'єктах і в населених пунктах.

Слід зауважити, що надзвичайну небезпеку викликає стан охорони праці та безпеки життєдіяльності робітників, які працюють на приватних підприємствах, де служби охорони праці у багатьох випадках відсутні.

На підприємствах, в установах та організаціях для профілактики виникнення пожеж можуть створюватись із штатних співробітників, добровільні пожежні дружини (команди), які здійснюють свою діяльність згідно з чинним законодавством України. За порушення встановлених законодавством вимог пожежної безпеки, створення перешкод для діяльності посадових осіб органів державного пожежного нагляду, невиконання їх приписів винні посадові особи, інші працівники підприємств, установ, організацій та громадяни притягаються до відповідальності.

Виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру значною мірою визначається станом потенційно небезпечних об'єктів. Кількість ПНО протягом останніх років значно зростає, як правило, за рахунок реєстрації нових АЗС. Попередження надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах передбачає здійснення комплексу заходів щодо зменшення ризику надзвичайних ситуацій техногенного характеру на цих об'єктах. Як відомо, Україна за насиченістю території промисловими об'єктами перевищує розвинені європейські держави. Значну частину з них становлять потенційно небезпечні підприємства, пов'язані з виробництвом, переробкою та зберіганням сильнодіючих отруйних речовин.

Як правило, регіони з найбільшою кількістю потенційно небезпечного виробництва співпадають з регіонами найбільшого зосередження населення. А саме, в цих же областях, скажімо, функціонує 38% об'єктів, а проживає 32,9% населення. Так найгірший стан з виконанням заходів техногенної безпеки склався у Волинській (на 50% виконані заходи з техногенної безпеки), Запорізькій (37%), Львівській (46%), Одеській (25%), Тернопільській (45%), Харківській (49%) і Чернівецькій (38%) областях. Застаріле обладнання та технології, зниження рівня модернізації значно підвищує ризик техногенних катастроф.

Таким чином, велика кількість небезпечних підприємств негативно впливає на навколишнє середовище. Зокрема, найвищий рівень виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру переважає в цих областях. Слід зазначити, що це проявляється в умовах, коли об'єкт господарювання не дотримується нормативних документів, технічних умов чи стандартів і тим самим підвищує небезпечну ситуацію в регіоні. Зазвичай, це відбувається тоді, коли керівництво підприємства на перший план ставить свої інтереси заради отримання прибутків та ігнорує негативні наслідки на довкілля та життя людей.

До зон підвищеного ризику відносять усі залізничні станції. Щоденно через них проходять поїзди, які часто перевозять досить небезпечні вантажі. При перевезенні вантажів залізничним транспортом можуть виникнути різні надзвичайні ситуації, які досить часто призводять до загибелі або травмування пасажирів і пошкодження інфраструктури залізничного транспорту [3]. Адже транспортування небезпечних вантажів призводить до загорання, витікання небезпечних речовин та створює загрозу для навколишнього середовища.

Будь-який транспортний засіб є джерелом підвищеної небезпеки, а людина, що переміщується в транспортному засобі, перебуває в зоні підвищеної небезпеки. Якщо розглядати небезпеки та загрози автомобільного транспорту, то в основному вони полягають у ДТП, що виникають у випадку порушення правил транспортного руху, перебування у нетверезому стані за кермом, халатності при управлінні транспортним засобом, які, у свою чергу, виступають факторами небезпек та загроз автотранспорту. Щодо загроз та небезпек повітряного транспорту, то взагалі, відмова двигунів у польоті завжди призводить до загибелі повітряного транспортного засобу. Хоча існуюча тенденція показує, що загальний шанс на спасіння в авіакатастрофах при польотах на великих реактивних авіалайнерах вищий, порівняно з невеликими літаками. В основному наслідками авіакатастроф є невротичний шок, ушкодження тазових органів, органів черевної порожнини, грудної клітки, поранення голови, шиї, опіки, переломи. Якщо розглядати небезпеки та загрози залізничного транспорту, то зонами підвищеної небезпеки на ньому є залізничні колії, переїзди, посадочні платформи та вагони, в яких пасажирів здійснюють переїзди. Постійну небезпеку становить система електропостачання, можливість аварій, зіткнення, отримання травм під час посадки або висадки. Найбільшу небезпеку для пасажирів становлять пожежі у вагонах, оскільки у вагонах завжди перебуває велика кількість людей. Температура в осередку пожежі дуже швидко підвищується з утворенням токсичних продуктів горіння. Щодо небезпек та загроз морського транспорту, то потенційний ризик для життя людини на морських транспортних засобах значно вищий, ніж на авіаційних та залізничних видах, але нижчий, ніж на автомобільних. Взагалі, окремими факторами загибелі суден є зіткнення, перекидання, пожежі, порушення норм експлуатації та правил безпеки, помилкові функціональні дії команди. Відомо, що найбільша небезпека виникає тоді, коли відмовляють пристрої, оскільки пасажирів не можуть покинути судно, втрачають шанси на спасіння, потрапляють в складну ситуацію. Небезпечним є спуск на воду рятувальних засобів при їх перекиданні, сильних ударах об борт судна, неправильне використання рятувальних жилетів, стрибки з висоти 6-15 м з борту корабля, який тоне. В цілому небезпеки та загрози на транспорті будуть завжди мати потенційний характер для усіх людей, тому важливим є дотримання правил безпеки з метою їх попередження або зменшення їх масштабу.

Щоб попередити небезпеку на транспорті важливим заходом є дотримання правил дорожнього руху, пілотування, судноплавства, запобігати перевищення швидкості руху, проведення професійної підготовки водіїв, пілотів, моряків, своєчасна ліквідація технічних несправностей транспортних засобів, дотримання правил перевезення небезпечних вантажів, встановлення знаків про попередження на дорогах, а також сигналізації на залізничних переїздах, дотримання правил дорожнього руху пішоходами. Доцільним заходом для уникнення автокатастроф є підготовка та вивчення різних видів автокатастроф для їх запобігання водіями, оскільки підготовлені особи знають про можливі аварійні ситуації, а також про те, що робити при їх виникненні, скоять менше помилок під час дійсної аварійної ситуації, що може врятувати їм життя. Існують також заходи попередження залізничних катастроф, серед яких важливим є дотримання пішоходами правил залізничного руху, а саме при русі вздовж залізничної колії не підходити ближче ніж на 5 м до крайньої рейки, на електрифікованих ділянках залізничної колії не підніматися на опори, а також не торкатися спуску, який відходить від опори до рейок, а також дротів, які лежать на землі, а залізничні колії можна переходити тільки у встановлених місцях, перед переходом яких необхідно впевнитись у відсутності потяга або локомотива і тільки після цього здійснювати перехід. Забороняється бігти по платформі вокзалу вздовж потяга, що прибуває чи відходить. Під час проходження поїзда без зупинки не можна стояти ближче двох метрів від краю, платформи, а підходити до вагона дозволяється тільки після повної зупинки поїзда. Забороняється на ходу поїзда відкривати зовнішні двері тамбурів, стояти на підніжках та перехідних майданчиках, а також висовуватись з вікон вагонів, використовувати у вагонах відкритий вогонь та користуватися побутовими приладами, що працюють від вагонної електромережі, перевозити у вагонах легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали. При екстреній евакуації з вагона необхідно зберігати спокій, брати тільки те, що необхідно, великі речі залишати у вагоні, тому що це погіршить швидкість евакуації. При виході через бокові двері та аварійні виходи необхідно бути обережними, щоб не потрапити під зустрічний поїзд.

Як відомо, аварії, що пов'язані із перевезенням небезпечних вантажів можуть призвести до тяжких наслідків. Тому попередження таких аварій та ліквідація їх наслідків є одним з головних завдань безпеки життєдіяльності.

Найнебезпечнішим об'єктом у містах є водоочисні станції. На таких станціях щодня витрачаються від сотень кілограмів до декількох тонн рідкого хлору. І саме це є досить серйозною небезпекою для населення міста. Уникнути постійного ризику можна було б, налагодивши очищення води за допомогою нешкідливого двоокису хлору, як це робиться в більшості розвинених країн. Однак його виробництво досить коштовне.

Технологічні процеси сучасного виробництва забруднюють навколишнє середовище газовими та іншими відходами, електромагнітними полями, іонізуючими випромінюваннями, фізичними та хімічними негативними факторами [4]. Такі наслідки ведуть людство до екологічної катастрофи. Адже людина постійно взаємодіє з навколишнім середовищем. Також в процесі своєї діяльності людина змінює навколишнє середовище, як правило, в негативну сторону.

Сьогодення знаменується фантастичним злетом техніки. Телебачення, радіо, обчислювальна техніка та багато інших технічних засобів суттєво змінили наше життя, підвищили комфортність з однієї сторони. Проте з іншого боку, статис-

тичні дані свідчать про значне зростання у світі виробничого та побутового травматизму, кількості аварій та катастроф.

Одна з таких техногенних небезпек та загроз є досить актуальною для України, аварія на ЧАЕС 26 квітня 1986 року. Як відомо, дані небезпеки та загрози характеризуються викидом радіоактивних речовин або іонізуючих випромінювань за межі, непередбачені проектом для нормальної експлуатації радіаційно-небезпечних об'єктів, у кількості понад поставлену межу їх безпечної експлуатації. Тобто до факторів радіаційних небезпек та загроз відносяться будь-які пошкодження ядерного реактору, або радіоактивного обладнання, що призведе до викидання радіоактивних речовин до сфери життєдіяльності людини. Не менш важливим фактором даної небезпеки та загрози техногенного характеру є радіоактивні речовини, що використовуються в ядерній енергетиці. Безумовно до виникнення подібної аварії може призвести і людський фактор, який полягає в халатності, відсутності дисципліни на радіоактивному об'єкті. Слід відзначити, що для визначення ступеню даної небезпеки та загрози за обсягом існує спеціальна класифікація, за якою вони можуть бути локальними, що розповсюджуються на зону з 10 тис. населенням, регіональні, що охоплюють райони, області з населенням більше ніж 10 тис., а також глобальні, які поширюються на значну або всю територію держави, можуть поширювати наслідки на територію інших держав. Взагалі, потенційно небезпечними радіоактивними об'єктами на території будь-якої держави, у тому числі України, є АЕС, підприємства уранодобувної і переробної промисловості, підприємства, організації зберігання та переробки радіоактивних відходів та джерел іонізуючого випромінювання, дослідницькі реактори. Окрім аварії на ЧАЕС, були також випадки радіоактивних небезпек та загроз, меншого масштабу в деяких державах. Взагалі, попередження небезпек та загроз з викидом радіоактивних речовин, є досить актуальним для будь-якої держави, оскільки їх наслідками є перетворення великих територій на зони відчуження, онкологічні хвороби серед населення, променева хвороба, радіоактивне забруднення води та ґрунту [5]. Особливо небезпечним наслідком радіоактивних небезпек та загроз є їх фактично необмежена тривалість, оскільки період розпаду деяких радіоактивних елементів триває декілька століть.

Проте величезне значення має в даній ситуації людський фактор. На жаль, трапляється безліч аварій, які виникають через неправильні дії обслуговуючого персоналу. Звичайно ж це пов'язане з недостатністю професіоналізму, а також уміння прийняти оптимальне рішення в складній критичній обстановці за короткий термін. Звідси впливає головне завдання дисципліни БЖД – це формування відповідальності за себе, за свою країну [6].

**Висновки.** Транспорт досить негативно впливає на екосистеми України: забруднює атмосферу, водні об'єкти тощо. Все вище викладене відображає негативний вплив на людину. Питання гарантування і підвищення безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій є однією з найважливіших проблем соціуму. Фактична небезпека загрожує не тільки одній конкретній людині, а й суспільству в цілому. Саме це свідчить про актуальність дисципліни БЖД на сучасному етапі розвитку суспільства.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Бегун В.В.* Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки): навч. посібник/ В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: 2004. – 328 с.
2. Про пожежну безпеку: Закон України. – К., 1993.
3. Правила безпеки та порядок ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом // Міністерство транспорту України. Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: 2001. – 885 с.
4. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань: Закон України від 14 січня 1998 р. – К., 1998.
5. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення: Закон України // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 27.
6. *Ляпін В.М.* Безпека життєдіяльності людини: навч. посіб. / В.М. Ляпін. – 8-ме вид., переробл. і доповн. – К.: Знання, 2013. – 335 с.

*Tetyana F. Demchenko PhD (Historical Sciences)*  
*(Senior lecturer the Department of Ecology and Life Safety State University for Transport Economy and Technologies)*

### LIFE SAFETY AS THE BASIS FOR SAFE INTERACTION OF TRANSPORT

*This paper highlights the importance of discipline in BC schools. The relationship of man and the environment – natural, technological, social. The question of man-caused environmental safety in the scientific and technical progress. After all the problems of human security – one of the most pressing issues of our time. It is this discipline involves the formation of ecological thinking in students, learning the rules of a healthy lifestyle, the study of possible hazards, how to prevent and protect against them, the ability to create a safe and comfortable life.*

*Keywords: emergency , vehicle , risk, safety of life .*

### REFERENCES

1. *Byehun V.V.* Safety (ensuring social, technological and natural security ): teach. manual / V.V. Byehun, I.N. Naumenko – К.: , 2004. – 328p.
2. On Fire : The Law of Ukraine. – К. , 1993.
3. Safety and procedure for liquidation of consequences of emergencies with dangerous goods during transportation to rail // The Ministry of Transport of Ukraine. State Administration of Railway Transport of Ukraine. – К. : 2001. – 885 p.
4. On Human Protection Against Ionizing Radiation Law of Ukraine on January 14, 1998 – Kyiv, 1998.
5. On ensuring sanitary and epidemiological welfare of the population : the Law of Ukraine // Supreme Council of Ukraine. – 1994. – № 27.
6. *Lapin V.M.* Safety of human life : teach. guidances. / V.M. Lapin. – 8th ed., Be refurbished. and fulfill. – К.: Knowledge, 2013. – 335 p.

УДК 656.222

*В. І. Мацюк, к.т.н., доцент  
(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

*У роботі визначене місце технологічної надійності в структурі забезпечення надійності залізничних транспортних систем. Обґрунтована доцільність формалізації технологічної надійності на мікро, медіум та макро рівнях. Визначені фактори впливу на технологічну надійність і функцію відмови на прикладі типового технологічного процесу приймально-відправного парку технічної залізничної станції.*

*Ключові слова: технологічна надійність залізничних транспортних систем, система показників технологічної надійності, функція відмови.*

*В работе определено место технологической надежности в структуре обеспечения надежности железнодорожных транспортных систем. Обоснована целесообразность формализации технологической надежности на микро, медиум и макро уровнях. Определены факторы влияния на технологическую надежность и функцию отказа на примере типового технологического процесса приёмноотправочного парка технической станции.*

*Ключевые слова: технологическая надежность железнодорожных транспортных систем, система показателей технологической надежности, функция отказа.*

**Вступ та актуальність проблеми.** У всі часи щодо будь-якого транспорту були актуальні питання безпеки, вчасності та вартості доставки. Вантажовласники та пасажери завжди вимагали відповідності заявлених критеріїв організації перевезень та їх фактичного виконання. Тобто, завжди відкритим було питання – наскільки надійним є забезпечення транспортного сполучення.

Як правило, надійність розглядалась у більшості випадків, як надійність функціонування технічних засобів. Але наскільки надійним є типовий технологічний процес як система забезпечення вчасної та безпечної доставки? Питання довгий час залишалося відкритим, оскільки оцінити технологічну надійність можливо тільки комплексно, враховуючи фактори, причини та наслідки на різних рівнях організації транспортного виробництва в структурі єдиної транспортної системи. Тому, враховуючи останні досягнення в галузі прикладного системного аналізу та імітаційного моделювання у даних дослідженнях буде здійснена спроба формалізувати технологічну надійність перевезеного процесу залізничних транспортних систем як один з найважливіших критеріїв оцінки ефективності.

© Мацюк В. І., 2016

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка принципів забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем. Для реалізації мети передбачається вирішення таких задач:

1. Сформулювати теоретичну концепцію технологічної надійності залізничних транспортних систем;
2. Розробити систему показників та методів оцінки технологічної надійності залізничних транспортних систем на macro, medium та micro рівнях;
3. Розробити моделі дослідження з метою визначення функціональних залежностей між параметрами та критеріями оцінки технологічної надійності залізничних транспортних систем (на прикладі мікро-рівня – типового технологічного процесу приймально-відправних парків технічних станцій).

**Аналіз стану теорії і практики забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем.** Значний вклад у розвиток теорії надійності систем внесли вчені Гнеденко Б.В., Коваленко В.Г., Ушаков І.А. [1] Однак у більшості робіт розглядалась технічна надійність.

Дослідженням надійності технологічних систем присвячена низка робіт Грантова П.С., Сотнікова І.Б., Кочнева Ф.Б. [2]. Однак ці дослідження проводились більше 30 років тому за відсутності можливості комплексної оцінки. Результати досліджень стосуються елементів роботи залізничних станцій та дільниць: дільниця примикання – парк приймання, парк відправлення – дільниця примикання.

Дослідженням впливу людського фактора на надійність функціонування залізничних транспортних систем достатньо повно висвітлена у працях проф. Самсонкіна В.М. [3].

Розробкою методів і моделей щодо нормування та раціоналізації технологічних процесів роботи станцій і дільниць займалось багато вітчизняних та іноземних науковців. Однак результатами їх досліджень були вдосконалення технологічних процесів, методів нормування тривалості операцій, переробної та пропускнуої спроможностей.

Низка наукових установ Канади (1995 р.), США (1994 р.), Швеції (1996 р.) та інших розвинених країн проводили дослідження технологічного процесу роботи залізничного транспорту з метою розробки заходів для виконання строків доставки вантажів і виконання графіка руху поїздів на 95% [4].

Зокрема висновки Інституту стратегічних досліджень при Університеті Торонто (Канада) свідчать про незадовільний стан технологічної надійності та низьку швидкість доставки вантажів на залізниці, що призводить до значних втрат в економіці через значний обсяг заморожених активів – вантажу, що повільно просувається по залізниці. Рекомендації для керівництва Канади – модернізація інфраструктури та вдосконалення технології з метою забезпечення виконання типових норм перевізного процесу на 95%. Розглядався навіть варіант суттєвих капіталовкладень у залізничний транспорт і збиткове, але економічно ефективне для економіки країни його функціонування.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Залізнична транспортна система (ЗТС) є сукупністю взаємопов'язаних складових: залізничної інфраструктури, рухомого складу, людей (персонал, клієнти), управління (прийняття рішень), технологічні процеси.

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функ-

ції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [5].

Об'єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент чи будь-яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця.

Для залізничних транспортних систем надійність слід розглядати як сукупність надійності складових:

- технічної надійності (інфраструктури, рухомого складу);
- надійності поведінки людей (вплив людського фактору, їх фізичний та психологічний стан);
- надійності управління (ефективність прийняття рішення, рівень кваліфікації персоналу);
- технологічної надійності (технологічний процес, нормування технологічного процесу).

При вивченні ієрархії та зв'язків складових надійності слід чітко розмежовувати функції технічних засобів, управління та технологічного нормування процесу. Інфраструктурний комплекс і транспортні засоби повинні технічно забезпечувати виконання технологічних норм. Управлінські рішення персоналу також повинні забезпечувати виконання технологічних норм, але через використання технічних засобів. Існує чітка ієрархія впливу складових на надійність, в якій першорядне місце відводиться саме технологічній надійності (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема складових надійності ЗТС

Технологічну надійність слід розглядати на етапі розробки проектів як наявну, і на етапі практичної реалізації як потрібну.

Наявна технологічна надійність – технологічна надійність, яку може забезпечити ЗТС відповідно до своїх технічних можливостей та способу організації технологічного процесу.

Потрібна технологічна надійність – гранична технологічна надійність, що визначається виробничими потребами (розмірами руху поїздів, запланованими обсягами переробки вагонів або вантажів, тощо).

Рівень забезпечення технологічної надійності також слід розглядати на місцо (залізнична станція, підрозділ станції), medium (дільниця, напрямок) та масо (залізнична мережа) рівнях (рис. 2):

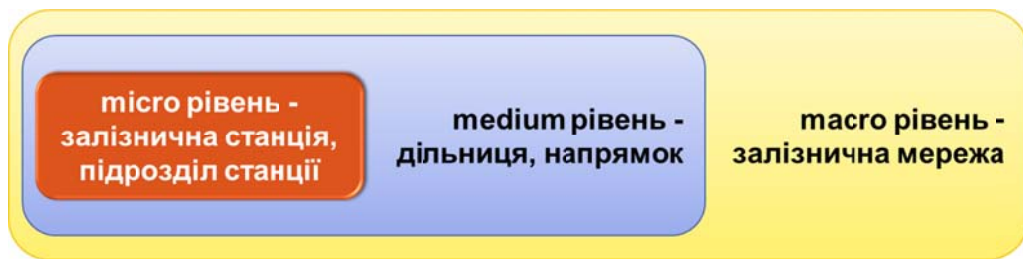


Рис. 2. Рівні забезпечення технологічної надійності ЗТС

Відповідно до вибраного рівня (мікро, medium або макро) показники та критерії оцінки можуть відрізнятись, але основними будуть:

- наявна імовірність технологічної відмови – максимальна гранична імовірність невчасного обслуговування заявки, яку може забезпечити ЗТС відповідно до своїх технічних можливостей та способу організації технологічного процесу (гранична імовірність невчасного відправлення поїзда на дільницю, приймання поїзда у парк станції, обслуговування пасажирів в касі вокзалу, навантаження вагону тощо);
- потрібна імовірність технологічної відмови максимальна гранична імовірність невчасного обслуговування заявки, яку повинна забезпечити ЗТС відповідно до запланованих обсягів транспортної роботи.

Граничну імовірність технологічної відмови слід розглядати в двох варіантах:

- гранична імовірність невчасного початку обслуговування (невчасне приймання поїзда в парк станції);
- гранична імовірність невчасного закінчення обслуговування – гранична імовірність перевищення нормативного часу обслуговування (перевищення нормативного часу обслуговування поїзда в парку станції).

Для більшості технологічних процесів транспортної галузі традиційно потрібна імовірність технологічної відмови приймалась на рівні  $10^{-2}$ , що визначається довірчим інтервалом  $[-2 \sigma; +2 \sigma]$  щільності імовірності нормального розподілу. Залежно від рівня забезпечення технологічної надійності імовірність може змінюватись відповідно до рекомендацій діючого ДСТУ «Надійність техніки», пункту 7.4: «Довірчу вірогідність  $q$  рекомендується вибирати з ряду: 0,90; 0,95; 0,98; 0,99», тобто  $\{0,10; 0,05; 0,02; 0,01\}$ .

Для макро та medium рівнів ЗТС вплив факторів на забезпечення наявної технологічної надійності був достатньо повно висвітлений у роботах [6-10].

Принципи забезпечення технологічної надійності для мікро рівня будуть розглянуті на прикладі типового технологічного процесу приймально-відправного (транзитного) парку технічної станції.

Для дослідження факторів впливу на імовірність технологічної відмови було розроблено імітаційну модель, опис якої детально представлено у джерелі [11].

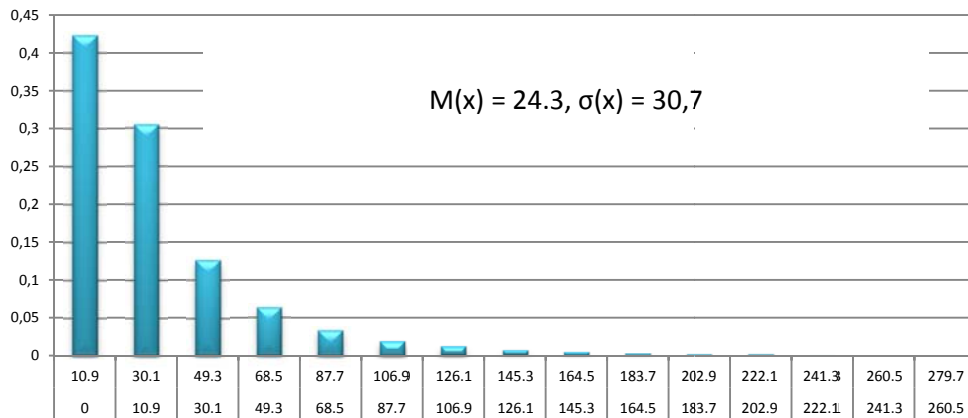
Модель реалізовано для наступних параметрів:

- середньодобовий потік – 60 транзитних поїзда за добу;
- каналів обслуговування СМО-2 (кількість колій транзитного парку для приймання та обробки поїздів) – 7;
- кількість бригад ТО та кількість груп у кожній бригаді: 1 бригади, 4 групи;

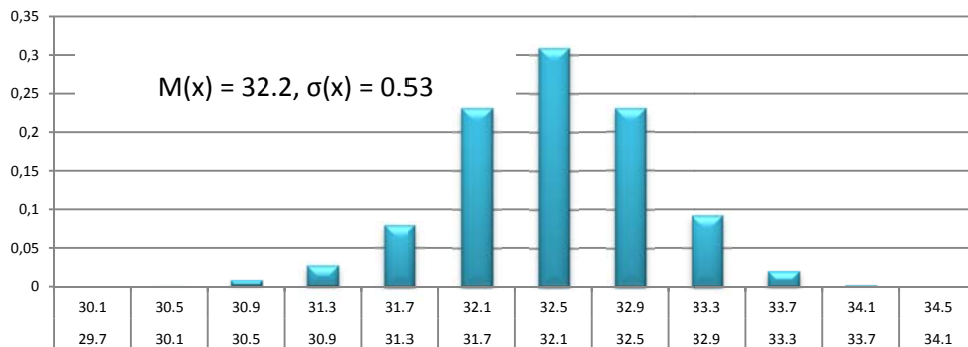
## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

- кількість поїзних локомотивів – 27;
- базова одиниця виміру часу – одна хвилина;
- мінімальний крок моделювання – 0,001 хвилини;
- період моделювання – п'ять років;
- базова похибка часу виконання операцій: 0,05.
- потрібна імовірність технологічної відмови  $\leq 0,07$ .

Результати моделювання наступні. Щільність розподілу часу в очікуванні операцій представлено на рис. 3, часу виконання операцій – рис. 4, загального часу обслуговування поїзда – рис. 5.



*Рис. 3. Щільність розподілу часу в очікуванні операцій*



*Рис. 4. Щільність розподілу часу виконання операцій*

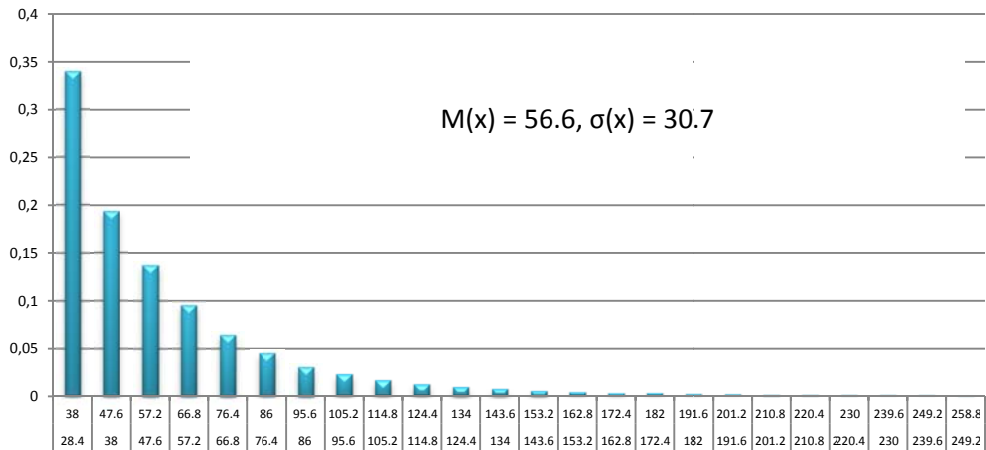


Рис. 5. Щільність розподілу часу обслуговування поїзда

У 95% випадків тривалість обслуговування становить від 30,8 до 115 хв. при типовій нормі 33 хв. Наявна імовірність технологічної відмови – імовірність перевищення нормативного часу обслуговування = 94%, що є занадто великим.

Розподіл щільності імовірності технологічної відмови представлено на рис. 6.

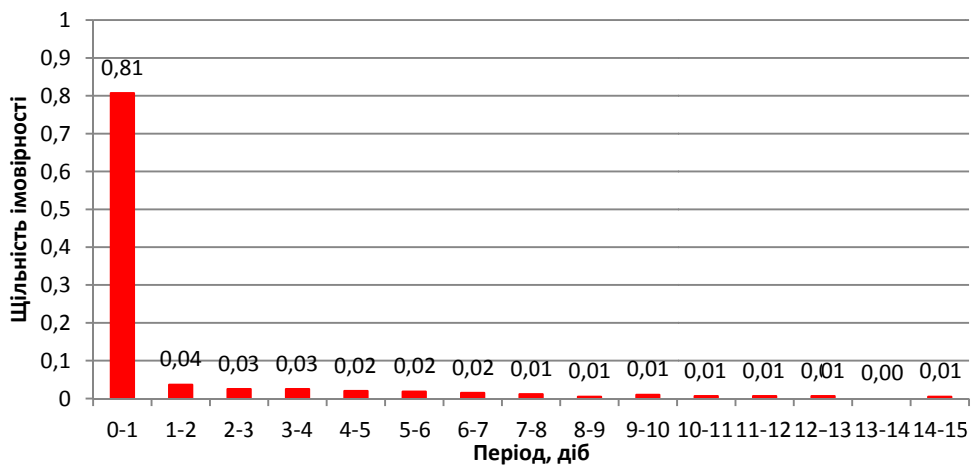


Рис. 6. Розподіл щільності – імовірності технологічної відмови

Встановлена щільність розподілу імовірності технологічної відмови вказує на суттєву лівобічну асиметричність щільності показника із варіацією більше 100%.

Зменшення кількості поїзних локомотивів (навіть на одну одиницю) критично впливає на збільшення імовірності технологічної відмови (рис. 7):



Рис. 7. Залежність  $n = (M_{л})$ , % від кількості поїзних локомотивів, Мл. Нормативне значення  $n = 27$

Збільшення кількості бригад ПТО не суттєво впливає на зменшення імовірності технологічної відмови (рис. 8):

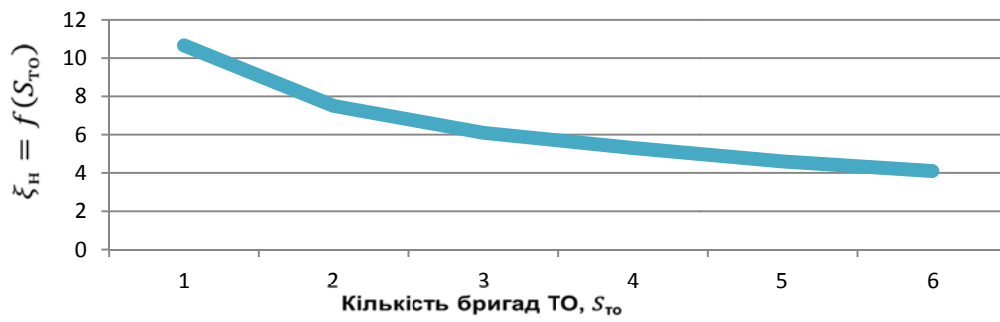


Рис. 8. Залежність  $\xi_n = f(S_{тo})$  від кількості бригад ТО, S\_тo. Нормативне значення  $\xi_n = 1$

При збільшенні мінімальнодопустимого міжпоїзного інтервалу прибуття поїздів зменшується нерівномірність вхідного потоку та збільшується технологічна надійність ЗТС (рис. 9):

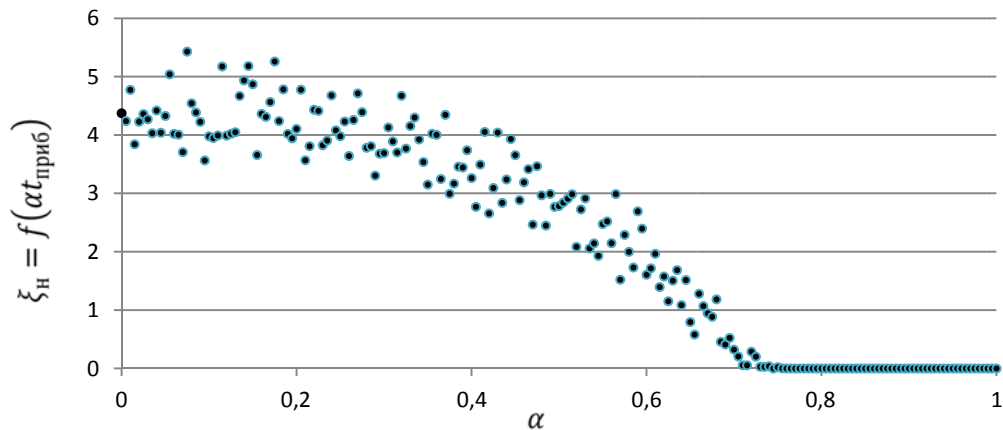


Рис. 9. Залежність  $\xi_n = f(\alpha_{тo\_приб})$  від частки від середнього значення інтервалу прибуття,  $\alpha$ . При  $\alpha = 1$  – варіація потоку становить 100%, при  $\alpha = 0$  – варіація потоку становить 0%

При збільшенні мінімальнодопустимого міжпоїзного інтервалу відправлення поїздів збільшується середній час очікування нитки ГРП, що призводить до суттєвого збільшення технологічної відмови ЗТС (рис. 10):

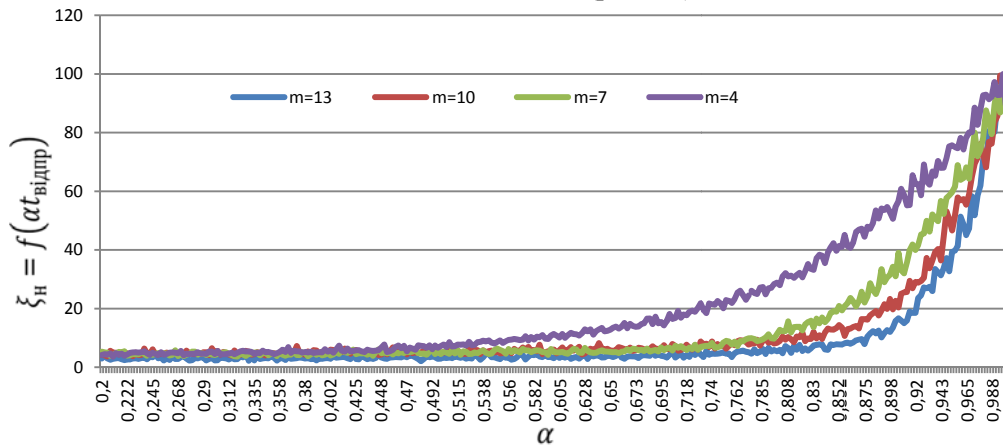


Рис. 10. Залежність  $\xi_H = f(\alpha)$  для моделей із різною кількістю каналів обслуговування (колій парку)

**Висновок.** У діючих ДСТУ та іншій нормативній документації надійність у широкому змісті розглядається в першу чергу як технічна надійність. Технологічну надійність разом із технічною надійністю, надійністю прийняття рішень та надійністю поведінки людей слід розглядати окремо як складову загальної надійності ЗТС. Технологічну надійність слід розглядати на етапі розробки проекту як наявну, і на етапі практичної реалізації як потрібну. Основними показниками, які кількісно характеризують технологічну надійність ЗТС можуть виступати наявна імовірність технологічної відмови та потрібна імовірність технологічної відмови як граничні імовірності невчасного обслуговування. Враховуючи масштабність і складність функціонування ЗТС єдиним на сьогодні способом встановлення показників надійності ЗТС є комплексні (на основі системного підходу) рішення, наприклад імітаційні моделі. Граничну імовірність технологічної відмови слід розглядати в двох аспектах: гранична імовірність невчасного початку обслуговування та гранична імовірність невчасного закінчення обслуговування. Найбільшими факторами, що впливають на надійність ЗТС тією ж мірою є мінімально допустимі міжпоїзні інтервали прибуття та відправлення, кількість одночасно працюючих бригад ПТО та магістральних локомотивів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Курс теорій надійності систем / И. А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с. : ил.
2. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
3. Самсонкін В. М. Розробка моделей оцінки впливу людського чинника на інноваційний розвиток підприємств залізничного транспорту / В. М. Самсонкін, М. М. Аджавенко // Проблеми економіки. – 2014. – № 1. – С. 77-82. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon\\_2014\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11).

4. Канадские национальные железные дороги. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований железнодорожного транспорта. М.: МПС 1995г., 25 с.
5. ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення». – Режим доступу: <http://document.ua/nadiinist-tehniki.-termini-ta-viznachennja-nor8506.html>.
6. Katsman M.D., Myronenko V.K., Matsiuk V.I. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents/ RELIABILITY: THEORY & APPLICATIONS / Vol.10 No.1 (36), /March, 2015 – San Diego, USA.
7. Мироненко В.К, Кацман М.Д., Мацюк В.І. Математичні моделі інформаційних процесів при ліквідуванні надзвичайних ситуацій – Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №1, 2016, С. 163-170.
8. Мироненко В.К, Кацман М.Д., Мацюк В.І. Логіко-математична концептуальна модель ліквідації наслідків надзвичайної ситуації при залізничних перевезеннях небезпечних вантажів. Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – №1(41). – С. 168-172.
9. Мироненко В.К, Кацман М.Д., Мацюк В.І. Математичні моделі екологічно-небезпечних залізничних транспортних подій. Системи обробки інформації: збірника наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 3(128). – С. 125-131.
10. Мироненко В. К, Мацюк В. І., Висоцька Г. С., Алексійчук Н. М. Моделювання транзитних транспортних потоків. – Автошляховик України, 2012. – № 6, С. 17-22.
11. Мацюк В.І. Дослідження технологічної надійності парків технічних станцій дискретно-подієвим моделюванням. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології, 2015, № 26-27. – С. 268-272.

***Viacheslav I. Matsiuk, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State  
University for Transport Economy and Technologies)***

### PRINCIPLES FOR PROVIDING TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF RAIL TRANSPORT SYSTEMS

***The paper defines the place of technological reliability in the structure to ensure the reliability of rail transport systems.***

***The feasibility of formalizing technological reliability at micro, medium and macro levels has been proved. The factors to influence on technological reliability and the function of failure have been defined on the example of a typical technological process at railway station.***

**Keywords:** *technological reliability of rail transport systems, technological reliability indices, function of failure.*

### REFERENCES

1. Kurs teorii nadezhnosti sistem / I. A. Ushakov. – М. : Drofa, 2008. – 239 s. : il.
2. Gruntov P.S. Ekspluatatsionnaya nadezhnost stantsiy. – М.: Transport, 1986. – 247 s.

3. Samsonkin V. M. Rozrobka modeley otsinki vplivu lyudskogo chinnika na Innovatslyniy rozvitok pldpriEmstv zallzничного transportu / V. M. Samsonkin, M. M. Adzhavenko // Problemi ekonomiki. – 2014. – № 1. – S. 77-82. – Rezhim dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon\\_2014\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11).
4. Kanadskie natsionalnyie zheleznyie dorogi. Tsentralnyiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tehniko-ekonomicheskikh issledovaniy zheleznodorozhnogo transporta. M.: MPS 1995g., 25s.
5. DSTU 2860-94 «Nadiynist tehniki. Termini ta viznachennya». – Rezhim dostupu: <http://document.ua/nadiinist-tehniki.-termini-ta-viznachennja-nor8506.html>.
6. Katsman M.D., Myronenko V.K., Matsiuk V.I. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents/ RELIABILITY: THEORY & APPLICATIONS / Vol.10 No.1 (36), /March, 2015 – San Diego, USA.
7. Mironenko V.K., Katsman M.D., Matsiuk V.I. Matematichni modeli Informatsylnih protsesiv pri likviduvanni nadzvichaynih situatsiy – Nauka i tehnika Povltryanih Sil Zbroynih Sil UkraYini. H.: Harkivskiy unIversitet Povltryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba, 2016. – №1, 2016, S. 163-170.
8. Mironenko V.K., Katsman M.D., Matsiuk V.I. Logiko-matematichna kontseptualna model likvidatsiyi naslidkiv nadzvichaynoyi situatsiyi pri zallzничnih perevezennyah nebezpechnih vantazhiv. Sistemi ozbroEnnya i vlyskova tehnika: naukoviy zhurnal. – H.: Harkivskiy unIversitet Povltryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba, 2015. – #1(41). S. 168-172.
9. Mironenko V.K., Katsman M.D., Matsiuk V.I. Matematichni modeli ekologichno-nebezpechnih zallzничnih transportnih podiy. Sistemi obrobki Informatsiyi: zbirnika naukovih prats. – H.: Harkivskiy unIversitet Povltryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba, 2015. – Vip. 3(128). S. 125-131.
10. Mironenko V.K., Matsiuk V.I., Visotska G.S., Aleksyichuk N.M. Modelyuvannya tranzitnih transportnih potokiv. – Avtoshlyahovik UkraYini, 2012. № 6, S.17-22.
11. Matsiuk V.I. Doslidzhennya tehnologichnoyi nadlynosti parkiv tehnichnih stantsiy diskretno-podIEvim modelyuvannyam. Zbirnik naukovih prats Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo unIversitetu transportu. SerIya: Transportni sistemi i tehnologiyi, 2015, №26-27. S. 268-272.

*Науково-виробниче видання*

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

**Серія «Транспортні системи і технології»**

**Випуск 28**

Відповідальний за випуск Ю. В. Черняк  
Головний редактор О. В. Ємець  
Макет і верстка – Г. С. Висоцька

Підписано до друку 07.06.2016. Формат 60x90 1/8.  
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі.  
Ум. друк. арк. 23,4. Обл.-вид. арк. 12,00.  
Наклад 100 прим. Зам. № 75/16.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕГУТ.  
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007.  
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.