

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

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ДЕРЖАВНОГО
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

СЕРІЯ

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

ВИПУСК 23

Київ·ДЕТУТ·2013

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 23. – К.: ДЕТУТ, 2013. – 176 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, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень», академік Транспортної академії України (*головний редактор*);

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

Е. І. Даніленко, доктор технічних наук, професор кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», академік Транспортної академії України;

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»;

М. М. Крюков, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вища математика»;

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

О. І. Стасюк, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту»;

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

М. М. Чепілко, доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри «Фізика та електротехніка»;

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

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

Г. С. Висоцька, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» (*технічний секретар*).

Статті збірника рецензували члени редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 2 від 24 жовтня 2013 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 (Бюлетень ВАК України від 18.11.2009 р., № 36).

© Державний економіко-технологічний університет транспорту, 2013

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Дорошенко О. Ю., Демченко В. О., Вербицький В. Г.</i> Вплив поверхні кочення на коливання та стійкість динамічної системи колесо-рейка.....	5
<i>Донченко А. В., Соляник М. И., Федосов-Никонов Д. В., Орлов О. В.</i> Стендовые испытания как один из экспериментальных методов оценки прочности конструкции вагонов.....	13
<i>Донченко А. В., Соляник М. И., Федосов-Никонов Д. В., Долинский С. В.</i> Анализ прочностных качеств крытого универсального вагона с повышенным объемом кузова.....	18
<i>Сулим А. А., Ломонос А. И.</i> Расчет энергии рекуперации при установке накопителя на электропоезде метрополитена	22
<i>Тарасюк В. М.</i> Використання абсорбційних характеристик для діагностики технічного стану ізоляції якірних обмоток ТЕД електропоїздів.....	30
<i>Кульбовський І. І., Близнюк К. П., Усиченко О. Ю.</i> Конструювання армогрунтових підпірних конструкцій у проектах транспортного будівництва.....	37
<i>Стукало А. В.</i> Організаційно-технологічні заходи розвитку вагонного господарства в умовах його реформування.....	42
<i>Иванов В. Б., Косенко В. И., Приданников Ю. А.</i> Новые решения в конструкциях систем охлаждения.....	47
<i>Онищенко А. М.</i> Метод визначення функції зсувостійкості асфальтобетонного покриття на штучних спорудах	52
<i>Водяников Ю. Я., Шелейко Т. В., Нищенко А. Е.</i> Тормозная эффективность грузового поезда в зависимости от числа осей в составе.....	60
<i>Жерновий А. С., Краснокутська З. І., Вербовський В. С.</i> Щодо впливу режимів прогріву на паливну економічність двигуна внутрішнього згорання	69
<i>Гришко В. Г., Музашвілі А. Н.</i> Ідентифікація рівня зносу ізоляції обмоток тягового двигуна в процесі експлуатації.....	73
<i>Черних Ю. М., Романюк А. С., Гулак С. О.</i> Модернізація системи ослаблення збудження тягових двигунів електровозів змінного струму	76
<i>Черняк Ю. В., Ревчук М. О., Пилипенко А. Є.</i> Аналіз матеріалів, що використовуються в дроселях перетворювачів силової електроніки....	81
<i>Гаюр А. В., Каращук С. В.</i> Системи захисту напівпровідникових пристроїв від негативних наслідків комутації	87

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Дубравін Ю. Ф. Підвищення точності та адекватності математичної моделі системи управління електровоза змінного струму.....	92
Пугачов Г. С. Вплив взаємодії екіпажів у кривій на умови вписування візків	97
Пугачов Г. С. Динамічне вписування візка в криву з урахуванням сил взаємодії з сусідніми екіпажами.....	100
Косарчук В. В., Азарков О. В., Катерещук В. О., Рафальський О. Ю. Експериментальна перевірка структурної моделі пружно-пластичності в умовах непропорційного навантаження	106
Крюков М. М., Клецька Т. С. До історії розвитку і становлення теорії нескінченних числових рядів	117
Андрейцев А. Ю., Смирнов І. В., Долгов М. А. Моделювання температурного режиму та розрахунок оптимальної товщини мідної оболонки при плазмовому напилюванні плакованого порошку Al_2O_3	123

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Яковенко О. Л. Забезпечення цілісності інформації в інформаційно-комунікаційних системах та мережах.....	129
Голуб Г. М. Коп'ютерна інтелектуалізація режимів функціонування та процедур управління системи електропостачання залізниць	134
Тимченко Л. І., Наконечна С. В. Комп'ютерні засоби для реалізації багаторівневих паралельно-ієрархічних мереж на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи	142

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердниченко Ю. А., Макарова О. О. Організація роботи сортувальної станції в умовах автоматизації.....	150
Бердниченко Ю. А., Горецький О. А., Денисенко О. С. Транзитний потенціал України та перспективи його розвитку.....	155
Мельниченко О. І., Кішка С. П. Використання методу декомпозиції у системі забезпечення безпеки дорожнього руху	159
Демченко Т. Ф. Становлення та етапи формування цивільного захисту в Україні.....	164
Автори статей випуску	172

УДК 629.4.015

О. Ю. Дорошенко

В. О. Демченко

В. Г. Вербицький

ВПЛИВ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ НА КОЛИВАННЯ ТА СТІЙКІСТЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «РЕЙКА–КОЛЕСО»

У роботі досліджено, як стан поверхні кочення колісної пари локомотива впливає на стійкість руху колісної пари та значення бокових сил взаємодії рейки та колеса. Розрахунки виконувалися в різних програмах, результати в цілому мають однакові значення, прораховувались варіанти з різними ступенями зношування поверхні колісної пари.

В работе исследовано, как состояние поверхности катания колесной пары локомотива влияет на устойчивость движения колесной пары и значение боковых сил взаимодействия рельсы и колеса. Расчеты выполнялись в различных программах, результаты в целом имеют одинаковые значения, просчитывались варианты с различными степенями износа поверхности колесной пары.

In this work, as a condition of the surface of the wheel set rolling locomotive affects the stability of motion of the wheel set and the importance of lateral interaction forces rails and wheels. Calculations were performed in different programs, the results generally have the same meaning options with different degrees of surface deterioration wheel set.

Ключові слова: поверхня кочення, взаємодія, система «рейка-колесо».

Одним із перших учених, хто системно підійшов до дослідження проблеми зношування гребенів колісних пар був С.М. Андрієвський, який одним із параметрів впливу на бокове зношування в системі «рейка-колесо» назвав досконале утримання колії [1]. В той час на залізницях відбувся перехід із ширини 1524 мм на 1520 мм і різко збільшився темп зношування, почали висловлювати думку, що це пов'язано із зменшенням ширини колії. Але професор М.А. Фрішман наголошував, що в кривих ділянках радіусом 500 м і менше ширина колії майже не змінилась, а підріз гребенів та боковий знос рейок від цього не став меншим [2].

Під час експлуатації локомотивів з профілем поверхні кочення ЗАТ «Мінетек» його параметри змінюються залежно від різних умов експлуатації. Основними умовами, які впливають на силову взаємодію рейки та колісної пари є швидкість руху локомотива, радіус кривої ділянки колії, підвищення зовнішньої рейкової нитки, значення ширини колії, наявність нерівностей на поверхні рейки.

© Дорошенко О. Ю., Демченко В. О., Вербицький В. Г., 2013

Виходячи із отриманих розрахунків у програмному комплексі «універсальний механізм» можна зробити висновок, що значення бокових сил тиску гребеня колісної пари на зовнішню рейку для вищенаведених серій локомотивів змінюється не лише від значення радіусу, а значною мірою від швидкості руху локомотива, та конструкції самих візків. Слід зазначити, що значення бокових сил залежать також від стану самої поверхні кочення, точніше, від підрізу гребеня колісної пари.

Після проведення розрахунків у програмному комплексі «універсальний механізм» та математичному моделюванні в Maple були отримані результати значень бокових сил. Графік для одного типу рухомого складу (ЧС-4) швидкість 15 м/с (рис. 1). Для різного рухомого складу та різних профілів розрахунки виконувались для кривих, розташованих послідовно, та радіусами від 300 м до 1200 м; швидкість руху локомотивів становить від 15 м/с до 60 м/с, профіль колісних пар незношений, новий. Розрахунки виконувались, в порівнянні, двома програмами, вихідні дані для двох програм однакові. Звісно, що програма Maple в повній мірі не задовольняє розрахунків, але порівняно з версією універсального механізму отримані результати мають значення, яке відрізняється на незначну величину (рис. 2).

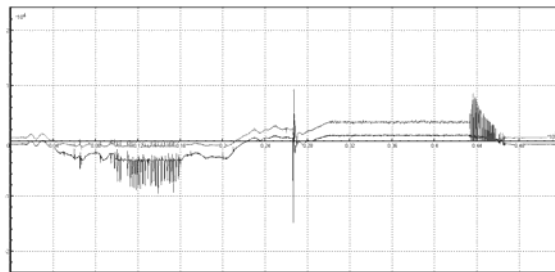


Рис. 1. Значення бокової сили (15 м/с), нові профілі, радіус 300 м S-подібна крива

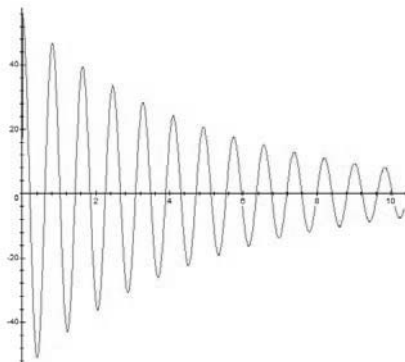


Рис. 2. Значення бокової сили, отримані в програмі Maple

В експлуатації поверхня кочення бандажної колісної пари локомотива через незначний пробіг змінює свої геометричні розміри, в розділі 2 докладно розглядалось це питання. Тому розрахунки виконувались із параметрами колісних пар локомотивів, які перебувають в експлуатації на Одеській (ТЧ – 5 ім. Т. Шевченка) та Південно-Західній (ТЧ – 1 Київ-пасажирський) залізницях, приписного парку локомоти-

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

вів. Числові значення характеристик рухомого складу наведені в табл. 1. В таблиці також наведені дані і для вагонів, розрахунки стійкості руху колісних пар вагонів, значення критичної швидкості визначена в даній роботі в попередніх розділах. Значення розмірів колісної та рейкової ширини наведене в табл. 2.

Таблиця 1. Параметри ходових частин рухомого складу

Тип екіпажу	Конструкційна швидкість V, км/год	Радіус колеса по колу кочення r, см	Число вісей в жорсткій базі	Довжина жорсткої бази L _ж , см	Поперечний розбіг вісей, мм	
					Крайніх	середніх у тривісного візка
Електровози						
ВЛ80, ВЛ80к	110	62,5	2	300	1,0	–
ВЛ82м	110	62,5	2	300	1,0	–
ЧС4	160	62,5	3	460	1,5	1,3
Тепловози						
2ТЭ10Л	100	52,5	3	420	1,5	14
2ТЭ10В	100	52,5	3	370	1,5	14
2ТЭ116	100	52,5	3	370	1,5	14
ТЭП60	160	52,5	3	460	0	19
ТЭП70	160	52,5	3	430	1,5	14
Вагони						
Вантажний чотиривісний	–	47,5	2	185	6	–
Вантажний шестивісний	–	47,5	3	350	2	6
Пасажирський	–	52,5	2	270	6	–

Таблиця 2. Розміри колісних пар і рейкової колії в прямих ділянках, мм

Параметри колісних пар і рейкової колії		Вагонні колеса при швидкостях, км/год		Локомотивні колеса при швидкостях, км/год	
		до 120	від 120 до 140	до 120	від 120 до 140
1		2	3	4	5
Насадка Т	макс.	1443	1443	1443	1443
	норм.	1440	1440	1440	1440
	мін.	1437	1439	1437	1439
Товщина гребеня h	макс.	33	33	33	33
	норм.	33	33	33	33
	мін.	25	28	25	28
Ширина колесної пари q (або колісної колії)	макс.	1511	1511	1509	1509
	норм.	1508	1508	1506	1506
	мін.	1489	1497	1487	1495
Ширина рейкової колії S	макс.	1528	1528	1528	1528
	норм.	1520	1520	1520	1520
	мін.	1516	1516	1516	1516
Сумарний зазор δ	макс.	39	31	41	33
	норм.	12	12	14	14
	мін.	5	5	7	7

На залізницях України значний процент становлять криві ділянки радіусами менше 600 м. За результатами виконаних розрахунків висновок такий: у кривих радіусом менше 600 м при швидкості 30 м/с бокові сили збільшуються на 20 – 25 %, а при радіусі 1000 м і швидкості 30 м/с зменшуються на 20 % за умови, що колісні пари нові (рис 3).

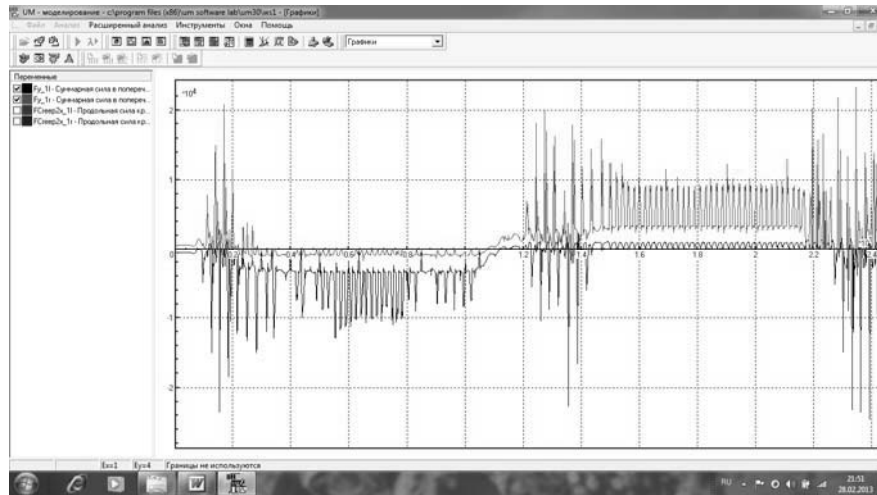


Рис. 3. Значення бокової сили (30 м/с), радіуси кривих 1000 м

На даний час змінити план колії на залізницях України неможливо. Зацікавленість впливу швидкості та стану поверхні кочення на виникнення бокових сил в контакті рейка-колесо і стала причиною розрахунків. Були виконані розрахунки для радіусів 300, 600, 800, 1000 м для кожного значення радіусу кривої ділянки колії брались реальні профілі колісних пар, різних серій локомотивів. Всі профілі за результатами статистичного аналізу розподілились на три групи: які не мають пробігу, нові, які мають гранично допустимий пробіг, зношені, та середній пробіг.

Для вантажних локомотивів розрахунки виконувались при максимальній швидкості 30 м/с для вантажних локомотивів, для пасажирських локомотивів розрахунки виконувались при швидкості 60 м/с (рис. 4).

За результатами розрахунків побудовані графіки залежності бокової сили від радіусу кривих ділянок колії та довжини перехідних кривих, при різних станах поверхні кочення та серіях локомотивів. Слід зауважити що розрахунки виконувались для одинарної колісної пари. При розрахунках враховувалось достатня кількість умов руху колісної пари, результати, як уже згадувалось вище, мають не значні розбіжності.

Із виконаних розрахунків та (рис. 5, 6) можна зробити висновок що значення бокових сил хоч і незначною мірою, але залежать не лише від радіусу кривої, швидкості руху, а і від стану поверхні кочення бандажу колісної пари локомотива. Коли швидкість становить більше 100 км/год значення сили із зменшенням радіусу кривої збільшується до критичного значення.

Розрахунки для різного стану поверхні кочення колісної пари показали що значення бокової сили в більшій мірі залежить від радіусу кривої ділянки колії, особливо коли радіус менше 600 м.

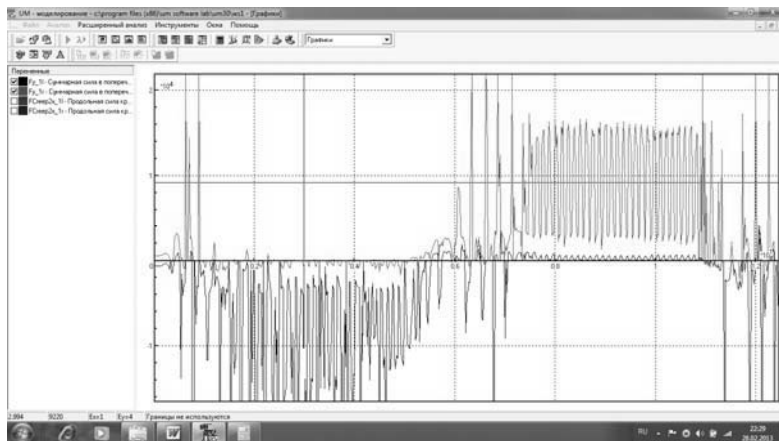


Рис. 4. Значення бокової сили (60 м/с), радіуси кривих 1000 м

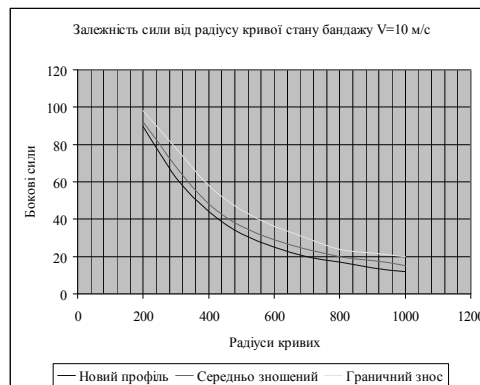


Рис. 5. Значення бокової сили (10 м/с).

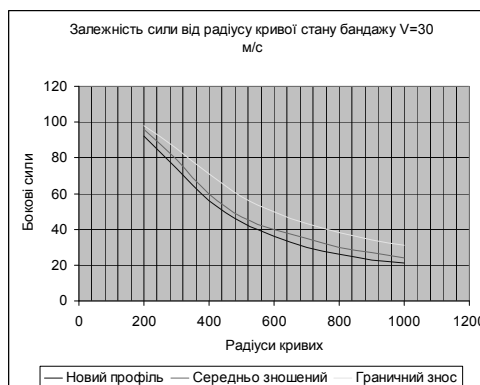


Рис. 6. Значення бокової сили (30 м/с)

Враховуючи числові значення ширини колії та допустимі швидкості руху в кривих для радіусу колії 400 м отримаємо значення бокових сил при швидкості 15 м/с, які наведені на рис 7.

Із вище викладеного можна зробити висновок, що бокові сили із збільшенням швидкості від 10 м/с до 30 м/с збільшуються на 6 – 8 %, коли радіус кривої ділянки колії більше 600 м, коли радіус кривої менше 500 м, то при незмінних значеннях швидкості бокові сили збільшуються до 11 %. При різних станах поверхні кочення бокові сили змінюють своє значення, причому на зношеному профілі значення сил суттєво відрізняється, слід відмітити, що бокові сили при зміні ширини колії дещо змінюють своє значення в бік зменшення приблизно до 5 %, а коли профіль гранично зношений, то це значення збільшується до 8 %.



Рис. 7. Вплив ширини колії на значення бокових сил

Після виконаних вище розрахунків у програмах слід звернути увагу на поперечну стійкість локомотивів, у роботі математичні моделі розглядалися, із швидкостями більше 120 км/год. Із значними навантаженнями та силами взаємодії рейки-колеса є велика ймовірність пошкодження верхньої будови колії під час коливального руху коліс. Тому для виключення можливих пошкоджень потрібно «коректувати» параметри системи «рейка-колесо», а саме, профіль поверхні кочення для покращення поперечної стійкості.

Як відомо із експериментальних даних, отриманих в манчестерському досліді (рис 8) наведені дані залежності критичної швидкості від конічності поверхні кочення колісних пар локомотива.

Як видно з (рис. 8) критична швидкість обернено пропорційна конічності поверхні кочення. Із збільшенням конічності значення швидкості значно зменшується, зношування поверхні кочення призводить до збільшення конічності, а відповідно до зменшення швидкості та збільшення частоти коливань і бокової сили [3].

Для порівняння значень критичної швидкості виконаємо розрахунок за розробленою програмою в програмному редакторі Maple, повний текст програми викладено в додатку. Вихідні значення для розрахунку будуть такі, як і в експериментальному досліді, профіль поверхні кочення новий (рис. 9), радіус кривої 1200 м. Координати профілю мають такі значення:

```
Pr:=pointplot({[-0.0041,-0.0033],[-0.0016,-0.0013],
[0,0],[0.0013,0.0011],[0.0038,0.0031]}):
```

Значення бокової сили при коливальному русі на рис. 10. При критичній швидкості руху $V_{kr} := 49.90412204$ м/с, що майже співпадає з дослідними значеннями, для профілю, який має пробіг $Pr:=pointplot({[-0.00199,-0.00023],[-0.00147,-0.00018], [-0.00109,-0.00015], [0,0], [0.0011,0.00009], [0.00151,0.00012], [0.00199,0.00016]})$ (рис. 11) визначимо значення бокової сили та критичної швидкості. Графічні дані на рис. 12.

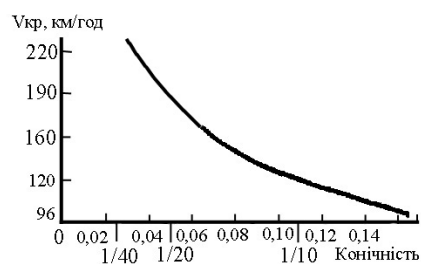


Рис. 8. Залежність критичної швидкості від конічності поверхні кочення колісних пар локомотива

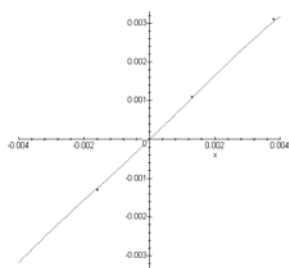


Рис. 9. Профіль поверхні кочення в межах зони контакту

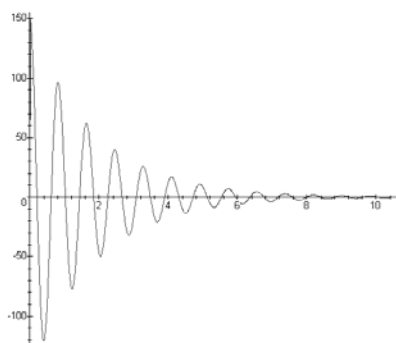
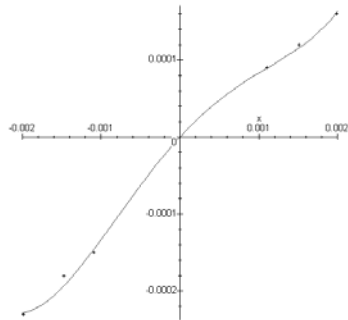
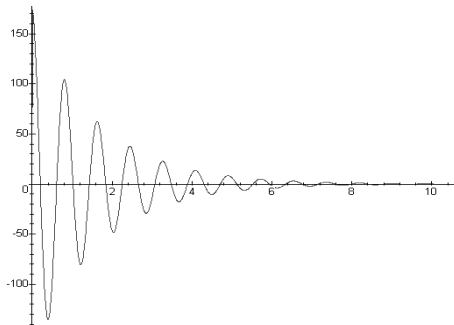


Рис. 10. Значення бокових сил при коливальному русі



**Рис. 11. Профіль поверхні
кочення в межах зони
контакту з пробігом**



**Рис. 12. Значення бокових сил
при коливальному русі
профілю з пробігом**

Коли в розрахунки заносяться дані профілю з пробігом, то значення швидкості зменшується $V_{kr} := 48.08881528$, а сила збільшилась.

За результатами проведених розрахунків можна зробити висновки:

1. Проаналізовані теоретичні дослідження по взаємодії поверхні кочення та рейки в поперечній горизонтальній площині;
2. Вибрана методика визначення сил взаємодії, яка враховує стан бандажу колісної пари локомотива, та виконані розрахунки;
3. Результати розрахунків критичної швидкості співпадають з експериментальними, «манчестерський тест», збільшення швидкостей руху зменшує сили опору від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки по баластовому шару;
4. При швидкостях руху до 120 км/год бокові сили, які передаються від колеса на рейку достатньо стабілізовані і не перевищують встановлені значення, а при швидкостях руху більше 120 км/год значно зростають і наближаються до максимально допустимих;
5. Значний вплив на цифрові значення бокової сили має співвідношення жорсткості буксового підвишування та стану поверхні кочення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андриевский С. М. Боковой износ рельсов на кривых» / С. М. Андриевский // Труды ЦНИИ МПС. – 1961. – Вып. 374. – 185 с.
2. Фришман М. А. Как работает путь под поездами / Фришман М. А. – М.: Транспорт, 1987. – 168 с.
3. King B. L. An Assessment to the Contact Conditions between Worn Tyres and New Rails in Straight Track. – Research Report DYN/42, British Railways, Derby, England, 1966, December.

УДК 629.463.63.023.001.41 : 001.891.5

А. В. Донченко
М. И. Соляник
Д. В. Федосов-Никонов
О. В. Орлов

**СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ
КАК ОДИН ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНОВ**

Рассматривается вопрос применения стендовых (циклических) испытаний для определения прочностных качеств вагона-платформы для перевозки крупнотоннажных контейнеров.

Розглядається питання використання стендових (циклічних) випробувань для визначення міцнісних якостей вагона-платформи для перевезення великотоннажних контейнерів.

A question concerning bench (cyclic) tests use for determination of strength characteristics of flat cars intended for multi-tonnage container is considered.

Ключевые слова: стендовые испытания, оценка прочности, конструкция вагона, вагон-платформа.

В настоящее время контейнерные перевозки занимают одно из ведущих мест среди железнодорожных перевозок Украины и ближнего зарубежья. Создание фитинговых длиннобазных платформ для перевозки крупнотоннажных контейнеров является сложной задачей.

Основной задачей при производстве новых моделей длиннобазных платформ является обеспечение надежности и безопасности контейнерных перевозок на весь срок эксплуатации при различных схемах погрузки.

Примером конструктивного исполнения длиннобазной платформы является опытный образец, изготовленный ПАО «Днепровагонмаш» (модели 13- 4147 для перевозки крупнотоннажных контейнеров).

Платформа представляет собой сварную конструкцию из хребтовой балки, выполненной из двух зетовых профилей переменной высоты по длине, передающей продольные усилия через сварные раскосы двутаврового сечения на боковые балки. Основные несущие элементы платформы выполнены из материала класса прочности не ниже 390.

© Донченко А. В., Соляник М. И., Федосов-Никонов Д. В., Орлов О. В., 2013

С повышением прочности у стали увеличивается чувствительность к концентрации напряжений в сварочных швах при вибрационных нагрузках, что обуславливает необходимость использования такого конструктивного исполнения, которое обеспечивает максимальное снижение концентрации напряжений. Эффективность конструктивных решений оценивают, как правило, при стендовых испытаниях.

Испытательным центром продукции вагоностроения Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» (ИЦ ПВ ГП «УкрНИИВ») проводились стендовые (циклические) испытания данной модели вагона-платформы при наиболее неблагоприятной схеме погрузки, приведенной на рис. 1.

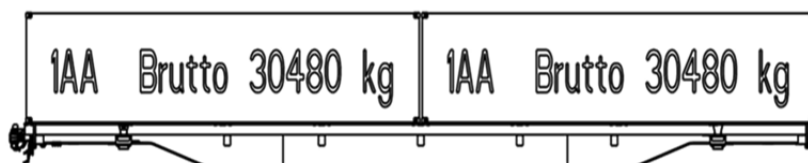


Рис. 1. Схема погрузки платформы контейнерами

Целью проведения данных испытаний являлась экспериментальная оценка прочности натурных узлов и деталей вагона при обоснованно заданных режимах длительного вибрационного циклического нагружения, определение количественных характеристик сопротивления усталости (предела выносливости, циклической долговечности, коэффициентов запаса сопротивления усталости элементов конструкции вагона) с целью подтверждения назначенного срока службы.

В качестве основного оборудования при проведении стендовых испытаний применялся испытательный стенд с пневмомеханическим возбуждением колебаний резонансного типа, обеспечивающий создание внешнего возмущающего воздействия и поддерживающий режим колебаний. Пневмопульсаторные элементы стенда устанавливались под ударные розетки с обоих концов вагона и для повышения напряжений в исследуемых зонах были смещены вдоль продольной оси к шкворневым балкам.

Для создания резонансного режима колебаний демпфирующие элементы были исключены из работы.

Режим испытаний выбирался исходя из расчетных данных по нагруженности узлов и деталей вагона, с учетом опыта стендовых и ходовых испытаний подобных конструкций. Величины амплитуд динамических напряжений в исследуемых зонах принимались из условия превышения в 1,5 – 2,0 раза расчетного предела выносливости при базовом числе циклов. Количество циклов нагружений составляло от $5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^7$. Исследования выполнялись путем возбуждения изгибных колебаний рамы вагона.

Обработка результатов испытаний проводилась в соответствии с требованиями «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)», Москва, 1996 г. (далее – «Норм...») [1], «Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС

колеи 1520 мм (несамоходных)», М., 1983 г. (далее – «Нормм...») [2] и РД 24.050.37.95. – МПС, 1995 г. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества»[3].

Соответственно из [2] Расчетное количество циклов при испытаниях определялось по формуле:

$$N_{\text{исп}}^p = \left(\frac{\sigma_{a,N}^p}{\sigma_{a,\text{исп}}^{\text{max}}} \right)^m N_0,$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости, для металлоконструкций вагонов из низкоуглеродистой и легированной стали, $m = 4$;

N_0 – базовое число циклов, $N_0 = 10^7$;

$\sigma_{a,\text{исп}}^{\text{max}}$ – максимальная среди исследуемых зон конструкций платформы амплитуда динамических напряжений при испытаниях.

Граница выносливости рамы платформы определялась по формуле:

$$\sigma_{a,N} = \sigma_{a,\text{исп}} \sqrt[m]{\frac{N_{\text{исп}}}{N_0}},$$

где $\sigma_{a,\text{исп}}$ – амплитуда динамического напряжения в исследуемой зоне при испытаниях;

$N_{\text{исп}}$ – достигнутое при испытаниях количество циклов колебаний до выявления трещин в исследуемой зоне.

Анализ результатов стендовых (циклических) испытаний от действия вертикальных сил показал, что коэффициенты запаса сопротивления усталости хребтовой и шкворневой балок вагона модели 13-4147, из расчета на срок службы 32 года при tare 24 т, соответствуют показателю 1,5, что не отвечает требованиям «Норм... – 83» [2]. С целью усиления хребтовой и шкворневой балок в конструкцию вагона были внесены изменения, при этом масса тары вагона-платформы увеличилась на 2 т.

В результате реконструкции были усилены следующие элементы: боковая балка, лобовой брус, а также хребтовая балка в зоне соединения со шкворневой балкой. Внешний вид хребтовой балки в зоне соединения со шкворневой балкой до реконструкции и после представлен на рис. 2, 3.

После внесения конструктивных изменений и проведения повторных статических прочностных испытаний установлено:

1) максимальные суммарные напряжения в основных элементах конструкции от нагрузок, которые возникают при ремонте и обслуживании вагона получены следующие:

– в хребтовой балке в зоне соединения со шкворневой балкой – 112,09 МПа, что составляет 31,9 % от допустимой величины;

– в шкворневой балке в зоне соединения с хребтовой балкой – 178,97 МПа, что составляет 50,98 % от допустимой величины;

– в лобовой балке – 185,21 МПа, что составляет 49,98 % от допустимой величины.

2) по I расчетному режиму зафиксированы максимальные суммарные напряжения и составляют:

– в хребтовой балке в зоне соединения со шкворневой балкой – 262,25 МПа, что составляет 74,72 % от допустимой величины;

– в шкворневой балке в зоне соединения с хребтовой балкой – 189,16 МПа, что составляет 53,89 % от допустимой величины,

- в боковой балке – 234,06 МПа, что составляет 63,17 % от допустимой величины;
- в лобовой балке – 214,03 МПа, что составляет 57,77 % от допустимой величины.



Рис. 2. Консольная часть вагона модели 13-4147 1-го варианта конструкции

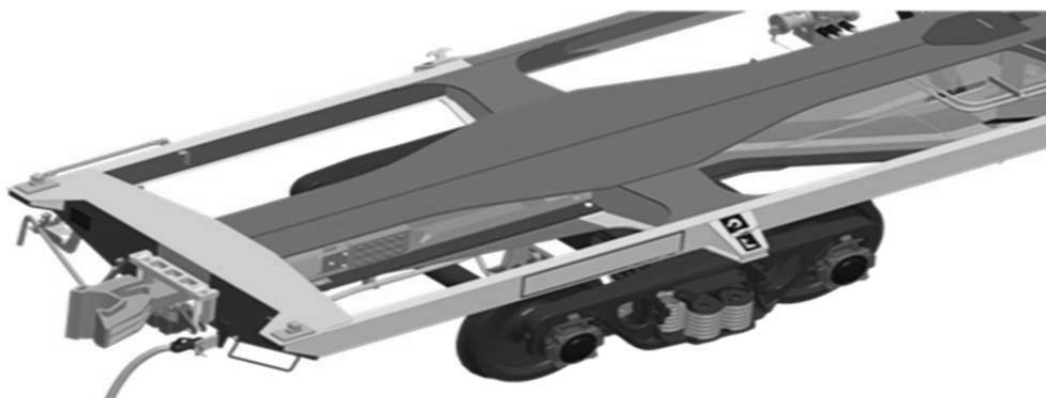


Рис. 3. Консольная часть вагона модели 13-4147 2-го варианта конструкции

3) по III расчетному режиму зафиксированы максимальные суммарные напряжения и составляют:

- в хребтовой балке в зоне соединения со шкворневой балкой – 209,47 МПа, что составляет 87,28 % от допустимой величины;
- в шкворневой балке в зоне соединения с хребтовой балкой – 104,55 МПа, что составляет 43,56 % от допустимой величины,
- в боковой балке – 202,55 МПа, что составляет 81,02 % от допустимой величины;
- в лобовой балке – 246,66 МПа, что составляет 98,66 % от допустимой величины.

Повторные стендовые циклические испытания подтвердили эффективность принятых конструктивных решений. Коэффициенты запаса сопротивления усталости основных несущих элементов конструкции вагона-платформы из расчета срока службы 32 года получены в пределах требований «Норм ... 83» [3].

В результате выполненных исследований были выявлены наиболее нагруженные зоны конструкции и рекомендованы варианты повышения выносливости узлов и деталей платформы, работающих в условиях длительного и интенсивного воздействия циклически изменяющихся нагрузок. Правильность предложенных конструктивных решений была подтверждена результатами повторных экспериментальных исследований.

На основании проведенного анализа результатов статических прочностных испытаний и стендовых (циклических) испытаний от действия вертикальных сил, установлено, что вагон отвечает требованиям «Норм ... 83», «Норм ... 96» и «РД 24.050.37.95».

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных), с изм. и доп. – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
2. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных), с изм. и доп. – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 258 с.
3. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». «РД 24.050.37.95. – МПС, 1995. – 101 с.

УДК 629.463.1.001.41 : 001.891.5

А. В. Донченко
М. И. Соляник
Д. В. Федосов-Никонов
С. В. Долинский

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ КАЧЕСТВ КРЫТОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ВАГОНА С ПОВЫШЕННЫМ ОБЪЕМОМ КУЗОВА

Рассматривается вопрос прочностных качеств крытого универсального вагона с повышенным объемом кузова при постановке его на производство.

Розглядається питання міцнісних якостей крытого універсального вагона з підвищеним об'ємом кузова при постановці його на виробництво.

A question concerning strength characteristics of a covered multi-purpose car with increased car cubic capacity in case of launching it into manufacture is considered.

Ключевые слова: испытания, оценка прочности, крытый универсальный вагон, постановка на производство.

Современное машиностроение в условиях рыночной экономики характеризуется острой конкурентной борьбой между предприятиями-производителями за рынки сбыта. Залогом успешного развития предприятия является постоянный контроль за качеством выпускаемой продукции, увеличением её ассортимента, анализ рынка продукции и тенденций его развития.

Днепродзержинский вагоностроительный завод ПАО «Днепровагонмаш» для увеличения ассортимента своей продукции разработал и создал 4-осный грузовой крытый вагон универсального назначения для магистральных железных дорог колеи 1520 мм.

Цель разработки – создание крытого универсального вагона с повышенным объемом кузова (150 м³), предназначенного для транспортирования штучных, тарно-штучных, пакетированных и насыпных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков.

Вагон пригоден для эксплуатации по сети железных дорог стран СНГ, Грузии, Латвийской Республики, Литовской Республики и Эстонской Республики. Для постановки на производство согласно техническому заданию был изготовлен опытный образец крытого вагона и подвергнут предварительным испытаниям с целью

©Донченко А. В., Соляник М. И., Федосов-Никонов Д. В., Долинский С. В., 2013

определения фактических значений его характеристик для оценки соответствия требованиям нормативной документации и технического задания, определения возможности предъявления образца на приёмочные испытания.



Рис. 1. Вагон крытый универсальный

Комплекс предварительных испытаний крытого универсального вагона проведен испытательным центром продукции вагоностроения и литейного производства для вагоностроения Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» (ИЦ ПВ ГП «УкрНИИВ»).

При проведении предварительных испытаний определялись следующие виды показателей:

- величина продольной квазистатической нагрузки;
- допускаемые напряжения в элементах вагона при квазистатических загрузках и испытаниях на прочность при ремонте и обслуживании;
- величина продольной ударной нагрузки;
- суммарные допускаемые напряжения от нагрузки брутто и продольной ударной нагрузки;
- коэффициент запаса сопротивления усталости;
- коэффициент вертикальной динамики кузова;
- коэффициент вертикальной динамики неподрессоренной рамы тележки;
- рамная сила от колесной пары на раму тележки;
- ускорения кузова вертикальные и горизонтальные;
- коэффициент запаса устойчивости колесной пары от схода с рельс;
- коэффициент запаса поперечной устойчивости вагона от бокового опрокидывания в порожнем и груженом режимах, внутрь и наружу кривой.

На территории завода были проведены статические испытания на прочность – от действия вертикальной нагрузки и сил, действующих на вагон при его ремонте, в стенде растяжения-сжатия – квазистатические испытания, в стенде-горке – испытания на соударение.

Ходовые динамические и ходовые прочностные испытания (в порожнем и груженом режиме) проводились в составе отдельного поезда, сформированного из вагона крытого универсального и вагона-лаборатории на полигоне Приднепровской железной дороги. Полигон включает участки пути, по составу прямых и кривых соответствующих требованиям к пути для проведения ходовых испытаний. В результате проведенных испытаний установлено:

– напряжение в элементах конструкции вагонов не превышают допустимых напряжений, установленных «Нормами – 83» (далее – «Норм...») [1] и «Нормами – 96» (далее – «Норм...») [2];

– при соударении повреждений элементов вагонов, остаточных деформаций, трещин по основному металлу и сварных швах от действия нормативных нагрузок не выявлено;

– показатели качества хода вагона в порожнем и груженом состояниях отвечают нормативным требованиям.

Однако в результате проведения ходовых-прочностных испытаний было выявлено, что коэффициенты запаса сопротивления усталости металла балки боковой области дверного проема в контрольных точках получен равным 1,4 при нормативном значении 1,5 (для срока эксплуатации вагона 32 г.).

Коэффициент запаса сопротивления усталости n определялся по формуле:

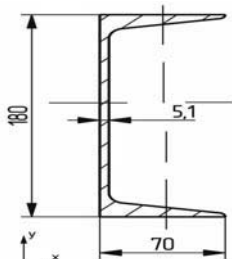
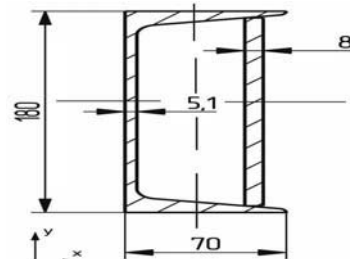
$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}},$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) натурной детали по симметричному циклу и установленному режиму нагрузок на базе испытаний N_0 , МН;

$\sigma_{a,\varepsilon}$ – расчётная величина эквивалентной амплитуды динамического напряжения в реальном режиме эксплуатационных случайных нагрузок за проектный срок службы конструкции, МН;

$[n]$ – допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости.

Таблица 1. Сравнительная таблица геометрических характеристик сечений нижней обвязки вагона крытого универсального

До изменения	Послеизменения
 Рис. 1	 Рис. 2
$I_x = 1090 \text{ см}^4, W_x = 121 \text{ см}^3$ $I_y = 86 \text{ см}^4, W_y = 17 \text{ см}^3$	$I_x = 1358 \text{ см}^4, W_x = 151 \text{ см}^3$ $I_y = 191 \text{ см}^4, W_y = 51 \text{ см}^3$

Предел выносливости натурной детали $\sigma_{a,N}$ рассчитан по формуле (3.9), а расчётную величину амплитуды динамического напряжения $\sigma_{a,\varepsilon}$ по формуле (3.18) согласно «Нормам...» [1]. Величина коэффициента снижения предела выносливости натурной детали $(K_\sigma)_k$ для типовых элементов вагонных конструкций выбрана по данным табл. 3.2 «Норм...» [1].

В результате несоответствия коэффициента запаса сопротивления усталости балки боковой, в области дверного проема, допустимому значению коэффициента запаса сопротивления усталости $[n]$, возникла необходимость внесения изменения в

конструкцию вагона. Была изменена конструкция боковой балки в области, где по результатам испытаний были получены значения коэффициента запаса сопротивления усталости ниже нормативных.

На рис. 2 и 3 показаны исходное и усиленное сечения боковой балки. Данное усиление, по результатам расчетов (рис. 2, рис. 3), привело к увеличению моментов инерции сечения относительно оси Y на 24,5% (с 1090 см⁴ до 1358 см⁴).

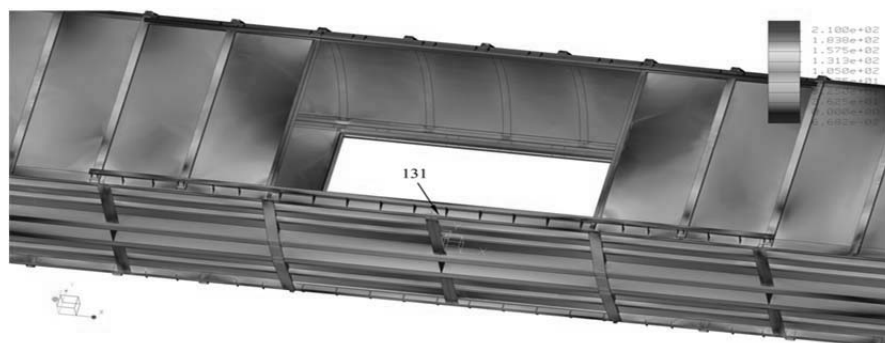


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние вагона крытого по III режиму - растяжение. Боковая балка у дверного проема без усиления



Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние вагона крытого по III режиму - растяжение. Боковая балка у дверного проема с усилением из листа 8 мм на длине 5500 мм

При проведении повторных ходовых-прочностных испытаний было зафиксировано снижение напряжений в исследуемом узле и, как следствие, увеличение коэффициента запаса сопротивления усталости до значения, соответствующего требованиям «Норм...».

По результатам анализа показателей, полученных при предварительных испытаниях, принято решение о постановке данной модели крытого универсального вагона с повышенным объёмом кузова на серийное производство.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Нормы для расчёта и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 258 с.
- 2 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), с изменениями и дополнениями (01.02.2000 г. и 01.03.2002 г.). – М., 1996. – 319 с.

УДК [621.333.4 + 519.254] : 629.(431+432)

А. А. Сулим
А. И. Ломонос

РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ ПРИ УСТАНОВКЕ НАКОПИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

В статье разработан алгоритм, позволяющий рассчитывать количество и стоимость потребляемой, рекуперированной в накопитель и избыточной электроэнергии с учетом режима движения поезда метрополитена. Выполнен расчет электроэнергии, а также необходимой емкости накопителя с применением разработанного алгоритма.

В статті розроблений алгоритм, що дозволяє розраховувати кількість і вартість споживаної, рекуперованої в накопичувач і надлишкової електроенергії з урахуванням режиму руху поїзда метрополітену. Виконано розрахунок електроенергії, а також необхідної ємності накопичувача із застосуванням розробленого алгоритму.

The paper developed an algorithm that count the number and value of consumption, recuperated in the drive and excess electricity based on a mode of movement of underground trains. The calculation of electricity, as well as the necessary storage capacity using the developed algorithm.

Ключевые слова: электропоезд метрополитена, режим рекуперации, емкостный накопитель энергии.

Проблема энергосбережения на электропоездах метрополитена является очень актуальной [1, 2]. Одним из перспективных направлений по повышению энергоэффективности электропоездов метрополитена является применение рекуперативного торможения [2–6]. По некоторым данным применение рекуперативного торможения позволит экономить около 5–30 % электроэнергии, расходуемой на тягу [2–6]. Еще одним вопросом, связанным с эффективностью применения рекуперации, является проблема использования избыточной энергии рекуперации в те интервалы времени, когда на линии отсутствуют потребители. Проблему использования избыточной энергии рекуперации можно решить установкой накопителя энергии (в частности емкостного накопителя) в системе энергообеспечения электропоезда метрополитена [2–4]. Выбор емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) обусловлен рядом преимуществ его характеристик по сравнению с другими видами накопителей энергии [2, 4, 7]. Этот вид накопителя также удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к устройствам накопления энергии для систем электрической тяги [8].

© Сулим А. А., Ломонос А. И., 2013

Таким образом, применение ЕНЭ позволит дополнительно использовать избыточную электроэнергию рекуперации поезда метрополитена. Наиболее перспективным с точки зрения эффективности процессов энергообмена является установка ЕНЭ на поезде метрополитена [9]. Основной особенностью этого размещения накопителя является накопление энергии на борту электропоезда и ее использование электропоездом в режиме тяги. Таким образом, расчет должен учитывать данные особенности и позволять определять следующие показатели: энергию потребления (без накопителя и при его наличии), энергию накопления и избыточную энергию.

Проведенный анализ показал, что в работах других авторов не предложены методики расчета накапливаемой и рекуперированной энергии при установке накопителя на электропоезде метрополитена [6].

Цель работы состоит в разработке методики расчета количества и стоимости потребляемой, рекуперированной в накопитель и избыточной энергии, исходя из заданного режима движения поезда метрополитена.

В основе методики расчета лежат вычисления потребляемой, рекуперированной и накапливаемой энергии по имеющимся входным данным режима движения электропоезда метрополитена, среднего потребляемого (рекуперированного) тока, среднего напряжения контактной сети, энергоемкости накопителя. Рассчитанные данные для каждого режима ведения поезда записываются в виде столбцов таблицы. Таблица выходных данных состоит из следующих столбцов: энергия потребления без применения накопителя – $A_{\text{потр}}$, энергия потребления с применением накопителя – $A_{\text{потр.нак}}$, накопленная энергия – $A_{\text{нак.рек}}$ и избыточная энергия при рекуперативном торможении – $A_{\text{изб.рек}}$. После заполнения таблицы осуществляются расчеты общей энергии потребления и рекуперации, а также ее стоимости для заданного режима движения электропоезда.

Следует отметить, что данная методика кроме вышеприведенных показателей позволяет рассчитывать необходимую энергоемкость накопителя в случае наличия избыточной энергии рекуперации. Расчет подразумевает наличие на борту электропоезда метрополитена ЕНЭ определенной энергоемкости. Исходным состоянием перед проведением расчетов считается, что накопитель полностью разряжен. Предложенный алгоритм расчета (рис. 1) включает вычисления, суть которых рассмотрена ниже.

Задаются оператором параметры, необходимые для расчета энергии рекуперации при установке накопителя на электропоезде: количество изменения режимов движения поезда (K), энергоемкость установленного накопителя (A), режим движения на линии в виде столбцов таблицы («1», «0», «-1», где «1» – режим тяги, «0» – режим выбега, «-1» – режим рекуперативного торможения), длительность для каждого режима движения электропоезда ($t_{1...K}$), средний ток для каждого режима движения электропоезда ($I_{\text{ср}1...K}$), среднее напряжение на шинах вагона каждого режима движения электропоезда ($U_{\text{ср}1...K}$), стоимость электроэнергии за 1 кВт·час., минимальное напряжение на ЕНЭ ($U_{\text{енmin}}$), максимальное напряжение на ЕНЭ ($U_{\text{енmax}}$).

Рассчитывается энергия потребления в режиме тяги и записывается результат в столбцы $A_{\text{потр}}$ и $A_{\text{потр.нак}}$, в колонках $A_{\text{нак.рек}}$ и $A_{\text{изб.рек}}$ записываются нули. Расчеты количества энергии потребления в режимах тяги и выбега, а также количества энергии рекуперации, выполняются по выражениям:

$$A_{\text{тяги}} = \frac{I_{\text{ср}} \cdot U_{\text{ср}} \cdot t_{\text{тяги}}}{3600 \cdot 1000}; \quad (1)$$

$$A_{\text{выбега}} = \frac{I_{\text{ср}} \cdot U_{\text{ср}} \cdot t_{\text{выбега}}}{3600 \cdot 1000}; \quad (2)$$

$$A_{\text{рек}} = \frac{I_{\text{ср}} \cdot U_{\text{ср}} \cdot t_{\text{рек}}}{3600 \cdot 1000}, \quad (3)$$

где $t_{\text{тяги}}$ – длительность режима тяги; $t_{\text{выбега}}$ – длительность режима выбега; $t_{\text{рек}}$ – длительность режима рекуперативного торможения.

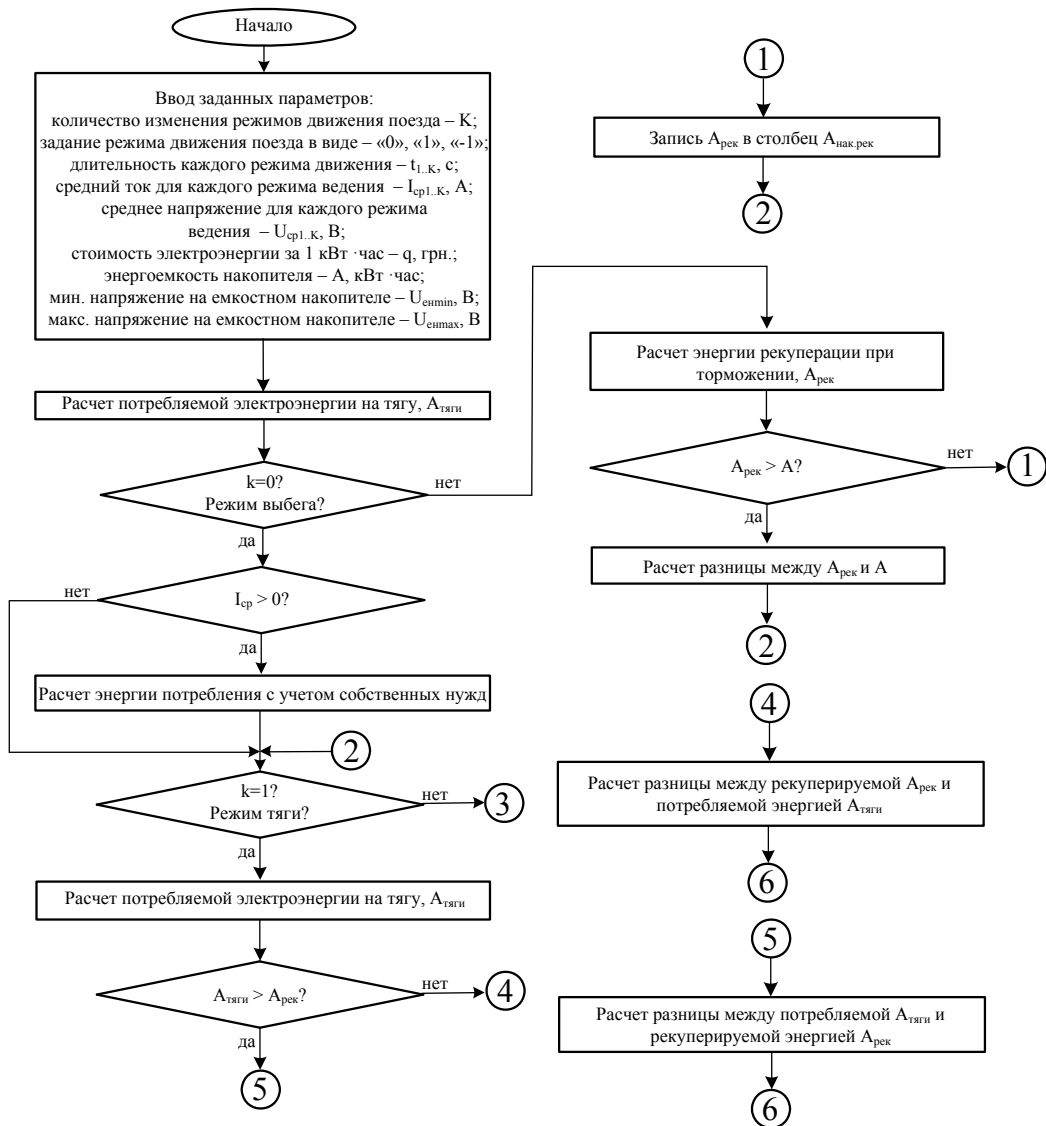


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения количества и стоимости потребляемой, рекуперированной в накопитель и избыточной энергии рекуперации электропоезда метрополитена

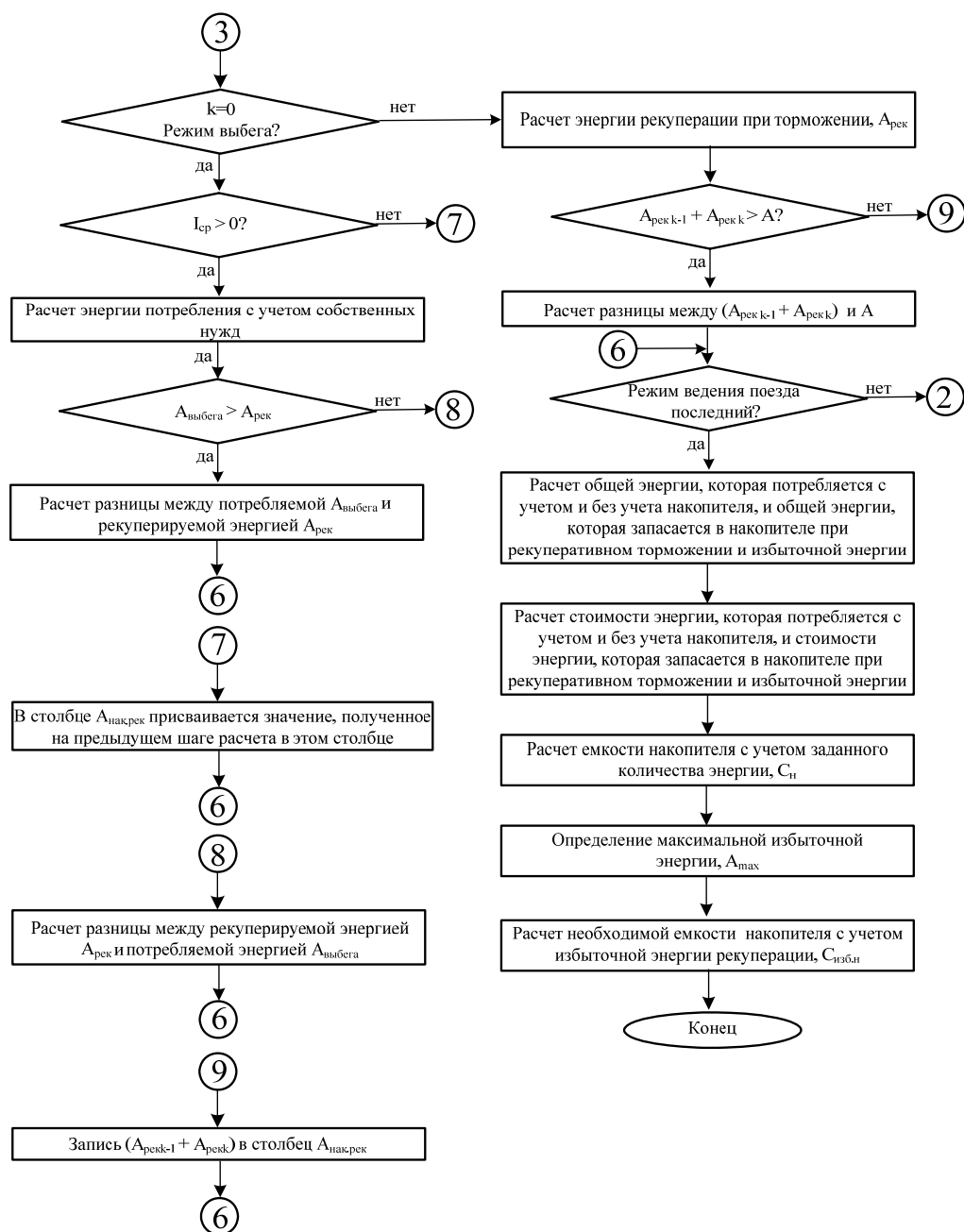


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения количества и стоимости потребляемой, рекуперированной в накопитель и избыточной энергии рекуперации электропоезда метрополитена (окончание)

Проверяется условие: «Режим выбега?». Если условие выполняется, тогда осуществляется проверка условия $I_{ср} > 0$. В противном случае осуществляется расчет режима рекуперативного торможения. Расчет энергии потребления выполняется по выражению (1).

Проверяется условие « $I_{cp} > 0$ ». Если условие выполняется, тогда осуществляется расчет потребляемой энергии с учетом потребления на собственные нужды электропоезда и результат вносится в колонки $A_{потр}$ и $A_{потр.нак}$, в колонках $A_{нак.рек}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули. Расчет энергии потребления выполняется по выражению (2). В противном случае присваиваются нули во всех четырех колонках.

Осуществляется расчет энергии рекуперации в случае режима рекуперативного торможения по выражению (3).

Проверяется условие « $A_{рек} > A$ ». Если условие выполняется, тогда вычисляется разница между $A_{рек}$ и A , результат расчета вносится в колонку $A_{изб.рек}$, в колонку $A_{нак.рек}$ присваивается значение, равное A , в колонки $A_{потр}$ и $A_{потр.нак}$ записываются нули. В противном случае $A_{рек}$ вносится в колонку $A_{нак.рек}$, в колонки $A_{потр}$, $A_{потр.нак}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули.

Вычисляется энергия потребления или рекуперации в зависимости от режима движения с учетом накопленной энергии при торможении либо без нее.

Проверяется условие «Режим тяги?». Если условие выполняется, тогда вычисляется энергия, потребляемая на тягу по выражению (1) и записывается результат в столбец $A_{потр}$. В противном случае рассчитывается режим выбега или торможения.

Проверяется условие « $A_{тяги} > A_{рек}$ ». Если условие выполняется, тогда выполняется расчет разницы между $A_{тяги}$ и $A_{рек}$, результат записывается в столбец $A_{потр.нак}$, в колонки $A_{нак.рек}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули. В противном случае рассчитывается разница между $A_{рек}$ и $A_{тяги}$, результат записывается в колонку $A_{нак.рек}$, в колонки $A_{потр.нак}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули.

Проверяется условие «Режим выбега?». Если условие выполняется, тогда проверка следующего условия $I_{cp} > 0$. В противном случае рассчитывается режим рекуперативного торможения.

Проверяется условие « $I_{cp} > 0$ ». Если условие выполняется, тогда рассчитывается энергия с учетом потребления на собственные нужды по выражению (2) и результат записывается в столбец $A_{потр}$, проверяется следующее условие: « $A_{выбега} > A_{рек}$ ». В противном случае присваиваются нули в колонках $A_{потр.нак}$, $A_{потр}$ и $A_{изб.рек}$, в колонке $A_{нак.рек}$ присваивается значение предыдущего режима движения электропоезда.

Проверяется условие « $A_{выбега} > A_{рек}$ ». Если условие выполняется, тогда рассчитывается разница между $A_{выбега}$ и $A_{рек}$, результат потребления на собственные нужды записывается в колонку $A_{потр.нак}$, в колонки $A_{нак.рек}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули. В противном случае рассчитывается разница между $A_{рек}$ и $A_{выбега}$, результат записывается в колонку $A_{нак.рек}$, в колонки $A_{потр.нак}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули.

Рассчитывается энергия рекуперации для режима рекуперативного торможения по выражению (3).

Проверяется условие « $(A_{рек\ k-1} + A_{рек\ k}) > A$ ». Если условие выполняется, тогда рассчитывается разница между $A_{рек\ k-1} + A_{рек\ k}$ и A , результат расчета вносится в колонку $A_{изб.рек}$, в колонку $A_{нак.рек}$ вносится количество энергии равное A , в колонки $A_{потр}$ и $A_{потр.нак}$ записываются нули. В противном случае $(A_{рек\ k-1} + A_{рек\ k})$ записывается в колонку $A_{нак.рек}$, в колонки $A_{потр}$, $A_{потр.нак}$ и $A_{изб.рек}$ записываются нули.

Выполняется проверка условия «Режим ведения электропоезда последний?» после каждого расчета электроэнергии, которая потребляется, накапливается либо отдается в контактную сеть в зависимости от режима движения электропоезда. Если условие выполняется, тогда рассчитывается общая энергия, которая потребляется без учета и с учетом накопителя; общая энергия, которая запасается в накопитель за время рекуперативного торможения и общая избыточная энергия. Общая

энергия, которая запасается в накопителе, определяется как сумма значений, которые содержатся в колонке $A_{\text{нак.рек}}$ для режимов рекуперативного торможения. В противном случае происходит расчет следующего режима движения электропоезда.

Вычисляется стоимость электроэнергии, которая потребляется без учета и с учетом накопителя; стоимость электроэнергии, которая запасается в накопителе и стоимость избыточной электроэнергии по выражениям:

$$Q_{\text{потр}} = A_{\text{потр}} \cdot q; \quad (4)$$

$$Q_{\text{потр.нак}} = A_{\text{потр.нак}} \cdot q; \quad (5)$$

$$Q_{\text{нак.рек}} = A_{\text{нак.рек}} \cdot q; \quad (6)$$

$$Q_{\text{изб.рек}} = A_{\text{изб.рек}} \cdot q. \quad (7)$$

Выполняется расчет энергоемкости накопителя с учетом заданного количества электроэнергии, которую может сохранить накопитель, по выражению:

$$C_{\text{ен}} = \frac{2 \cdot A}{U_{\text{енmax}}^2 - U_{\text{енmin}}^2}. \quad (8)$$

Определяется максимальное значение избыточной электроэнергии за время заданного режима движения электропоезда метрополитена, A_{max} .

Рассчитывается необходимая энергоемкость накопителя с учетом накопления избыточного количества электроэнергии:

$$C_{\text{енmax}} = \frac{2 \cdot (A + A_{\text{max}})}{U_{\text{енmax}}^2 - U_{\text{енmin}}^2}. \quad (9)$$

В качестве примера выполнен расчет количества и стоимости потребляемой, накапливаемой и избыточной электроэнергии, а также необходимой емкости накопителя при следующих входных данных: $K=16$; $q=0,3648$ грн.; $U_{\text{енmin}}=550$ В; $U_{\text{енmax}}=975$ В; $A=10$ кВт·час. Количество режимов движения получено путем моделирования движения поезда метрополитена по графику между тремя станциями. Расчет выходных данных осуществляется по выражениям (1)–(9) в соответствии с алгоритмом (рис. 1). Входные данные для каждого режима движения электропоезда и рассчитанные выходные данные приведены в табл. 1.

Таблиця 1. Результаты расчета потребляемой, накапливаемой и избыточной электроэнергии

Входные данные				Выходные данные			
Режим движения	t, с	I _{ср} , А	U _{ср} , В	A _{потр.} , кВт·час	A _{потр.нак.} , кВт·час	A _{нак.рек.} , кВт·час	A _{изб.рек.} , кВт·час
1	22,7	3500	750	16,55	16,55	0	0
0	40,7	0	825	0	0	0	0
1	8,3	1700	790	3,1	3,1	0	0
0	10,2	0	825	0	0	0	0
-1	22,1	2250	900	0	0	10	2,43
0	30	0	825	0	0	10	0
1	25	3500	750	18,23	8,23	0	0
0	50,4	0	825	0	0	0	0
1	15,1	2000	775	6,5	6,5	0	0
0	25,1	0	825	0	0	0	0
-1	19,1	2000	870	0	0	9,23	0
0	30	0	825	0	0	9,23	0
1	20	2700	800	12	2,77	0	0
0	39,3	0	825	0	0	0	0
-1	17,7	2250	900	0	0	9,96	0
0	30	0	825	0	0	9,96	0
Всего:				56,38	37,15	29,19	2,43
Стоимость электроэнергии, грн.				20,57	13,55	10,65	0,89

По выражениям (8)–(9) рассчитана соответственно энергоемкость с учетом заданного количества электроэнергии и необходимая энергоемкость накопителя с учетом накопления избыточного количества электроэнергии $C_{ен}=111,1$ Ф и $C_{енmax}=138,1$ Ф.

По результатам рассчитанных данных (табл. 1) построена диаграмма (рис. 2), на которой приведено количество потребляемой и избыточной электроэнергии без накопителя и с применением накопителя заданной энергоемкости.

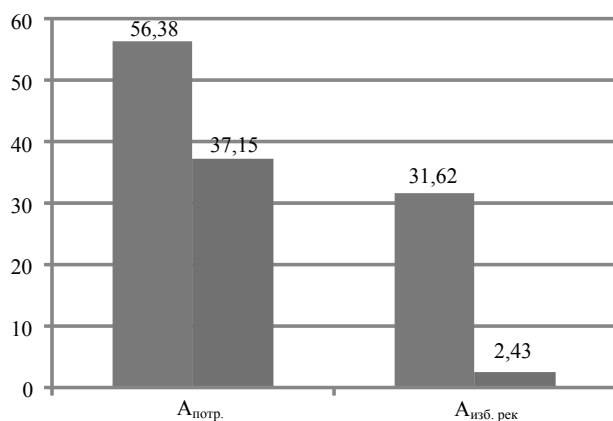


Рис. 2. Диаграмма потребляемой и избыточной электроэнергии без накопителя и с применением накопителя заданной энергоемкости (A=10 кВт·час)

Выводы. Предложенная в работе методика позволяет рассчитать количество электроэнергии рекуперации при установке емкостного накопителя энергии на электропоезде метрополитена.

На основании разработанного алгоритма выполнен пример расчета, который позволил установить, что для заданного режима движения энергоемкость установленного емкостного накопителя составляет 111,1 Ф, необходимая энергоемкость должна составлять 138,1 Ф.

Анализ полученных результатов показывает, что при заданном количестве накапливаемой энергии ($A = 10$ кВт·час) количество потребляемой электроэнергии уменьшается на 34,1 %, количество избыточной электроэнергии составляет 4,3 % от общего количества потребляемой энергии из сети (рис. 2), которое возвращается в контактную сеть или рассеивается на резисторах в виде тепла.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение оптимальной энергоемкости ЕНЭ при заданном режиме движения электропоезда метрополитена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хворост Н. В. Концепция новой структуры системы электрической тяги метрополитена / Н. В. Хворост // Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». – Харьков, ХГАГХ, 2003. – Вып. № 53. – С. 172 – 179.
2. Шевлюгин М. В. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии / М. В. Шевлюгин, К. С. Желтов // Журнал «Наука и техника транспорта». – М., 2008. – Вып. № 1. – С. 15 – 20.
3. Родькин Д. И. Особенности осуществления электропривода с накопителями энергии / Д. И. Родькин, Т. В. Величко // Научные труды КГПИ «Проблемы создания машин и технологий». – Кременчук: КГПИ, 2000. – Вып. 2/2000 (9). – С. 124–132.
4. Щуров Н. И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н. И. Щуров, К. В. Щеглов, А. А. Штанг // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 1 (51). – С. 99 – 104.
5. Сулим А. А. Экономия электроэнергии при использовании рекуперативного торможения на вагонах метрополитена / А. А. Сулим, С. Д. Сычев, В. Р. Распопин, П. А. Хозя, А. А. Мельник, В. В. Федоров // X Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів. Збірник матеріалів конференції. – Кременчук, КрНУ, 2012. – С. 344.
6. Улитин В. Г. Проблема использования избыточной энергии рекуперации на городском электрическом транспорте / В. Г. Улитин // Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». – Харьков, ХГАГХ, 2009. – Вып. № 88. – С. 266 – 271.
7. Писарев Л. Т. Рекуперативное торможение поездов с использованием энергоемких конденсаторов / Л. Т. Писарев, Ю. В. Черняк, М. Р. Терованесов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2009. – № 17. – С. 97 – 105.
8. Штанг А. А. Повышение эффективности электротранспортных систем на основе использования накопителей энергии: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Штанг А. А. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 19 с.: ил.
9. Сулим А. А. Обоснование места установки емкостных накопителей энергии в системах тягового электроснабжения метрополитена / А. А. Сулим // Науково-виробничий журнал «Електромеханічні і енергозберігаючі системи». – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013 (22). – Частина 2. – С. 282–285.

УДК 629.423

В. М. Тарасюк

**ВИКОРИСТАННЯ АБСОРБЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЯКІРНИХ
ОБМОТОК ТЕД ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ**

Проаналізовано методи діагностики технічного стану ізоляції обмоток електричних машин. Наведені результати статистичних досліджень абсорбційних характеристик якірних обмоток ТЕД РТ-51.

Проанализированы методы диагностики технического состояния изоляции обмоток электрических машин. Приведены результаты статистических исследований абсорбционных характеристик якорных обмоток ТЭД РТ-51.

The methods of technical diagnostics of electrical machines winding insulation. The results of statistical studies of absorption characteristics anchor windings TED RT-51.

Ключові слова: діагностика, поляризація, якір, діелектрик.

Методи контролю ізоляції розділяються на: фізичні структурні, руйнівні і неруйнівні непрямої дії. Фізичні структурні методи забезпечують безпосередню оцінку фізико-хімічного складу і стану структури матеріалу ізоляції. Однак їх використання можливе лише при дослідженні ізоляції в лабораторних умовах, що обмежує їх впровадження у ремонтному виробництві. Руйнівні методи базуються на прикладанні до ізоляції випробувальної напруги $U_{вип}$ протягом нормованого часу [1]. Такі випробування виконуються як контрольні і не дають достатньо інформації для прогнозування терміну працездатності ізоляції в експлуатації.

$$U_{вип} = 2,25U_{ном} + 2000 \quad (1)$$

де $U_{вип}$ – випробувальна напруга;

$U_{ном}$ – номінальна напруга на яку розрахована ізоляція.

Діагностування стану ізоляції виконується в основному неруйнівними методами непрямої дії. Коротка характеристика діагностичних методів зазначена в табл. 1. Система ізоляції обмоток електричних машин – це твердий діелектрик з макроскопічною неоднорідною структурою. Будь-яку систему ізоляції, що застосована в обмотках електричних машин, розглядають як конденсатор зі складним середовищем, структура якого визначається матеріалами, що закладені в систему ізоляції, а також її станом – наявністю дефектів та зволоженістю. Схема заміщення ізоляції зображена на рис. 1.

© Тарасюк В. М., 2013

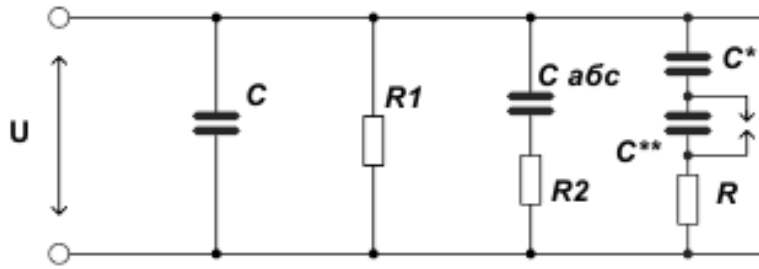


Рис. 1. Схема заміщення електричної ізоляції

C – геометрична ємність; $R1$ – опір наскрізної провідності;
 $C_{абс}$ та $R2$ – коло абсорбційної складової і діелектричних втрат;
 C^* , C^{**} , R – коло, в якому можливі втрати через іонізацію при наявності розряду

Таблиця 1. Норми напруг для випробування електричної міцності

Неруйнівні методи діагностування непрямої дії	Діагностичні параметри
Дослідження провідності	Струм витoku I_v , омичний опір R
Поляризаційні методи	Електрична ємність C , показники зміни струму абсорбції $I_{абс}$
Дослідження діелектричних втрат	Тангенс кута діелектричних втрат $\tan \delta$
Частотні методи	Визначення C , R , $\tan \delta$ при різних частотах випробувальних напруг ω
Дослідження частотних розрядів	Частота повторення розрядів, їх інтенсивність, форма розрядів.
Імпульсні методи	Рівень магнітного поля, форми вихідного сигналу

У процесі експлуатації під дією електричного поля на обмотку, внаслідок різної електропровідності шарів ізоляції, на їх межах накопичуються заряди повільно рухомих іонів, і виникає міжшарова поляризація (релаксаційна). Внаслідок накопичення носіїв заряду виникає струм абсорбції [2]:

$$I_{абс} = n_0 a E + \frac{n_0 q^2 x^2}{12 k T} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) E \quad (2)$$

де n_0 – число слабо зв'язаних іонів;
 a – величина, що визначає поляризованість іонів;
 E – напруженість поля;
 q – заряд іона;
 x – довжина пробігу іона;
 k – постійна Больцмана;
 T – температура;
 t – час протікання струму;
 τ – час релаксації слабо зв'язаних іонів (поляризації діелектрика).
 Час поляризації діелектрика визначається за формулою [3]:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{W_p}{kT}\right) \quad (3)$$

де τ_0 – період теплового коливання;

W_p – енергія активації процесу релаксації.

У фундаментальній роботі Д.Вайди [4] доведено, що абсорбційні характеристики, особливо на початковому інтервалі часу, несуть значний об'єм інформації про внутрішній стан ізоляції, і зокрема, про ступінь незворотних змін її структури та діелектричних властивостей. Зв'язок абсорбційних характеристик з параметрами структури ізоляції та її основними властивостями може бути встановлений шляхом топологічного аналізу електричної схеми заміщення багат шарової ізоляції в режимі її розряду (див. рис. 2).

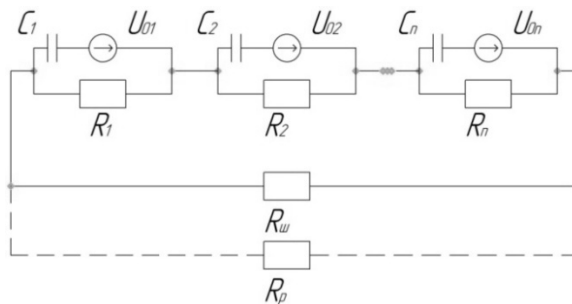


Рис. 2. Схема заміщення багат шарової ізоляції в режимі розряду

C_1, C_2, C_n – ємність кожного шару ізоляції; R_1, R_2, R_n – опір кожного шару ізоляції; U_{01}, U_{02}, U_{0n} – ЕРС поляризації на кожному шарі ізоляції; $R_{ш}$ – опір, що характеризує поверхню ізоляції; R_p – опір зовнішнього кола розряду.

Якщо не враховувати саморозряд, то ЕРС поляризації ізоляції буде рівною напрузі джерела:

$$\sum_{k=1}^n U_{0k} = U_0 \quad (4)$$

де U_0 – напруга джерела заряду.

У такому випадку дискретну діагностичну модель схеми заміщення можна зобразити у вигляді ненаправленого графу (див.рис. 3) [5].

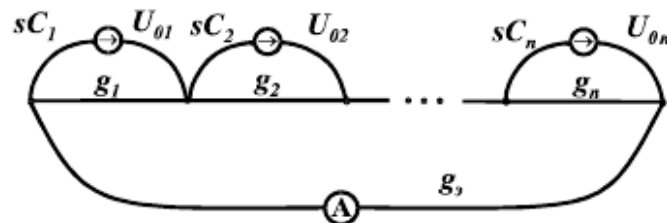


Рис. 3. Ненаправлений граф схеми заміщення багат шарової ізоляції в режимі розряду

g_1, g_2, g_n – активна провідність шарів ізоляції; sC_1, sC_2, sC_n – ємнісна провідність шарів ізоляції; g_s – провідність кола розряду; s – оператор Лапласа

Провідність кола розряду:

$$g_{\circ} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_{ui}} \quad (5)$$

Загальний розрядний струм в ланцюзі розряду складається зі струмів від дії кожного джерела ЕРС:

$$I_{\circ}(s) = \sum_{k=1}^n I_k(s) \quad (6)$$

$$I_k(s) = U_{0k}(s) F_k(s) \quad (7)$$

де $F_k(s)$ – передача k -го джерела.

Припустимо, що джерела в інших шарах заморожені. Тоді граф схеми заміщення матиме вигляд:

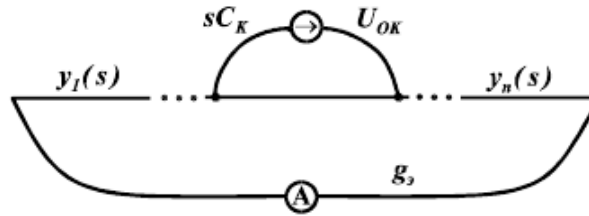


Рис. 4. Ненаправлений граф схеми заміщення k -го шару ізоляції в режимі розряду

$y_1(s), \dots, y_n(s)$, – оператори схеми, що визначають провідність шарів ізоляції, окрім k -го шару

Оператори провідності визначаються за виразами:

$$y_1(s) = \frac{1}{Z_1(s)} \quad (8)$$

$$y_n(s) = \frac{1}{Z_n(s)} \quad (9)$$

де

$$Z_1(s) = \frac{R_1}{1 + T_1 s} \quad (10)$$

$$Z_n(s) = \frac{R_n}{1 + T_n s} \quad (11)$$

Відповідно до правила Мезона передача $F_k(s)$ визначається за виразом [5]:

$$F_k(s) = \frac{\frac{sC_k}{y_k(s)}}{\frac{1}{y_1(s)} + \dots + \frac{1}{y_n(s)} + \frac{1}{g_0}} = \frac{sC_k Z_k(s)}{\sum_{k=1}^n Z_k + R_{\circ}} \quad (12)$$

Загальний розрядний струм можна записати:

$$I_9(s) = \frac{U_0}{s} \frac{1}{\sum_{k=1}^n R_k} \frac{\sum_{k=1}^n s C_k Z_k(s) R_k}{\sum_{k=1}^n Z_k(s) + R_9} \quad (13)$$

Струм через розрядний опір:

$$I_p(s) = I_9(s) \frac{R_{uu}}{R_{uu} + R_p} \quad (14)$$

Припустимо, що $R_p \ll R_{uu}$ і використовуючи зворотне перетворення Лапласа, функція струму розряду матиме значення:

$$I_p(t) = -\frac{U_0}{\sum_{k=1}^n R_k} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{k=1}^n \frac{R_k T_k}{\tau_i - T_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{R_k T_k}{(\tau_i - T_k)^2}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (15)$$

де $T_k = R_k C_k$, $\tau_i = -\frac{1}{s_i}$ – оператори нижченаведеного рівняння.

$$\sum_{k=1}^n \frac{R_k \tau}{\tau - T_k} = -R_p \quad (16)$$

Із виразу розрядного струму бачимо, що експонента характеризує струм розряду геометричної ємності багатопарової ізоляції. При $R_p \approx 0$ вона прямуватиме до δ -функції. Таке припущення дає можливість розраховувати складову струму абсорбції, визначаючи постійну часу із виразу:

$$\sum_{k=1}^{n-1} \frac{R_k}{\tau - T_k} = 0 \quad (17)$$

Як бачимо розрядний струм $I_p(t)$ залежить від співвідношення електричних параметрів шарів ізоляції, таких як діелектрична проникність та питома об'ємна провідність. Наприклад, для якірних котушок ТЕД електропоїздів постійна часу визначається за виразом:

$$\tau = \frac{R_1 T_1 + R_2 T_2 + R_3 T_3 + R_4 T_4 + R_5 T_5 + R_6 T_6}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \quad (18)$$

або,

$$\tau = \frac{\varepsilon_1 d_1 + \varepsilon_2 d_2 + \varepsilon_3 d_3 + \varepsilon_4 d_4 + \varepsilon_5 d_5 + \varepsilon_6 d_6}{\gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2 + \gamma_3 d_3 + \gamma_4 d_4 + \gamma_5 d_5 + \gamma_6 d_6} \quad (19)$$

Із виразу 19 випливає, що при старінні та зволоженні одного або декількох шарів ізоляції τ зменшується, оскільки діелектрична проникність ε зростає повільніше ніж питома об'ємна провідність і струм абсорбції спадатиме більш круто (див. рис. 5).

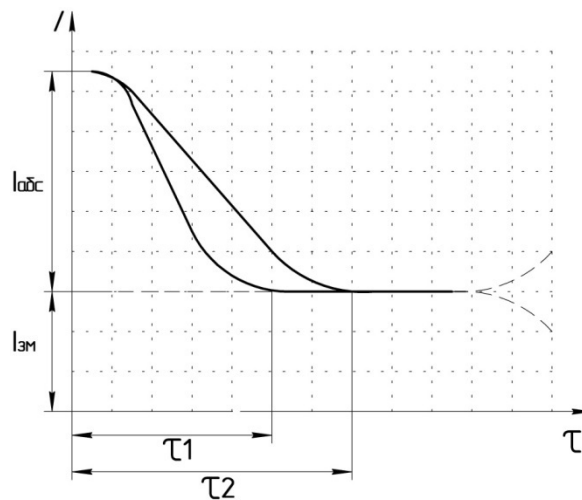


Рис. 5. Залежність величини струму в корпусній ізоляції обмотки якоря
 I_{abc} – струм абсорбції; $I_{зм}$ – струм зміщення;
 τ_1, τ_2 – час поляризації, відповідно із більшою і меншою кількістю дефектів ізоляції

На практиці для оцінки стану ізоляції за абсорбційними характеристиками можна використовувати метод частотної залежності ємності. Він базується на визначенні ємності ізоляції при постійній напрузі, на частотах 2 Гц і 50 Гц та визначенні відповідно ємності C_2 і C_{50} . Встановлено, що при відношенні $C_2/C_{50} > (1,2-1,3)$ ізоляція вважається зволоженою [3]. Однак, відношення C_2/C_{50} при зниженні температури зменшується. Визначення величин необхідно виконувати при 20 °С, що досить важко забезпечити у виробничих умовах при дослідженні ремонтних об'єктів. Інші методи діагностики, такі як імпульсний і частотних розрядів, використовуються в лабораторних умовах, а також для проведення безперервного контролю потужних електротехнічних об'єктів.

Більш прийнятним параметром, для якірних обмоток ТЕД, може бути використаний динамічний опір ізоляції $R_{is}(t)$. Параметр динамічного опору називають коефіцієнт абсорбції $\kappa_{аб}$:

$$\kappa_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}} \quad (20)$$

де R_{60} – опір ізоляції виміряний на 60 секунд прикладання напруги;

R_{15} – опір ізоляції виміряний на 15 секунд прикладання напруги.

Оскільки метод абсорбції передбачає визначення відношення опорів ізоляції, вплив температури на результати мінімальний. Це дозволяє застосовувати метод в умовах ремонтного виробництва, а також в умовах експлуатації. З метою визначення нормованих величин $\kappa_{аб}$, які можна було б використовувати під час контрольних випробувань в процесі ремонту, на ПрАТ «Київський ЕВРЗ» проведено статистичні дослідження стану ізоляції якірних обмоток. В період з 03.02.12 р. по 16.09.13 р. було випробувано 107 якорів типу РТ-51, що пройшли капітальний ремонт в об'ємі КР-2, з повною заміною ізоляції [6]. На рис. 6 зображена функція щільності розподілу f коефіцієнту абсорбції $\kappa_{абс}$.

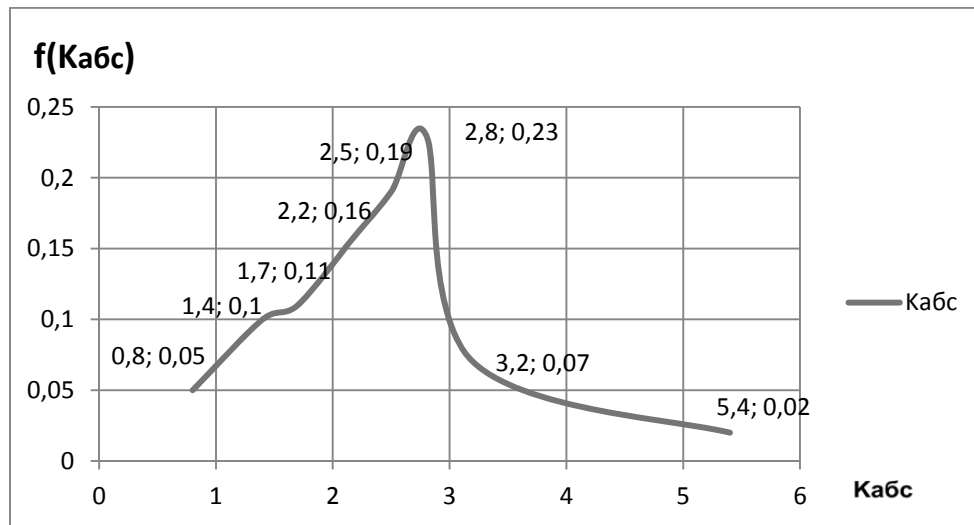


Рис. 6. Функція щільності розподілу f коефіцієнту абсорбції $K_{абс}$

Із отриманого графіка $f(K_{абс})$ видно, що розподіл величини $K_{абс}$ подібний до закону нормального розподілу випадкових величин [7]. З великою імовірністю можна стверджувати, що для нової ізоляції якірних обмоток ТЕД електропоїздів $K_{абс} \geq 2,8$. Тому, якщо під час діагностики технічного стану ізоляції якірних обмоток величина $K_{абс}$ значно менше 2,8 одиниць, то така ізоляція потребує відновлення діелектричних параметрів або ж повної заміни. На даний час проводяться статистичні дослідження по визначення $K_{абс}$ для якірних обмоток, що надходять в капітальний ремонт з експлуатації, а також тих, що пройшли відновлення діелектричних параметрів під час капітального ремонту в об'ємі КР-1.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия.
2. Сканиви Г. И. Физика диэлектриков (область слабых полей). – М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1945. – 500 с.
3. С. Н. Колесов, И. С. Колесов. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов — 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2007. – 535 с.
4. Вайда Д. Исследование повреждений изоляции. – М.: Энергия, 1968. – 400 с.
5. Гуменюк В. М. Надежность и диагностика электротехнических систем: Учеб. пособие для вузов. – Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. – 218 с.
6. 105.86000.94111. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. ЦТ-0204.
7. Вентцель Е. Е. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1962.

УДК 624.137.625

І. І. Кульбовський

К. П. Близнюк

О. Ю. Усиченко

КОНСТРУЮВАННЯ АРМОГРУНТОВИХ ПІДПІРНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

У статті розглянуті особливості конструювання армогрунтових підпірних споруд із застосуванням геосинтетичних матеріалів з додатковим армуванням ґрунту засипки при будівництві та реконструкції залізничної колії.

В статье рассмотрены особенности конструирования армогрунтовых подпорных сооружений с применением геосинтетических материалов с дополнительным армированием грунта засыпки при строительстве и реконструкции железнодорожного пути.

The paper describes the features of designing soil reinforcement retaining structures with the use of geosynthetics reinforced with additional soil backfill in the construction and reconstruction of railway track.

Ключові слова: проект, залізнична колія, інженерна споруда, підпірні конструкції, геосинтетичні матеріали, армогрунт

Проектні рішення при будівництві та реконструкції залізничних шляхів мають забезпечувати дотримання транспортно-експлуатаційних показників залізничної колії, ефективне використання матеріальних і природних ресурсів, скорочення термінів та вартості будівництва. Зростання навантаження на залізничну колію у зв'язку з підвищенням швидкості руху та вагової норми вантажних поїздів вимагає уточнення методів розрахунку залізничної колії. Одним з напрямів таких уточнень є підвищення якості оцінки працездатності залізничної колії за рахунок удосконалення розрахункових характеристик підрейкової основи, зокрема армогрунтових підпірних конструкцій. Міцність і стійкість елементів нижньої будови колії визначаються перш за все конструкцією споруди та фізико-механічними характеристиками ґрунтів. Призначенням підпірних стін є запобігання бокового або похилого руху ґрунту у відкосах насипів і виїмок із відповідним збереженням їх міцності і стійкості. Армування підпірної конструкції забезпечує зниження бокового тиску ґрунту і зменшення матеріаломісткості підпірних споруд. Застосування підпірних стін та армуючих елементів дає можливість зменшити закладення укосів, зокрема для високих насипів, що дозволить скоротити терміни будівництва, зменшити обсяги земляних робіт та відведення цінних земель (підходи до мостів, шляхопроводів у містах, в курортних та рекреаційних зонах).

© Кульбовський І. І., Близнюк К. П., Усиченко О. Ю., 2013

Ефективним засобом підвищення експлуатаційних якостей та технічних характеристик конструкцій є застосування при їх спорудженні геосинтетичних матеріалів. Геосинтетики завдяки своїм властивостям (висока міцність на розтягнення і розрив при малих деформаціях, висока адгезія з ґрунтом, довговічність, стійкість до впливу хімічно агресивних середовищ) дають можливість зміцнювати слабкі основи, будувати насипи з укосами підвищеної крутизни, підвищувати несучу здатність ґрунтів, стабілізувати стійкість схилів, збільшити термін служби залізничної колії.

Конструювання підпірних конструкцій з застосуванням армуючих геосинтетиків має здійснюватися з урахуванням властивостей цих матеріалів і особливостей взаємодії елементів системи. Крім того, має бути враховано зниження активного тиску ґрунту засипки за рахунок введення у масив ґрунту армуючих прошарків. Аналіз роботи споруд, які взаємодіють з армованим ґрунтом, проведений вітчизняними та зарубіжними вченими, свідчить, що при армуванні підпірних стінок із зворотною засипкою сталевими стрічками та сітками реальні напруження, які виникають в армуванні, наближуються до розрахованих за методом зворотного клина і мають відмінності лише в основі армоґрунтової споруди. Разом з тим, у стінках з геосинтетичним армуванням спостерігається значне перевищення розрахункових даних порівняно з експериментальними, що свідчить про недосконалість існуючих методів розрахунків у процесі конструювання.

Задача конструювання армоґрунтових підпірних стінок зводиться до визначення геометричних розмірів стіни, матеріалів для їх спорудження та розрахунки підпірних стінок на стійкість, міцність і довговічність з обґрунтуванням варіантів з метою вибору найекономічнішого за даних умов.

Перший етап конструювання – визначення геометрії стіни. Підпірні стіни із залізобетону для армоґрунтових конструкцій рекомендуються кутового типу (без контрфорсів, а при висоті понад 3 м і з контрфорсами); при відповідному обґрунтуванні також можуть застосовуватися ряжеві та інші залізобетонні стіни. Конструкції підпірних стін можуть виконуватися монолітними, збірними та збірно-монолітними. На прямих ділянках відстань від осі найближчої залізничної колії до підпірної стінки на рівні підшви шпал і вище має бути не менше 3 – 3,5 м залежно від категорії ділянки колії. На кривих ділянках з зовнішнього боку кривої цю відстань необхідно збільшувати залежно від радіуса кривини.

На другому етапі здійснюють підбір заповнювача. Активний тиск ґрунту засипки може бути знижений за рахунок введення геосинтетичних армуючих прошарків. Армований ґрунт – це композитний матеріал, в якому скомбіновані характерні міцності двох різних матеріалів, зменшуючи недоліки кожного. Ґрунт характеризується низькою міцністю на розтяг, але високою міцністю на стиснення, яка обмежується властивістю ґрунту чинити опір зсувним напруженням. У даному випадку комбінація великого обсягу відносно дешевого матеріалу з міцністю на стискання – ґрунту, поєднується з відносно меншою кількістю більш дорогого матеріалу з міцністю на розтяг – геосинтетиками, призводить до покращення фізико-механічних властивостей армованого ґрунту. При навантаженні армованого ґрунту вертикальними напруженнями з'являється деформація стиснення і результуюча бокова деформація розтягу. Таким чином, комбінація міцності на розтяг з міцністю на стискання двох матеріалів покращує загальні характеристики композитного матеріалу аналогічно властивостям залізобетону. При встановленні розрахункової міцності ґрунту згідно з моделлю Кулона-Мора, питоме зчеплення (когезію) ґрунту приймають

рівним нулю. Розрахункове значення кута внутрішнього тертя визначають за формулою (1):

$$\varphi_{iid} = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\gamma_m} \right), \quad (1)$$

де γ_m – частковий коефіцієнт запасу на зсувну міцність ґрунту конструкції.

На третьому етапі здійснюють підбір елементів армування. Елементи армування мають дуже низьку жорсткість на згин і можуть сприймати тільки осьові напруження розтягу, оскільки їх товщина дуже мала порівняно з іншими розмірами конструкції. Напруження сприймаються армуванням за рахунок осьової жорсткості елемента. У разі використання для армування ґрунтів полімерних геосинтетиків – геотекстилів, геосіток та георешіток деформації розтягу при навантаженні проектними напруженнями перевищують 1% і таке армування розглядається як нежорстке.

Оскільки армування має жорсткість на розтяг більшу, ніж ґрунт, то бічне деформування ґрунту відбудеться у тому випадку, якщо відбудеться зсув на межі ґрунт – армування. Зусилля зсуву в ґрунті передаються розташованому поряд армуванню, як тільки у ґрунті починаються зсувні деформації. Зусилля зсуву нестабільної ґрунтової маси передаються армуванню через тертя та адгезію. Тертя – компонент опору зсуву, який є пропорційним нормальному напруженню, що діє на площину зсуву. Адгезія – опір зсуву між різними матеріалами (ґрунт та армування) і не залежить від нормального напруження. У результаті цього внутрішнього переформування зсуву, маса ґрунту утримується від критичного стану і боковий тиск від маси армованого ґрунту також зменшується. При збільшенні осьового напруження збільшуються напруження зсуву. Межа міцності армованого матеріалу залежить від міцності армування або від сили тертя на межі ґрунт – геосинтетичне армування.

Розрахункову міцність армуючого геосинтетика визначають формулою (2):

$$T_d = \frac{T_{ном}}{\gamma_m \times \gamma_n}, \quad (2)$$

де $T_{ном}$ – приймається рівною:

R_p – міцності на розрив, при розрахунках на короткотривалий строк служби інженерної споруди або конструкції;

R_{cr} – міцності при повзучості при розтягу (довготривала міцність), при розрахунках на довготривалий строк служби.

Якщо експериментальні дані по визначенню R_{cr} відсутні, то R_{cr} визначають за формулою (3):

$$R_{cr} = \frac{R_p}{\gamma_{cr}}, \quad (3)$$

де γ_{cr} – частковий коефіцієнт на повзучість: для поліестеру – 2,5; для поліпропілену – 5,0; для поліаміду – 2,86; для поліетилену – 5,0.

Четвертий етап – визначення геометрії розташування армуючих елементів та початкових розмірів структури. Гнучке армування забезпечує стійкість армованої маси ґрунту за рахунок перенесення напружень зсуву з активної зони в стійку. Якщо армування має достатню силу тертя з ґрунтом та власну міцність на розтяг, воно сприймає навантаження розтягу, які генеруються в активній зоні ґрунтового масиву. Напруження розтягу в армуванні у межах стійкої зони зменшуються і у випадку, коли його довжина закладення у стійкій зоні достатня, на вільному кінці довжини L_{cj} у стійкій зоні напруження розтягу дорівнюють нулю. Для забезпечення ефективної роботи геосинтетичного армування у ґрунті необхідно забезпечити ефективну його взаємодію з ґрунтом. Гнучке армування укладається в ґрунт під час будівництва, має положення близьке до горизонтального, що співпадає з напрямком напру-

жень розтягу, які виникають в ґрунті у межах активної зони. Головне для армування – сприйняття напружень без розриву, який би спровокував граничний стан руйнування, або без виникнення деформацій, які могли б призвести до відмови експлуатаційної надійності.

Перевірку правильності розподілу армуючих полотен виконують окремо для кожного i -го полотна геосинтетика за формулою (4):

$$K_{Ri} = K_{Ui} + \frac{T_{Si} \times R_i}{M_{Di}} \geq [K_R], \quad (4)$$

де K_{Ri} – фактичний коефіцієнт стійкості армованого укусу над i -м полотном;

K_{Ui} – те саме неармованого укусу;

T_{Si} – сумарна розрахункова міцність на розтяг полотен, що розташовані вище i -го полотна;

R_i – радіус потенційної кривої обрушення, яка проходить над i -м полотном;

M_{Di} – обертальний момент від масиву ґрунту й зовнішнього навантаження над i -м полотном.

При невиконанні умови (4) необхідно вибрати більш міцний геосинтетик або зменшити вертикальну відстань між армуючими полотнами.

Потрібну величину анкерування армуючих полотен з умови їх витягування з тіла укусу визначають за формулою (5):

$$L_{ei} \geq \frac{T_{Di} \times [K_R]}{2 \times (c_a + \sigma_{vi} \times \operatorname{tg} \delta)} = \frac{T_{Di} \times [K_R]}{2 \times \alpha \times (c + \sigma_{vi} \times \operatorname{tg} \varphi_1)}, \quad (5)$$

де L_{ei} – потрібна довжина анкерування i -го полотна (мінімальна величина L_{ei} становить 1 м); T_{Di} – розрахункова міцність на розтяг i -го полотна; c_a і c – адгезія ґрунту до геосинтетика і зчеплення (когезія) ґрунту, відповідно (при розрахунку на довготривалу стійкість армованого укусу значення c_a і c прирівнюють нулю); δ – кут тертя між ґрунтом та геосинтетиком; φ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту; α – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком.

Нижні армуючі полотна мають заводитися за криву потенційного обрушення. Додатково збільшена довжина нижніх полотен сприяє підвищенню стійкості проти обрушення по шарах підстильної укліс основи. Загальну величину армування для кожного полотна розраховують як суму довжини анкетування і ширини зони обрушення на рівні закладання полотна.

Після визначення всіх елементів конструкції здійснюють розрахунок підпірної структури. При розрахунках армоґрунтових підпірних стін прийняті принципи граничного стану. Розглядаються дві групи граничних станів.

Перша група граничних станів – по несучій здатності та непридатності до експлуатації. Включає повну втрату стійкості або значні пошкодження. Ці стани досягаються для певного способу руйнування. Межі безпеки проти досягнення стану граничного руйнування забезпечуються через введення коефіцієнтів надійності по призначенню споруди, коефіцієнтів надійності по навантаженнях та коефіцієнтів надійності по матеріалу. Розрахунок по першій групі граничних станів передбачає виконання розрахунків по стійкості положення стіни проти зсуву по основі, проти перекидання, міцності ґрунтової основи, загальна втрата стійкості – зовнішня стійкість та внутрішня стійкість – розрив армування, витягування армування, руйнування з'єднань, руйнування фасадних панелей, обвал фасадних блоків, проковзування фасадних блоків.

Друга група граничних станів – по непридатності до нормальної експлуатації – перевірка на допустимі деформації. Стан межі експлуатаційної надійності досягну-

то, якщо деформації, які спостерігаються протягом терміну експлуатації, перевищують допустимі значення, або якщо вони перешкоджають експлуатаційній надійності структури. Метою проектування є визначення допустимих деформацій для будь-якого стану межі експлуатаційної надійності. Розрахунок по другій групі граничних станів виконують на дію нормативних навантажень, тобто коефіцієнти надійності по навантаженнях та по матеріалах, крім геосинтетичного армування, приймається рівним одиниці.

Зовнішня стійкість армогрунтової підпірної стінки розраховується аналогічно до традиційних підпірних конструкцій, а проектування внутрішньої стійкості зводиться до визначення осьових розтягувальних зусиль, які сприймаються армуванням в активній зоні та їх розподілу в стійкій зоні в межах, визначених граничним станом руйнування або визначених меж експлуатаційної надійності.

При незадовільних результатах розрахунків здійснюють коригування початкових розмірів та проводять повторні розрахунки. Для порівняння проектних варіантів армогрунтових і неармованих підпірних стін на основі критерію «ефективність – вартість» приймають до розрахунку: об'єм земляних робіт, середню висоту укосу і кут його закладання, вартість місцевого і підібраного ґрунту для засипки, вартість матеріалів для армування, можливість і вартість землевідведення, терміни виконання будівельних робіт.

Висновки. Вибір раціональних проектних рішень при конструюванні армогрунтових підпірних споруд уможливило використання ґрунтів з підвищеною вологістю, зі зниженими фізико-механічними характеристиками, спорудження високих насипів з укосами підвищеної крутизни. За рахунок використання геосинтетиків скорочуються терміни будівництва, зменшуються обсяги земляних робіт та відведення земель, стає можливою заміна дорогих армуючих сталевих елементів на відносно дешеві геоматеріали без погіршення експлуатаційних якостей. Армуючі прошарки ґрунту засипки можуть одночасно поєднувати функції регулювання напружено-деформованого стану та водно-теплогового режиму ґрунтового насипу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *ДБН В.1.2-2:2006.* Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.
2. *ДБН В.1.2-15:2009.* Навантаження і впливи. Мости та труби.
3. *ВБН В.2.3-218-544:2008.* Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві.
4. *ВСН 167-70* Технические указания по проектированию подпорных стен для транспортного строительства.
5. *СНиП 2.09.03-85.* Сооружения промышленных предприятий
6. *ВСН 32-81.* Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах.
7. *ГБН В.2.3-218-548:2010.* Армогрунтові підпірні стінки для автомобільних доріг. Проектування та будівництво.
8. *Шабалина Л. А.* Искусственные сооружения. Учебное пособие. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 264 с.
9. *Никонов И. Н.* Искусственные сооружения железнодорожного транспорта. Трансжелдориздат, 1963. – 343 с.
10. *Дудинцева И. Л.* Механика грунтов: учеб. пособие / И. Л. Дудинцева. – М.: РГОТУПС, 2007 (М.). – 54 с. : ил.

УДК 656.223.2

А. В. Стукало

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ РОЗВИТКУ
ВАГОННОГО ГОСПОДАРСТВА В УМОВАХ
ЙОГО РЕФОРМУВАННЯ**

Розглядаються питання технічного стану вантажних вагонів та досліджуються заходи розвитку вагонного господарства. Обґрунтовано необхідність пошуку нових методів удосконалення процесу використання вантажного рухомого складу, що пов'язане з погіршенням технічних характеристик та високим дефіцитом найбільш масових видів вантажних вагонів. Розглядаються питання будівництва та впровадження в експлуатацію сучасного рухомого складу нового покоління та основні принципи і критерії технічних вимог до нього.

Рассматриваются вопросы технического состояния грузовых вагонов и исследуются меры развития вагонного хозяйства. Определена необходимость поиска новых методов совершенствования процесса использования грузового подвижного состава, что связано с ухудшением технических характеристик и высоким дефицитом наиболее массовых видов грузовых вагонов. Рассматриваются вопросы строительства и ввода в эксплуатацию современного подвижного состава нового поколения, основные принципы и критерии технических требований к нему.

Questions of a technical condition of freight cars and investigated measures of carriage services. The necessity of finding new methods for improving the process of using freight rolling stock, due to the deterioration of specifications and a high deficit of the most popular types of freight cars. The problems of construction and putting into service of modern rolling stock of the new generation and the basic principles of specifications and criteria to it.

Ключові слова: вантажний рухомий склад, вагон нового покоління, технічні характеристики, дефіцит.

Визначення проблеми. У діапазоні численних проблем функціонування та розвитку залізниць України на сьогоднішній день найважливіше місце посідають питання технічного стану вантажних вагонів, фізичний знос яких станом на 01.01.2013 р. уже більше, ніж у 1,5 рази перевищує термін їх експлуатації. В цих умовах дуже актуальними є заходи розвитку вагонного господарства, які сприятимуть підвищенню ефективності використання вантажного рухомого складу з метою забезпечення економіки країни необхідною кількістю навантажувальних ресурсів для виконання заданих обсягів перевезення вантажів.

© Стукало А. В., 2013

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми методології та теоретичного обґрунтування питань, пов'язаних з удосконаленням використання рухомого складу знайшли відображення у наукових працях таких вчених, як Н. З. Криворучко, В. П. Бугаєв, В. І. Сенько, В. Д. Станпаков, В. В. Пігунов, М. Б. Кельріх, Б. К. Спиридонов, В. К. Лобастов, І. Ф. Пастухов, Ю. С. Бараш, Є. Г. Родзевич, З. Г. Єфремова та ін.

Метою даної статті є дослідження та наукове обґрунтування заходів розвитку вагонного господарства, які передбачають докорінні зміни технічних параметрів при будівництві, ремонті та експлуатації вантажних вагонів, що сприятимуть підвищенню ефективності використання навантажувальних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Станом на 01.01.2013 р. в інвентарному парку Укрзалізниці знаходиться 209,3 тис. вантажних вагонів, які експлуатуються. Ступінь зносу вагонів складає 91 %. Серед несправних налічується 9,6 тис. вагонів, що складає 4,5 % інвентарного парку. У тривалий запас відставлено 15 тис вагонів, що складає 7,1 % інвентарного парку. Для спеціальних потреб залізниць використовується 1,1 тис вагонів.

Найбільш використовуваним рухомим складом на сьогоднішній день є напіввагони, яких в інвентарному парку налічується 59705 од., в т.ч. деповського ремонту потребують 859 напіввагонів, капітального – 61, капітального з продовженням терміну служби – 3328. Робочий парк напіввагонів інвентарного парку становить 1019 од., ступінь зносу яких становить 95 %. Також на сьогодні продовжено термін служби 24983 напіввагонів.

За період 2006 – 2012 років на залізничному транспорті було придбано і побудовано 5106 нових вантажних вагонів, а за цей самий період виключено із інвентарного парку 25961 вагон, що в 5 разів більше, ніж придбано. Крім того за 2011 – 2012 рр. закінчився термін придатності ще 18 тис. вагонів експлуатаційного парку (без врахування довготривалого запасу), зокрема більше 11 тис. напіввагонів, що ще більше погіршило ситуацію із забезпечення економіки країни навантажувальними ресурсами.

У зв'язку з погіршенням технічного стану рухомого складу вантажних вагонів необхідно розглянути такі **заходи розвитку вагонного господарства:**

- проведення єдиної науково-технічної та інвестиційної політики в галузі при будівництві та освоєнні нових вантажних і рефрижераторних вагонів, модернізація та підвищення надійності вантажних вагонів та їх вузлів;
- забезпечення безпеки руху поїздів шляхом проведення комплексного технічного обслуговування вагонів;
- формування та проведення єдиної технічної політики в галузі ремонту вантажних вагонів в депо і на заводах, контроль дотримання ВЧД і ВРЗ вимог нормативної документації при ремонті вагонів;
- проведення єдиної технічної політики у взаємодії із залізничними адміністраціями інших держав по спільному використанню вантажних вагонів в міжнародному сполученні.

Необхідність реалізації цих заходів обумовлено тими обставинами, що вантажні вагони, які експлуатуються як на залізницях держав Співдружності, так і України, в більшості спроектовані ще в 50-х роках минулого століття, тому є морально застарілими і мають незадовільні технічні характеристики.

Бічні і вертикальні сили, які значно перевищують допустимі, впливають як на динаміку руху вагона, так і на залізничну колію, що вимагає додаткових витрат на утримання колії. У порожньому стані стійкість від сходження з рейок для більшості

типів вагонів зберігається в межах до 70 км/год, що, в свою чергу, не дає можливості збільшити швидкість руху вантажних поїздів.

Інтенсивність зносу гребенів коліс і внутрішньої поверхні головок рейок, а також елементів візка, майже на порядок перевищують сучасні вимоги.

У зв'язку з цим необхідно передбачити докорінні зміни технічних параметрів при будівництві, ремонті та експлуатації вантажних вагонів, які могли б забезпечити:

- збільшення терміну служби;
- збільшення міжремонтних пробігів і термінів;
- підвищення швидкості руху, у т.ч. і критичної;
- безпеку руху та зберігання перевезених вантажів;
- контроль за якістю виготовлення, ремонту та допуску до експлуатації придбаних і модернізованих вагонів, їх вузлів і деталей;
- комплексне автоматизоване діагностування рухомого складу.

Враховуючи дефіцит рухомого складу, особливо напіввагонів, проводяться роботи для залучення в перевізному процесі інших типів вагонів, які менш використовуються, шляхом переобладнання при виконанні капітального ремонту критичних вагонів моделі 11-066, 11-217 в напіввагони, критичних вагонів-хоперів для цементу моделі 11-715, 19-758, мінераловозів моделі 11-740 у вагони для силуваних вантажів, а також переобладнання універсальних платформ в лісовози.

При цьому слід зазначити, що відбувається процес модернізації візків вантажних вагонів з метою:

- скорочення середньорічних витрат на ремонт;
- скорочення експлуатаційних витрат;
- збільшення ресурсу колісних пар по зносу гребенів коліс;
- при збереженні обмежень на швидкість руху – збільшення запасу стійкості проти сходу з рейок, тобто підвищення безпеки руху;
- збільшення ресурсів елементів системи ресорного підвішування та демпфування коливань;
- ефективне гасіння коливань виляння і бічної хитаючи.

Названа модернізація включає в себе наступні елементи:

- пружно-каткові ковзуни постійного контакту;
- клинові системи демпфування;
- зносостійкі прокладки в п'ятникових вузлах;
- колеса зі зносостійким нелінійним профілем 1ТМ-73.

Крім того, проведення модернізації з використанням зносостійких елементів дозволяє збільшити міжремонтний пробіг вагонів від 110 тис. км до 160 тис. км, а також збільшення міжремонтного терміну служби напіввагонів з 2-х до 3-х років.

На сьогоднішній день дуже актуальним питанням для вагонного господарства та залізничного транспорту загалом залишається розробка, освоєння виробництва та впровадження в експлуатацію сучасного рухомого складу нового покоління. Для успішного вирішення цього важливого завдання в країні було прийнято низку державних і галузевих програм з розвитку рухомого складу для вантажних перевезень.

У процесі розробок було виконано ряд теоретичних та експериментальних досліджень проблем конструкцій, що існують, пошук шляхів підвищення продуктивності, надійності й економічності рухомого складу в експлуатації, а також науково-технічна експертиза перспективних проектних рішень для створення принципово нових конструкцій вагонів.

На основі цих досліджень розроблено новаторські проектні рішення щодо конструкційних матеріалів і технологічних процесів, які забезпечили створення вагонів нового покоління на рівні світових стандартів з високою конкурентоспроможністю на внутрішньому та зовнішньому ринках.

У результаті дослідно-конструкторських розробок і проведення комплексу теоретичних та експериментальних наукових досліджень ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» було створено, освоєно у серійному виробництві та впроваджено в експлуатацію ряд різних типів інноваційних вантажних вагонів:

- напіввагони моделі 12-7023-01 та 12-7039 на візках моделі 18-7020 та 18-7033;
- залізнична платформа моделі 13-7024 для перевезення великотоннажних контейнерів;
- типорозмірний ряд бункерних вагонів для перевезення сипких вантажів (зерна, цементу та ін.) моделей 19-7024, 19-7016 і 19-7017.

Варто також відмітити, що на сьогоднішній день одним із лідерів будівництва вагонів нового покоління є ПАТ «Азовмаш». Щороку підприємство випускає партії вагонів нового покоління, які будуються за новітніми технологіями вагонобудування при використанні сучасної техніки, обладнання, матеріалів, серед яких:

- напіввагон моделі 12-1905, 12-1815;
- вагон-цистерна для нафтопродуктів моделі 15-1900;
- вагон-термос ізотермічний моделі 16-1807-04;
- вагон-платформа секційна моделі 13-1839 та ін.

Ці вагони за своїми технічними характеристиками відповідають міжнародним вимогам до рухомого складу залізниць, в тому числі європейським та американським.

Досліджуючи питання функціонування вагонного господарства в ринкових умовах господарювання треба підкреслити, що до **основних принципів і критеріїв технічних вимог до вагонів нового покоління** належать:

- збільшення конструкційних швидкостей рухомого складу;
- збільшення транспортної та екологічної безпеки;
- забезпечення збереження рухомого складу, механізація навантаження і вивантаження;
- застосування у виробництві рухомого складу комплектуючих і складальних одиниць нового покоління;
- застосування у виробництві рухомого складу нових матеріалів з більш високими механічними властивостями;
- збільшення осевого навантаження не менше ніж на 7 %;
- зменшення питомої металоємності конструкцій до 10 %;
- економія енерговитрат на експлуатацію до 20 %;
- збільшення надійності конструкцій, широке застосування засобів технічної діагностики і неруйнівного контролю;
- збільшення міжремонтних пробігів.

При цьому дуже варто зазначити, що для виготовлення вантажних вагонів нового покоління потрібно:

- нові конструкційні сталі та ливарні сталі з підвищеним запасом міцності, які забезпечать зменшення маси візка до 15 %;
- випуск вітчизняних касетних підшипників;
- забезпечення виготовлення зносостійких елементів візка, фрикційних клинів і ковзунів з термічно обробленого високоміцного чавуну;

- виробництво поліуретанових деталей візків;
- виробництво зносостійких полімерних втулок важільної передачі, що забезпечують пробіг 800 тис. км і більше;
- сучасні автозчеплення, які забезпечують надійність;
- технологія захисту від зносу тертям елементів вагона (автозчеплення, хомут, клин, центруюча балка і т.д.);
- розробка й освоєння виробництва поглинаючих апаратів підвищеної енергоємності;
- розробка і освоєння виробництва нових гальмівних систем вагонів;
- розробка візків для всіх типів вагонів.

Підсумовуючи вищезазначене, варто також відмітити, що до **основних напрямків розвитку вагонного господарства залізниць України** належать такі заходи:

- оновлення (будівництво) парку вантажних вагонів здійснювати головним чином за рахунок закупівлі вагонів нового покоління, які забезпечуватимуть міжремонтні пробіги не менше 500 тис. км;
- з урахуванням напрацьованих напрямків реформування галузі провести поділ вагонних депо за функціями на ремонтні та експлуатаційні з оптимізацією їх кількості;
- забезпечити оснащення вагонних депо, задіяних в ремонті інвентарного парку Укрзалізниці, до норм технічного регламенту;
- вдосконалити системи утримання та технічного обслуговування вантажних вагонів за рахунок своєчасного виявлення несправностей ходових частин в ході руху поїзда і зменшення впливу людського фактору на процеси огляду вагонів.

Висновок. Реалізація вище приведених основних напрямків розвитку вагонного господарства дозволить, значною мірою, підвищити ефективність і стабільність функціонування не тільки даного галузевого господарства, але і в цілому залізничного транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бугаев В. П. Теоретические основы и пути повышения эффективности организации ремонта грузовых вагонов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Бугаев Виталий Петрович; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Ф. Э. Дзержинского. – М., 1989. – 46с.
2. Палкин С. В. Управление заводами по ремонту подвижного состава [Текст] / С. В. Палкин, В. А. Козырев, Е. Н. Вавилов, О. И. Савина // Железнодорожный транспорт. – 2002. – №1. – С. 54-60.
3. Продукція Крюківського вагонобудівного заводу [електронний ресурс] Режим доступу: http://www.kvsz.com/index.php?option=com_content&view=article&id=557&Itemid=349&lang=ru
4. Продукція ПАТ «Азовмаш» [електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.azovmash.com/produkcija>
5. Современный подвижной состав как фактор конкурентоспособности [Текст]: [опыт Германии по обновлению п. е.] // Железнодорожный транспорт за рубежом. – 2005. – Вып.6. – С. 17 – 22.

УДК 656.2

В. Б. Иванов

В. И. Косенко

Ю. О. Приданников

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Вдосконалення елементів систем охолодження здійснюється за такими напрямками як зменшення ваги, підвищення продуктивності, покращення ергономічності, зменшення рівня шуму. Voith Turbo розробив конструкцію вентилятора SilestVent, що забезпечує підвищення охолоджувальної здатності та зменшення рівня шуму за рахунок підбору оптимальних геометричних параметрів корпусу, типу та форми лопатей. Порівняння SilestVent з іншими моделями дозволило оцінити їх переваги в умовах експлуатації рухомого складу: підвищення продуктивності на 2 – 3 %, зменшення рівня шуму на 5 – 7 %.

Совершенствование элементов систем охлаждения происходит по таким направлениям как уменьшение веса, повышение производительности, улучшение эргономичности, снижению уровня шума. Voith Turbo разработал конструкцию вентилятора SilestVent, обеспечивающую повышение охлаждающей способности и уменьшение уровня шума за счёт подбора оптимальных геометрических параметров корпуса, типа, количества и формы лопастей. Сравнение SilestVent с другими моделями позволило оценить их преимущества в условиях эксплуатации подвижного состава: повышение производительности на 2 – 3%, снижение уровня шума на 5 – 7 %

Improvement cooling system elements occurs in areas such as weight reduction, increased productivity, improved ergonomics, and noise reduction. Voith Turbo has developed a design fan SilestVent, provides increased cooling capacity and noise reduction due to selection of optimal geometrical parameters housing type, number of and shape of the blades. SilestVent comparison with other models allowed us to estimate their strengths in the operation of rolling stock: improve productive by 2 – 3%, lower noise levels by 5 – 7%.

Ключевые слова: система охлаждения, подвижной состав, вентиляторы, оптимальные параметры

Рост требований к подвижному составу железнодорожного транспорта относительно выбросов выхлопных газов и уровня шума двигателей наряду с неизменной тенденцией к уменьшению веса двигателя за счет повышения степени сжатия смеси и рециркуляции отработавших газов, приводят к необходимости модернизировать все системы поезда, в том числе и систему охлаждения. Задачи совершенствования элементов систем охлаждения, таких как вентиляторы, приводы вентиляторов,

© Иванов В. Б., Косенко В. И., Приданников Ю. О., 2013

теплообменники состоят в уменьшении веса, повышении производительности, эргономичности, снижении уровня шума. В то же время, комплектная система должна удовлетворять требованиям модульности конструкции, возможности аппаратного управления, высокого уровня готовности и долговечности, минимизации затрат на её обслуживание в процессе эксплуатации. Таким образом, задача разработки эффективных систем охлаждения на основе совершенных элементов конструкции базируется на глубоких исследованиях в этой области.

В Евросоюзе девять научно-исследовательских институтов и промышленных компаний получили грант от государства на совершенствования систем охлаждения поездов. Среди них и компания Фойт Турбо (Германия), оптимизировавшая конструкцию вентиляторов. В своих разработках Voith Turbo полагается на более, чем 60-летний опыт и ноу-хау в области проектирования и сборки систем охлаждения для рельсовых транспортных средств.



Рис. 1. Вентилятор SilestVent

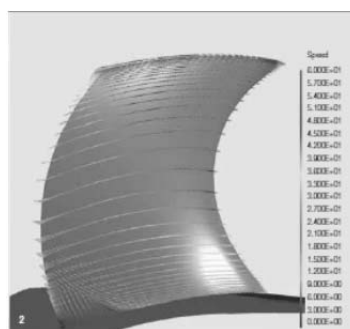


Рис. 2. Лопасть SilestVent

Предварительная подготовка на пути к совершенствованию началась с новых подходов как теоретических, например СЕФ расчёты несущей рамы, размеров и формы лопастей вентилятора, так и практических, например акустическая камера. В результате исследований была разработана конструкция вентилятора SilestVent (рис. 1). В SilestVent воплощена идея о повышении охлаждающей способности и уменьшения уровня шума за счёт подбора оптимальных геометрических параметров корпуса, типа, количества и формы лопастей. На рис. 2 показано распределение скоростей потока воздуха по поверхности лопасти вентилятора SilestVent. Выполненные испытания показывают значительные резервы повышения эффективности за счет изменения формы лопасти вентилятора.

На рис. 3 и 4 представлены сравнительные диаграммы характеристик нескольких поколений вентиляторов Фойт. Следует отметить, что шумовые характеристики вентилятора SilestVent ниже, чем у вентиляторов стандартного исполнения на 5 – 7 дБ. Следующее поколение вентиляторов SilestVent должно обеспечить дальнейшее уменьшение шума еще на 2 – 3 дБ. Также графики показывают одновременное увеличение производительности вентилятора на 2 – 3 % по сравнению со стандартным вентилятором Фойт.

Практическое применение вентиляторы SilestVent нашли во многих рельсовых транспортных средствах. Это позволяет сравнить SilestVent с другими моделями и оценить их преимущества в условиях эксплуатации подвижного состава. Так, на рис. 5. представлены результаты исследования уровня звукового давления вентиляторов SilestVent и обычных вентиляторов Фойт на локомотиве G 2000 производства Vossloh Locomotives.

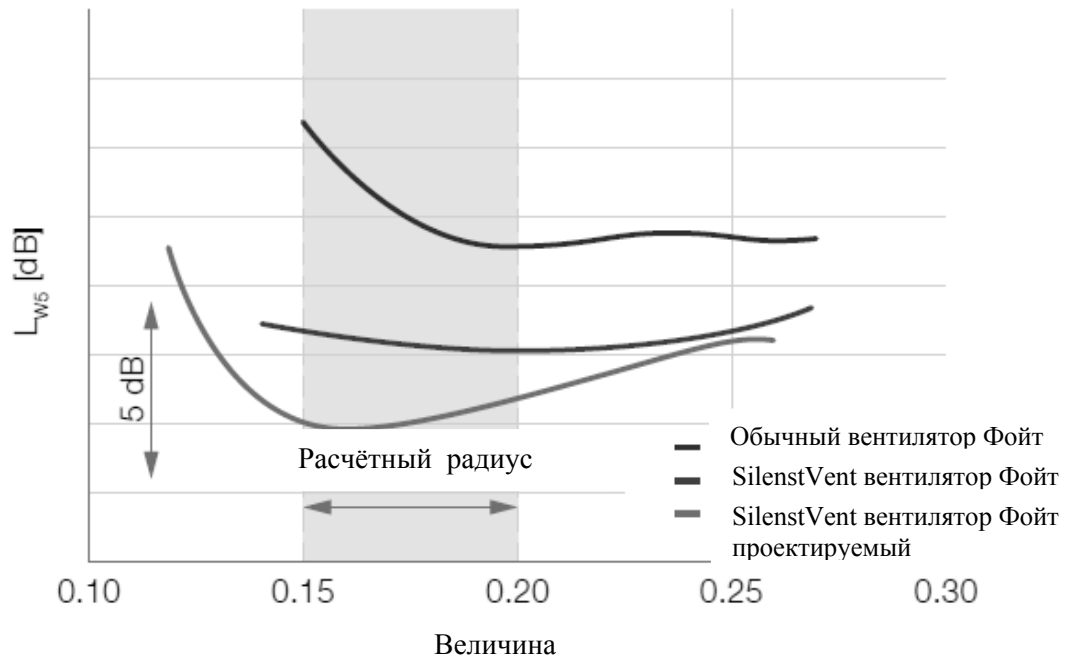


Рис. 3. Зависимость уровня шума от производительности для различных моделей вентиляторов

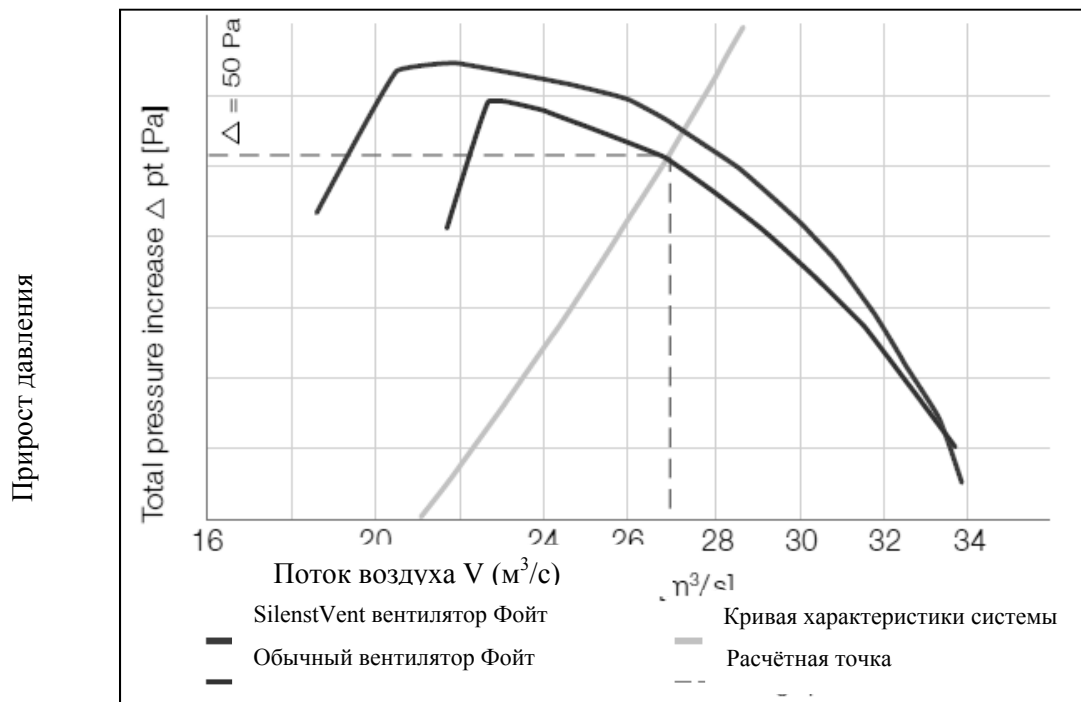


Рис. 4. Аэродинамические характеристики стандартного вентилятора SilenstVent

Уделяя значительное внимание вопросам окраски, в последние годы усилия исследователей все больше направлены на использование многофункциональных материалов для лакокрасочных покрытий, например хрома, антикоррозионных покрытий или покрытий с грязеотталкивающими свойствами. Применение таких многофункциональных материалов улучшает антикоррозионные характеристики защитных поверхностных слоев и действует как репеллент от загрязнения. В процессе затвердевания неорганических частиц формируется стеклоподобная решётка из органических элементов. В жидкой стадии, связующий материал представляет собой коллоидную систему, частицы которой имеют диаметр приблизительно от 40 до 50 Нм. Свойства новой нанокраски были испытаны в соответствии с методикой испытаний, специально разработанной для систем охлаждения рельсовых транспортных средств.

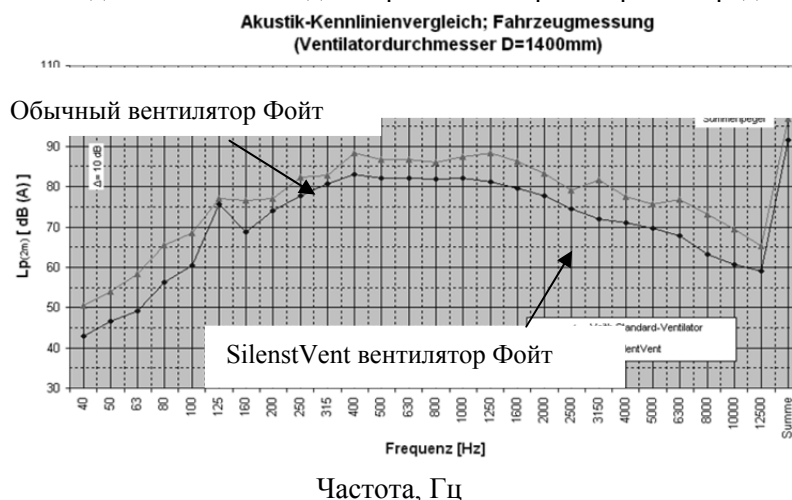


Рис. 5. Сравнительный график звукового давления вентиляторов диаметром 1400 мм на локомотиве G 2000

Результаты испытаний (табл. 1) показали, что вновь разработанные гибридные краски обеспечивают надежную антикоррозионную защиту элементов конструкции систем охлаждения.

Таблица 1

Методика испытаний	Результат
Испытания в солевом тумане согласно DIN 50021-SS	Более 3000 часов без повреждения или ухудшения качества поверхности
Испытания на образование конденсата DIN 55017 KK	9 недель (1512 часов) нет вспучивания поверхности, коррозии (Ri=0)
Поперечный разрез ISO2409	GT 0
Маятниковая твердость	203 с
Максимальная температура плавления	275 C ⁰
Пожарная безобасность	DIN 5510, EN 45545
500-часовой тест на коррозионную устойчивость согласно DIN EN 3665	Без повреждения или ухудшения качества поверхности

Многие производители рельсовых транспортных средств оценили качество систем охлаждения Фойт. В числе потребителей систем охлаждения Фойт такие ком-

пании как, Rotem, Siemens, Alstom, Bombardier, Stadler, Метровагонмаш и др. Такой производитель как Vossloh Locomotives устанавливает системы Фойт на целом ряде своей продукции, например маневровые локомотивы Rh 2070 «Hector», G 1700 2, BB 460000, магистральный локомотив G 2000. Из производителей рельсовых поездов следует выделить польскую компанию PESA, как поставщика на украинский рынок рельсовых автобусов 610, 620M и 630M. Кроме указанных рельсобусов PESA использует системы охлаждения Фойт на сериях электропоездов и дизельных поездов ED74, EN76, EN77 ELF, PESA 106 «Partner», SA 133.

Высокая техническая готовность и широкий ряд предложения позволяет Фойт удовлетворить пожелания любого клиента. На рис. 6 показаны варианты исполнения систем охлаждения, которые предусматривают их размещение под полом, на крыше, как отдельно стоящий агрегат в машинном отделении. Примером отдельно стоящего агрегата системы охлаждения является маневровый локомотив Gravita производства Voith Turbo Lokomotivtechnik. Наряду с полнокомплектными предложениями «готовых к монтажу» на поезд Фойт предлагает также и отдельные элементы систем охлаждения, такие как вентиляторы, теплообменники, приводы вентиляторов как гидравлические, так и электрические, различные компоненты системы гидростатики, начиная от патрубков и заканчивая насосами высокого давления.

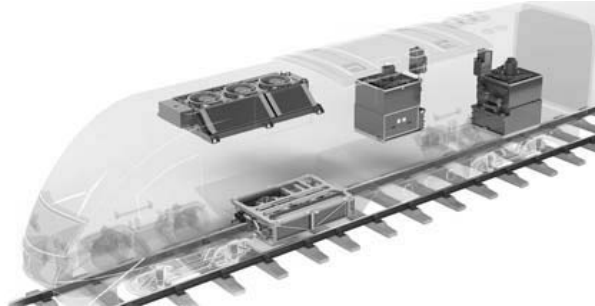


Рис. 6. Основные варианты размещения систем охлаждения

ЛИТЕРАТУРА

1. *Іванов В. Б., Косенко В. І. Гідропередачі в конструкціях сучасних локомотивів // Зб. наук. праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2007. – №12. – С. 48 – 50.*
2. *Іванов В. Б., Косенко В. І., Панов С. Л. Використання високоеластичних муфт у приводах локомотивів // Зб. наук. праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології» – 2011. – №18. – С.49 – 53*

УДК 625.7/8

А. М. Онищенко

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ЗСУВОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ШТУЧНИХ СПОРУДАХ

У статті запропоновано методику визначення параметрів функції зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорстких основах. Визначені параметри зсувостійкості при постійній швидкості наростання навантажень, температури і нормального вертикального навантаження.

В статье предложена методика определения параметров функции сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на жестких основах. Определены параметры сдвигоустойчивости при постоянной скорости нарастания нагрузок, температуры и нормальной вертикальной нагрузки.

The paper proposed a method of determining the parameters of the function landslide endurance asphalt pavement on hard substrates. The parameters landslide endurance in at a constant rate of increase stress, temperature and normal vertical load.

Ключові слова: асфальтобетонне покриття, штучні споруди, зсувостійкість, горизонтальні і вертикальні зусилля.

Асфальтобетонне покриття на штучних спорудах автодорожніх мостів знаходиться в більш складних умовах експлуатації, ніж на автомобільних дорогах з нежорстким дорожнім одягом. Він має більш різкі зміни температури, підлягає впливу циклічних і динамічних деформацій від дії автомобільного транспорту. Складні умови експлуатації є тим чинником, який примушує підбирати склад асфальтобетону з підвищеними показниками колієстійкості та зсувостійкості [1-2].

На даний час відсутні експериментальні методики, які б дозволили оцінювати міцність зчеплення асфальтобетону з жорсткою (цементобетон чи/або залізобетон) основою при зсуві і високих кліматичних температурах, які виникають в весняно-літній період року в Україні. Існуюча методика [3] перевірки міцності зчеплення мастичних і гідроізоляційних матеріалів виконується лише при температурі +20 °С, що не дозволяє оцінити міцність зчеплення при більш високих температурах, як приклад асфальтобетонне покриття нагрівається в середньому від 50 до 60 °С в Україні і міцність зчеплення між асфальтобетоном і основою суттєво знижується. Тому є актуальним питанням щодо підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорстких основах автомобільних доріг та мостів за рахунок розробленої експериментальної методики, яка дозволить отримати на основі експериментальних досліджень аналітичні рішення для оцінки зсувостійкості асфальтобетонного покриття.

© Онищенко А. М., 2013

Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонним покриттям і жорсткою основою призначена для перевірки якості влаштування асфальтобетонного покриття. Дані випробування треба виконувати для встановлення необхідної витрати та раціонального виду підгрунтовки між асфальтобетонним покриттям і жорсткою основою (бітумної емульсії, емульсії, модифікованої полімерами, бітумів в'язких чи рідких, бітумів, модифікованих полімерами, полімер бітумні мастики, та ін.), а також для вибору гідроізоляційних матеріалів (напилювальних, обмазувальних, наплавлювальних тощо).

Ця методика полягає у визначенні міцності зчеплення асфальтобетонного покриття з основою при дії горизонтальних і вертикальних зусиль, що моделюють дію зовнішнього навантаження на асфальтобетонне покриття при гальмуванні транспортних засобів згідно з схемою (рис. 1).

Зразок-кern (асфальтобетон + підгрунтовка чи /або гідроізоляція + цементобетон) випробовують за допомогою приладу, в якому закріплюється зразок-кern і дозволяє створювати напруження σ та при постійному рості навантаження і температурі створювати між асфальтобетонним покриттям і основою напруження τ за схемою, що наведена на рис. 2.

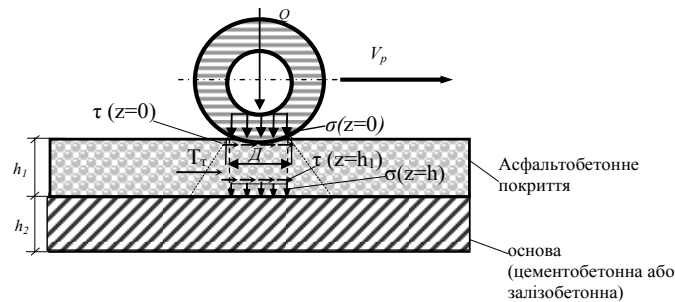


Рис. 1. Схема дії зусиль від колеса транспортного засобу при його гальмуванні:

Q – вертикальне зусилля, що створює транспортний засіб;

T_t – дотичне зусилля на контакті покриття від дії транспортних засобів

Під час випробування при різних значеннях σ визначають граничне дотичне напруження τ . Врахування особливостей прояву реологічних властивостей реалізується за рахунок випробування при першій та другій швидкості наростання навантаження, які проводяться при більш швидкому наростанні навантаження V_{t1} (швидкість наростання навантаження МПа/с) та при повільному наростанні навантаження V_{t2} (швидкість наростання навантаження МПа/с).

При швидкому режимі навантаження імітує дію екстремального гальмування транспортних засобів, а повільний режим навантаження імітує нормальний режим гальмування.

На основі результатів випробувань при визначенні граничних дотичних напружень τ обчислюють параметри f і C для відповідних режимів навантаження, що дозволяє вираховувати значення розрахунково гранично допустимого напруження $[\tau]$ між асфальтобетонним покриттям і основою для розрахункових груп автомобілів A_1 , A_2 і B згідно з ВБН В-2.3-218-186 [6].

Оцінку зчеплення між асфальтобетонним покриттям і основою виконують перевіряючи умову міцності з урахуванням параметрів функції зсувостійкості.

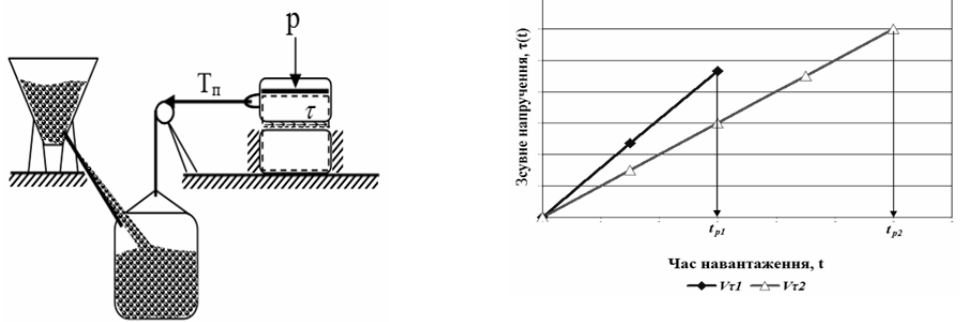


Рис. 2. Схема випробування міцності зчеплення асфальтобетонного покриття і основою з постійною швидкістю зростання навантаження $V=\text{const}$:

P – нормальне зусилля, що діє перпендикулярно до торця зразка імітуючи вертикальне зусилля від транспорту; σ – нормальне напруження рівномірно розподіленого по поверхні торців зразка, що імітує контактний тиск від транспортного колеса; T_{Π} – дотичне зусилля, що створює випробувальний прес на контакті зразка-керна імітуючи горизонтальне зусилля від транспорту T_T (рис. 1); τ – дотичне напруження між асфальтобетонним покриттям, що витримує зразок-кern до порушення зчеплення між ними.

Методика визначення параметрів функції зсувостійкості при оцінці зчеплення між асфальтобетонним покриттям і основою.

Випробування проводять з урахуванням кліматичних умов України за найбільш несприятливої для зчеплення між асфальтобетонним покриттям і жорсткою основою температурах $(+50\pm 2, +60\pm 2)$ °C.

Для випробувань зразки-керна відбирають діаметром 100 мм з асфальтобетонного покриття існуючої конструкції дорожнього одягу або із лабораторних зразків, заформованих на секторному пресі за СОУ 45.02-00018112-020 [5]. Асфальтобетон повинен відповідати вимогам [4]. Граничне дотичне напруження τ між асфальтобетоном і основою зразка-керна визначається за допомогою приладу НТУ-ЗЧ-2 (рис. 3, 4) при заданих режимах навантаження (табл. 1).

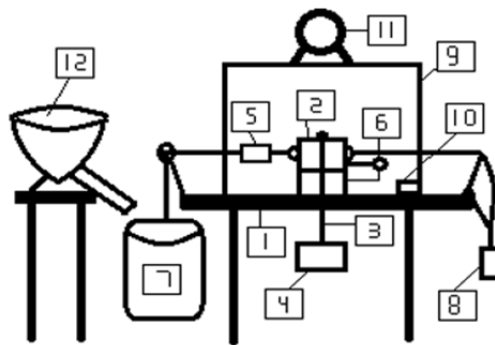


Рис. 3. Схема приладу НТУ-ЗЧ-2 для визначення граничного дотичного напруження τ між асфальтобетонним покриттям і жорсткою основою при випробуванні зразка на зсув при постійному зростанні навантаження:

1 – стіл, 2 – прилад для випробування на зсув, 3 – станини, 4 – вертикальне навантаження, 5 – датчик навантаження, 6 – датчик переміщення (індикатор годинникового типу), 7 – ємність для піску, 8 – врівноважуючі навантаження, 9 – термокамера, 10 – датчик температури, 11 – тепловентилятор, 12 – ємність з піском



Рис. 4. Фото устаткування підготовленого до проведення випробування

Проведення випробування здійснюється в такій послідовності:

– для випробування використовують прилад НТУ-ЗЧ-2, схему якого наведено на рис. 3, 4. До станини столу 1 кріпиться прилад 2, через упори 3 передається вертикальне навантаження 4 на зразок. До приладу НТУ-ЗЧ-2 приєднаний датчик 5 для фіксації зростання навантаження і датчик 6 для фіксації переміщення (тензометричний датчик або індикатор годинникового типу). З однієї сторони приладу прикріплюється ємність для піску 7, а з іншої врівноважується за допомогою навантаження 8. Для підтримання необхідної температури випробування прилад розміщується в термокамері 9, всередині якої закріплено датчик 10 для вимірювання температури. За допомогою тепло вентилятора 11 здійснюється нагрів термокамери і циркуляція теплого повітря в камері. Постійна швидкість наростання навантаження досягається при висипанні через калібрований отвір 12 річкового піску у ємність 7. Для дослідження необхідний секундомір для фіксації часу;

- вимірюють діаметр зразка-керна;
- зразки-кери нагрівають до температури T випробування ($+50\pm 2$, або $+60\pm 2$) °С, витримуючи їх у термошафі не менше 4-х годин;
- зразок-кern встановлюють в обійму нижньої частини приладу 2, надівають верхню частину приладу 2, і стягують гвинтами;
- врівноважують ємність 7 за допомогою навантаження 8;
- на зразок-кern створюють вертикальне навантаження 4 у верхній частині торця, яке відповідає заданому рівню напружень (таблиця 1);
- через калібрований отвір воронки висипають пісок з заданою першою постійною швидкістю $V_{т1}$ зростання горизонтального навантаження T_{Π} одночасно вмикаючи секундомір і програму для фіксації навантаження на комп'ютері і датчик переміщення. При втраті міцності зчеплення асфальтобетону з основою вважається, коли зсув асфальтобетону по відношенню до основи при переміщенні становить $\Delta = 1$ см, одночасно з яким фіксують час з точністю до 0,1 с;
- аналогічно виконують випробування і при іншій швидкості $V_{т2}$ зростання навантаження T_{Π} .

Обробка результатів:

Отримані при заданих швидкостях навантаження і нормальних напруженнях (табл. 1) значення зсувного горизонтального навантаження T_{Π} заносять у табл. 2.

Обчислюють площу зразка S і заносять у табл. 2.

Таблиця 1. Режими навантаження та необхідна кількість зразків для випробувань

№ п/п	Параметри режиму випробувань		Кількість зразків для випробувань, шт.
	Навантаження	Швидкість наростання навантаження V_τ , МПа/с	
	σ , МПа [†]		
1	0,3	0,66	3
2	0,7	0,11	3
3	0,7	0,11	3
4	0,3	0,66	3

Примітка. [†]При випробуванні менших вертикальних напружень σ , необхідний перевідний коефіцієнт встановлюється експериментально

Таблиця 2. Визначення дотичного напруження

№ п/п	Швидкість наростання навантаження V_τ , МПа/с	Нормальне напруження, σ , МПа	Руйнівне вертикальне навантаження, T_{II} , кгс	Площа зразка, S , м ²	Дотичне напруження, τ , МПа	Середнє значення дотичного напруження, τ , МПа
1	0,11	0,3				
2						
3						
4	0,66	0,3				
5						
6						
7	0,11	0,7				
8						
9						
10	0,66	0,7				
11						
12						

Граничні дотичні напруження τ в МПа та швидкість наростання навантаження V_τ визначається за формулами:

$$\tau = \frac{T_{II}}{S} \times 10^6, \quad (1)$$

де S – площа зразка, м²;

$$V_\tau = \frac{\tau}{t_p} \quad (2)$$

Обчислені значення граничних дотичних напружень τ заносять до таблиці 2 та розраховують їх середнє значення.

На основі даних табл. 2, обчислюють параметри f (безрозмірна величина) і C (в МПа) за формулами для кожної швидкості випробувань (0,11 МПа/с та 0,66 МПа/с, відповідно):

$$f = \frac{\tau_{V\tau_1} - \tau_{V\tau_2}}{\sigma_{V\tau_1} - \sigma_{V\tau_2}}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} c' &= \tau_{V_{t1}} - \sigma_{V_{t1}} \times f; & c'' &= \tau_{V_{t2}} - \sigma_{V_{t2}} \times f; \\ c &= \frac{c' + c''}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Обчислюють значення розрахункового допустимого граничного дотичного напруження $[\tau]$ між асфальтобетоном і жорсткою основою для кожного розрахункового автомобіля групи А₁, А₂ і Б за [5] та таблицею 3 за формулою:

$$[\tau] = \sigma \times f + c, \quad (5)$$

де σ – нормальне напруження, МПа; f – коефіцієнт тертя; C – питоме зчеплення;

Оцінку зчеплення між асфальтобетоном і жорсткою основою виконують перевіряючи умову:

$$[\tau] \geq \tau_{\max}, \quad (6)$$

де $\tau_{\max}$ – горизонтальне дотичне напруження, що діє від навантаження на границі асфальтобетонного покриття і жорсткою основою (приймається на основі нормативних табличних даних (табл. 3) або на основі розрахунків обґрунтованих і затверджених в установленому порядку Замовником індивідуально для кожного конкретного об'єкту); $[\tau]$ – розрахункове допустиме граничне дотичне напруження (розраховується на основі отриманих результатів експериментального визначення параметрів зчеплення між асфальтобетоном і жорсткою основою за виразом (5));

Таблиця 3. Нормативні табличні дані навантаження та максимального дотичного напруження

Група розрахункового навантаження	Розрахунковий параметр навантаження	Максимальне дотичне напруження $\tau_{\max}$, МПа	
	σ , МПа	При екстремальному гальмуванні	При повільному гальмуванні
А ₁	0,80	0,56	0,45
А ₂	0,60	0,42	0,32
Б	0,50	0,35	0,25

Параметри функції зсувостійкості С і D, обчислюють за формулами:

$$D = \frac{\lg \frac{V_{\tau_1}}{\lg V_{\tau_2}}}{\lg \frac{\tau_1}{\tau_2}} - 1, \quad (7)$$

$$C = \frac{\tau_1^{D+1}}{V_{\tau_1}^{D+1}}, \quad (8)$$

де τ_1, τ_2 – граничні горизонтальні зсуваючі напруження, МПа, відповідно при кожній швидкості зростання навантаження;

V_{τ_1}, V_{τ_2} – дві різні швидкості зростання навантаження, МПа/с.

На основі отриманих параметрів (7, 8) та дотичних напружень (5) можна визначити функцію зсувостійкості базуючись на степеневій залежності функції Бартенєва:

$$t^* = t^*(\tau, T) = C \cdot \tau^{-D}, \quad (9)$$

$$M_{зсв} = \int_0^{t_p} \frac{dt}{C(V_{\tau} t)^{-D}} = 1 \quad (10)$$

Визначаємо залежність міцності зчеплення асфальтобетонну з жорсткою основою при зсув в зразку-кernі від температури випробування при постійній швидкості навантаження $V\tau$.

Підставляємо в критерій Бейлі (10) функцію зсувостійкості (9) для режиму навантаження з постійною швидкістю $V\tau$, коли $\tau(t)=V\tau t$, отримаємо в результаті інтегрування:

$$t_P^{b_\tau+1} = (D+1)CV^{-D}. \quad (11)$$

Якщо врахувати, що час до граничного зсуву $t_P=\tau_\sigma/V_\sigma$ рівний відношенню граничного напруження τ_σ , при зсуві витримуючого зразка – керна, до швидкості навантаження $V\tau$, то з (11) будемо мати міцність зчеплення при зсуві між асфальтобетоном і жорсткою основою з урахуванням граничного переміщення Δ

$$\tau_\tau = [(D+1)CV_\tau]^{1/(D+1)}. \quad (12)$$

Використовуємо параметри (7, 8) $D=D(T)$, $C=C(T)$ з урахуванням отриманої залежності (12) визначаємо τ_τ в залежності від температури для випробування з різними швидкостями навантаження V_τ . Отримані результати перевіряють з урахуванням умови (6) і перевіряють відповідність за наступною залежністю:

$$\tau_\tau \geq [\tau] \geq \tau_{\max}, \quad (13)$$

Потім при відповідності умови (13) граничне напруження τ_τ підставляємо в формулу (11) для оцінки терміну зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі автомобільних доріг та мостів за наступною залежністю:

$$T_{зсв} = \frac{C \cdot K_{мрз} \cdot k}{M_{зсв}} \geq [T_n], \quad (14)$$

де $[T_n]$ – розрахунковий термін експлуатації асфальтобетонного покриття на автомобільних дорогах та мостах наведених в існуючих чинних нормативних документах; C – критерій граничного стану при зсуві рівний 1; $K_{мрз}$ – коефіцієнт морозостійкості визначають за залежністю:

$$K_{мрз} = \frac{\tau_{зсв}^u}{\tau_{зсв}^н} \geq K_{мрз}^н, \quad (15)$$

де $\tau_{зсв}^u$, $\tau_{зсв}^н$ – середньоарифметичне значення границі міцності при зсуві зразків-кernів відповідно до впливів циклічного охолодження і після впливів [7]; $K_{мрз}^н$ – нормативний коефіцієнт, яки наведено в роботі [7]; k – коефіцієнт неоднорідності асфальтобетонного покриття на жорстких основах, який залежить від наступних характеристик: – сегрегації – асфальтобетону при виготовленні, транспортуванні та ущільненні; недостатнього зчеплення покриття та основи.

Висновки

Використання запропонованої методики дозволить підбирати на етапі проектування гідроізоляційний матеріал з більшими показниками зсувостійкості і як наслідок довговічності.

Отримано функцію зсувостійкості для асфальтобетонного покриття, що експлуатується на жорстких основах автомобільних доріг та мостів, яка дозволяє проектувати асфальтобетонні покриття підвищеної зсувостійкості з урахуванням матеріалознавчих, технологічних та конструктивних рішень, а також кліматичних умов України.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Онищенко А. Н., Різниченко А. С.* Методика оценки обеспечения колееустойкости асфальтобетонного покрытия на цементобетонных основаниях // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии ассоциации исследователей асфальтобетона – М., 2011. – С. 125 – 136.
2. *Жданюк В. К. Даценко В. М., Костін В. Ю., Воловик О. О.* До питання про методи оцінки та показники зсувостійкості асфальтобетонів // Автошляховик України – 2008. – № 3 (203). – С. 28 – 30.
3. ДСТУ Б В.2.7-84-99 (ГОСТ 26589-94) Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань.
4. ДСТУ Б В 2.7-119:2011 Асфальтобетон і асфальтобетонні суміші.
5. СОУ 45.02-00018112-020:2009 Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій.
6. ВБН В 2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
7. *Онищенко А. М., Різниченко О. С., Невінгловський В. Ф.* Методика визначення втрати міцності зчеплення гідроізоляційного матеріалу між асфальтобетоном і цементобетонною основою при зсуві після впливу водоморозних факторів / *А. М. Онищенко, О. С. Різниченко, В. Ф. Невінгловський* / Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка – К., 2013. – №50. – С.103 – 106.
8. СОУ 45.2-00018112-046:2009 Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами.

УДК 629.4.077-592.117.001.4

Ю. Я. Водяников

Т. В. Шелейко

А. Е. Нищенко

ТОРМОЗНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА В ЗАВИСМОСТИ ОТ ЧИСЛА ОСЕЙ В СОСТАВЕ

Представлена методология определения тормозной эффективности грузового поезда с произвольным количеством осей. Методология базируется на использовании результатов тормозных испытаний опытного вагона. Приведены математическая модель торможения поезда, а также расчетные зависимости для определения тормозного пути и тормозного коэффициента.

Подано методологію визначення гальмівної ефективності вантажного поїзда з довільною кількістю осей. Методологія базується на використанні результатів гальмівних випробувань дослідного вагона. Наведені математична модель гальмування поїзда, а також розрахункові залежності для визначення гальмівного шляху і гальмівного коефіцієнта.

Is the methodology for the determination of the braking efficiency of the freight train with an arbitrary number of axes. The methodology is based on the use of the results of the brake testing of an experienced coach. Mathematical model shows braking trains, as well as calculated according to determine the braking distance and braking rate.

Ключевые слова: вагон, грузовой поезд, тормозная эффективность, тормозной путь, тормозной коэффициент, скорость, время, число осей.

Дальнейшее развитие грузовых вагонов в направлении повышения скоростей и осевой нагрузки в одну из основных выдвигает задачи совершенствования методов оценки тормозной эффективности. В этих условиях ограничение экспериментальных исследований только оценкой тормозной эффективности одиночного вагона является недостаточной. Поэтому основной целью ходовых тормозных испытаний вагона должно стать не только определение его тормозной эффективности, но и оценка способности вагона обеспечить тормозную эффективность грузового поезда как на площадке, так и на нормированных спусках.

В этой связи, задачи оценки тормозной эффективности поезда в зависимости от количества вагонов (осей) являются актуальными.

© Водяников Ю. Я., Шелейко Т. В., Нищенко А. Е., 2013

Поставленная задача решалась расчетно-экспериментальным методом путем использования фактических параметров тормозной эффективности одиночного вагона, полученных в процессе ходовых тормозных испытаний.

Математическая модель при экстренном торможении грузового поезда как единой массы имеет вид [1]:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{ 1000 \cdot \gamma(N, V_{мс}, t) \cdot \delta_{pn} \cdot \varphi_{mp} + w_{ox}(V) \pm i \}, \quad (1)$$

где ζ – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;

$w_{ox}(V)$ – удельное основное сопротивление движению;

$\pm i$ – величина уклона пути, при торможении на площадке $i=0$;

δ_{pn} – тормозной коэффициент для поезда (расчетный коэффициент силы нажатия колодок при номинальных давлениях в тормозных цилиндрах;

φ_{mp} – расчетный коэффициент трения композиционных колодок, определяется по формуле [2]:

$$\varphi_{mp} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2 \cdot V + 150}; \quad (2)$$

$\gamma(N, V_{мс}, t)$ – функция, отображающая изменение тормозного коэффициента поезда в относительных единицах от времени торможения;

N – количество вагонов в составе поезда (осей);

$V_{мс}$ – скорость распространения тормозной волны, м/с;

t – время торможения.

Функция $\gamma(N, V_{мс}, t)$ определяется по формуле:

$$\frac{1}{N \cdot Q_s} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N} \cdot \beta \left(t - \frac{(2 \cdot i - 1) \cdot L_{\bar{o}}}{2 \cdot V_{мс}} \right) \cdot \delta_p \cdot Q_s \right); \quad (3)$$

где δ_p – тормозной коэффициент i -го вагона при номинальном давлении в тормозном цилиндре;

Q_s – вес (брутто) вагона;

$L_{\bar{o}}$ – база вагона по осям сцепления автосцепок j -го вагона;

i – порядковый номер вагона в составе поезда;

t – текущее время, с;

$\beta_i(t)$ – функция, отображающая изменение тормозного коэффициента (в относительных единицах) одиночного вагона от времени торможения;

$V_{мс}$ – скорость распространения тормозной волны.

Основными факторами, влияющими на тормозную эффективность грузового поезда, являются:

- тормозная эффективность одиночного вагона;
- скорость распространения тормозной волны;
- количество осей (вагонов) в составе поезда.

Для иллюстрации предложенной методологии, рассматривался грузовой поезд из однотипных вагонов. В качестве субъекта исследования был принят вагон для перевозки минеральных удобрений. Вагон прошел полный цикл тормозных ходовых испытаний в диапазоне скоростей в начале торможения (40-120) км/ч, резуль-

таты которых представлены на рис. 1. На рис. 2 приведена диаграмма изменения тормозного коэффициента в относительных единицах, полученная на основе индикаторной диаграммы наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом.

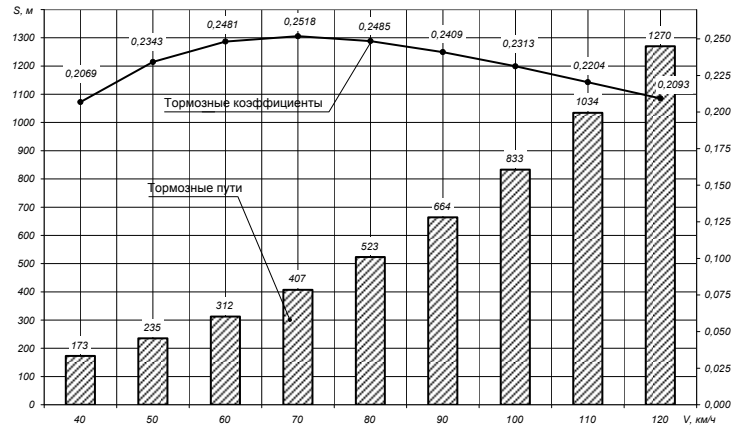


Рис. 1. Экспериментальные значения тормозных путей тормозных коэффициентов одиночного вагона

Для решения дифференциального уравнения (1) использовался метод Рунге-Кутты четвертого порядка. Исследования показали, что скорость распространения тормозной волны не оказывает значительное влияния на тормозную эффективность поезда, о чем свидетельствует время неустановившегося торможения для различных скоростей тормозной волны (рис. 3). Так при увеличении скорости распространения тормозной волны в 1,2 раза (с 250 м/с до 300 м/с) время неустановившегося торможения уменьшается в 1,016 раза.

Поэтому дальнейшие расчетно-экспериментальные исследования проводились для скорости распространения тормозной волны равной 270 м/с.

Особенности изменения тормозных коэффициентов грузового поезда приведены на рис. 4. Тормозные коэффициенты поезда аппроксимировались аналитической зависимостью методом наименьших квадратов [3] в виде полинома, наивысшая степень которого выбиралась исходя из значения коэффициента детерминации $R^2 \geq 0,990$.

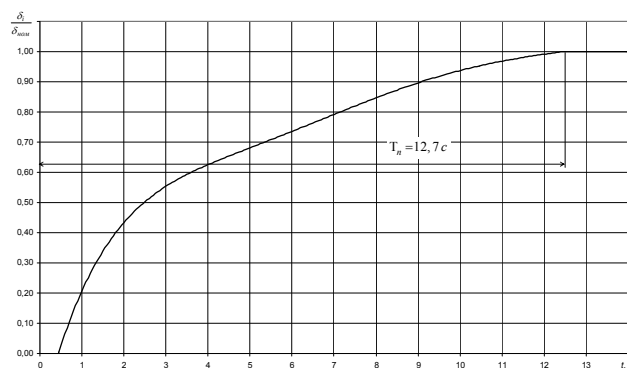


Рис. 2. Диаграмма изменения тормозного коэффициента одиночного вагона (в относительных единицах)

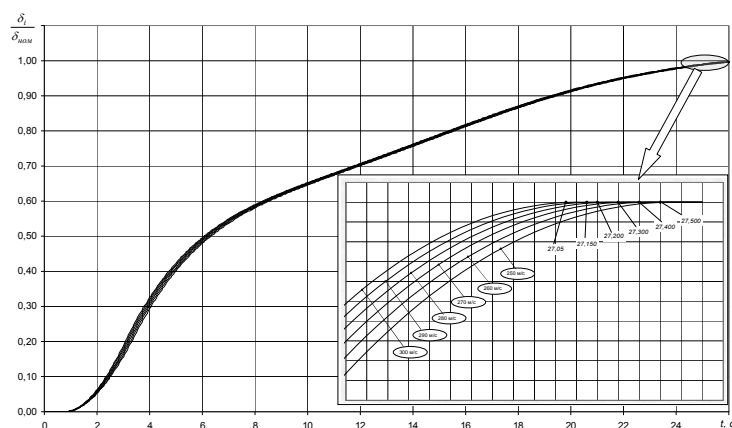


Рис. 3. Диаграммы изменения тормозного коэффициента грузового поезда в зависимости от скорости распространения тормозной волны

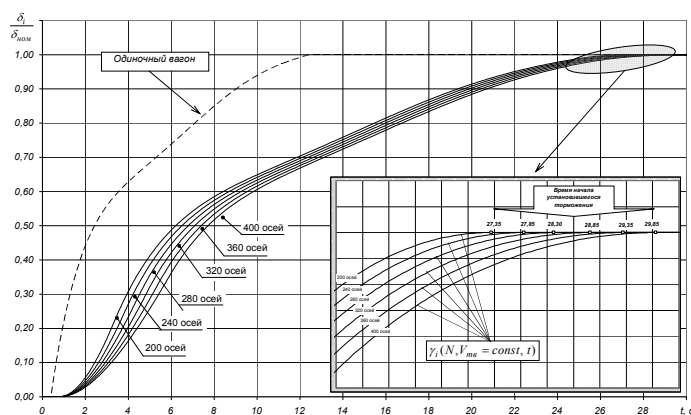


Рис. 4. Диаграммы тормозных коэффициентов грузового поезда при изменении количества осей

В результате многовариантного решения дифференциального уравнения (1) была получена линейка показателей тормозной эффективности грузового поезда при экстренном пневматическом торможении на площадке (рис. 5 и 6), а также на нормированных спусках [4] (рис. 7 и 8) в зависимости от числа осей.

Анализ результатов показал, что тормозной путь имеет квадратичную зависимость от количества осей в составе грузового поезда, а тормозной коэффициент – степенную, что позволяет эффективность одиночного вагона пересчитывать на грузовой поезд с произвольным количеством вагонов.

На основании расчетно-экспериментальных исследований получены формулы для определения тормозного пути и тормозного коэффициента грузового поезда при экстренном пневматическом торможении в зависимости от числа осей в составе (табл. 1 и 2).

В качестве примера использования полученных формул, на рис. 9 и 10 приведены результаты расчета тормозной эффективности поезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-120) км/ч при числе осей от 400 до 1000.

Изложенная методика реализована на ЭВМ в виде пакета прикладных программ, написанных на языке FOXPRO.

Результаты исследования касаются грузового вагона для перевозки минеральных удобрений, для вагона с другими параметрами тормозной эффективности результаты могут отличаться от полученных.

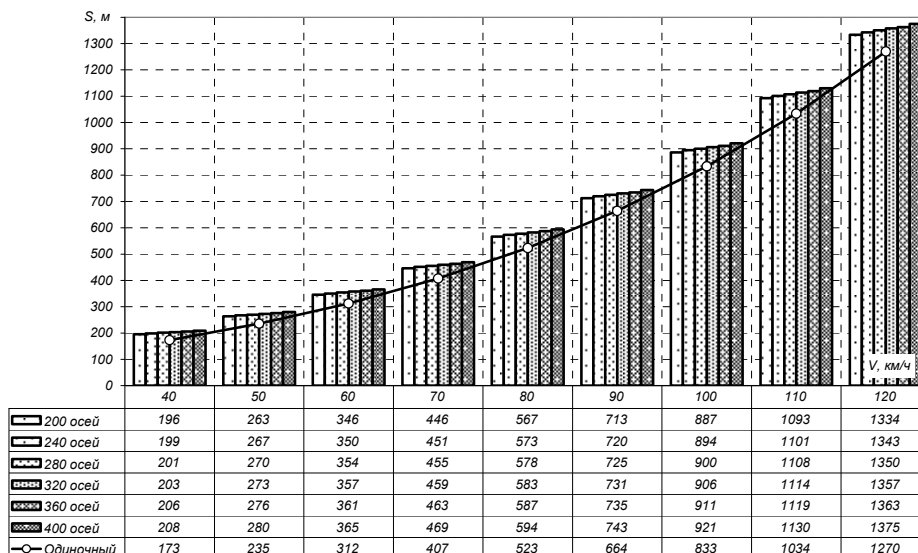


Рис. 5. Тормозные пути грузового поезда при экстренном пневматическом торможении на площадке в зависимости от числа осей

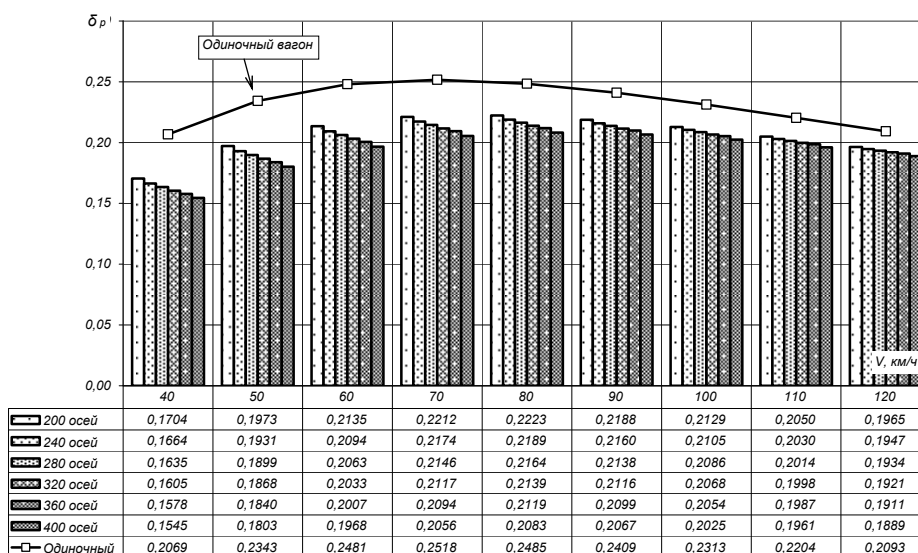


Рис. 6. Тормозные коэффициенты грузового поезда в зависимости от числа осей при экстренном пневматическом торможении на площадке

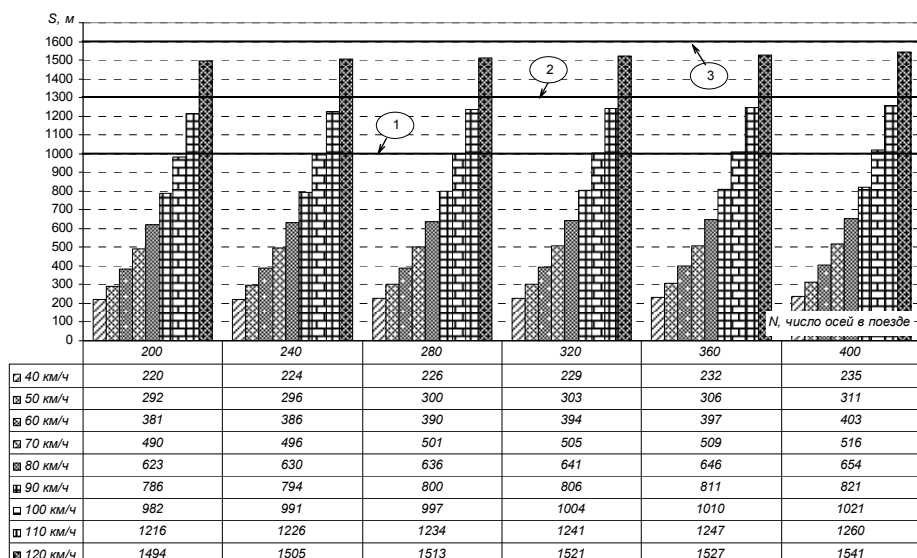


Рис. 7. Тормозные пути грузового поезда в зависимости от числа осей при экстренном пневматическом торможении на спуске 6 ‰
(1 – допустимое значение тормозного пути при скорости 80 км/ч; 2 – при скорости 90 км/ч; 3 – при скорости 100 км/ч)

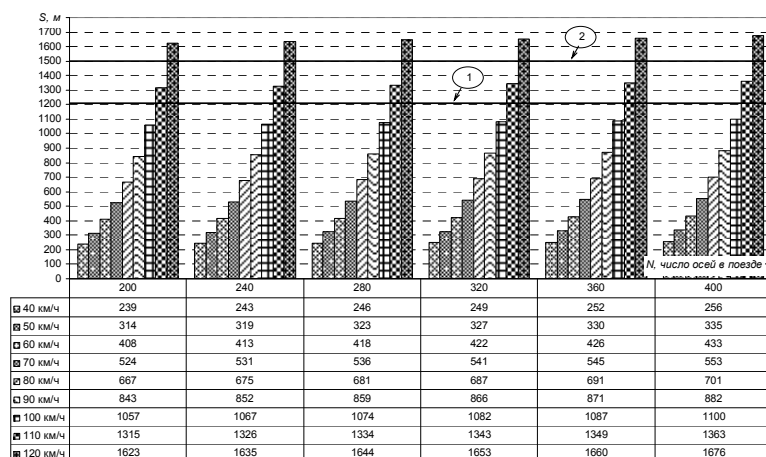


Рис. 8. Тормозные пути грузового поезда в зависимости от числа осей при экстренном пневматическом торможении на спуске 10 ‰
(1 – допустимое значение тормозного пути при скорости 80 км/ч; 2 – при скорости 90 км/ч)

Таблиця 1. Формулы для определения тормозного пути грузового поезда в зависимости от числа осей (N) при экстренном пневматическом торможении

Скорость, км/ч	Тормозной путь грузового поезда
40 км/ч	$S = 0,000078 \cdot N^2 + 0,147267 \cdot N + 1302,0637;$ $R^2 = 0,989706$
50 км/ч	$S = -0,000012 \cdot N^2 + 0,084830 \cdot N + 247,176500;$ $R^2 = 0,997496$
60 км/ч	$S = -0,000002 \cdot N^2 + 0,096147 \cdot N + 326,917243;$ $R^2 = 0,99627$
70 км/ч	$S = 0,00001 \cdot N^2 + 0,105987 \cdot N + 424,548471;$ $R^2 = 0,99492$
80 км/ч	$S = 0,000023 \cdot N^2 + 0,115077 \cdot N + 543,470529;$ $R^2 = 0,99361$
90 км/ч	$S = 0,000037 \cdot N^2 + 0,123532 \cdot N + 687,303486;$ $R^2 = 0,992393$
100 км/ч	$S = 0,000051 \cdot N^2 + 0,131595 \cdot N + 858,975214;$ $R^2 = 0,991367$
110 км/ч	$S = 0,000078 \cdot N^2 + 0,147267 \cdot N + 1302,063700;$ $R^2 = 0,989706$
120 км/ч	$S = 0,000078 \cdot N^2 + 0,147267 \cdot N + 1302,063700;$ $R^2 = 0,989706$

Таблиця 2. Формулы для определения тормозного коэффициента грузового поезда в зависимости от числа осей (N) при экстренном пневматическом торможении

Скорость, км/ч	Тормозной коэффициент грузового поезда
1	2
40 км/ч	$\delta_{pn} = 672,33 \cdot (0,000078 \cdot N^2 + 0,147267 \cdot N + 1302,0637)^{-1,5693}$
50 км/ч	$\delta_{pn} = 959,53 \cdot (-0,000012 \cdot N^2 + 0,084830 \cdot N + 247,1765)^{-1,5231}$
60 км/ч	$\delta_{pn} = 1195,6 \cdot (-0,000002 \cdot N^2 + 0,096147 \cdot N + 326,917243)^{-1,4764}$
70 км/ч	$\delta_{pn} = 1378,7 \cdot (0,00001 \cdot N^2 + 0,105987 \cdot N + 424,548471)^{-1,4325}$
80 км/ч	$\delta_{pn} = 1531,1 \cdot (0,000023 \cdot N^2 + 0,115077 \cdot N + 543,470529)^{-1,3939}$
90 км/ч	$\delta_{pn} = 1672,5 \cdot (0,000037 \cdot N^2 + 0,123532 \cdot N + 687,303486)^{-1,3611}$
100 км/ч	$\delta_{pn} = 1814,5 \cdot (0,000051 \cdot N^2 + 0,131595 \cdot N + 858,975214)^{-1,3334}$
110 км/ч	$\delta_{pn} = 1964,1 \cdot (0,000078 \cdot N^2 + 0,147267 \cdot N + 1302,0637)^{-1,3103}$
120 км/ч	$\delta_{pn} = 2125,6 \cdot (0,000078 \cdot N^2 + 0,147267 \cdot N + 1302,0637)^{-1,2909}$

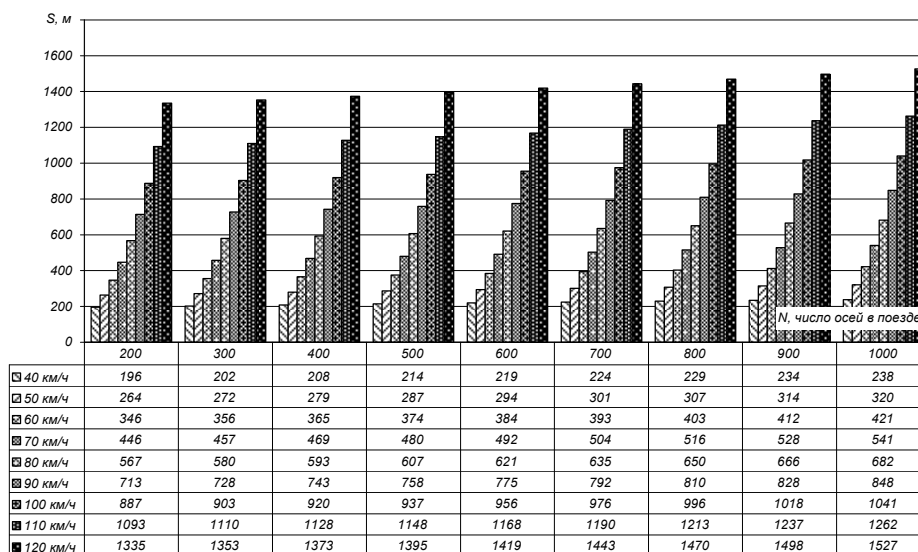


Рис. 9. Тормозные пути грузового поезда в зависимости от числа осей при экстренном пневматическом торможении на площадке, полученные по формулам табл. 1

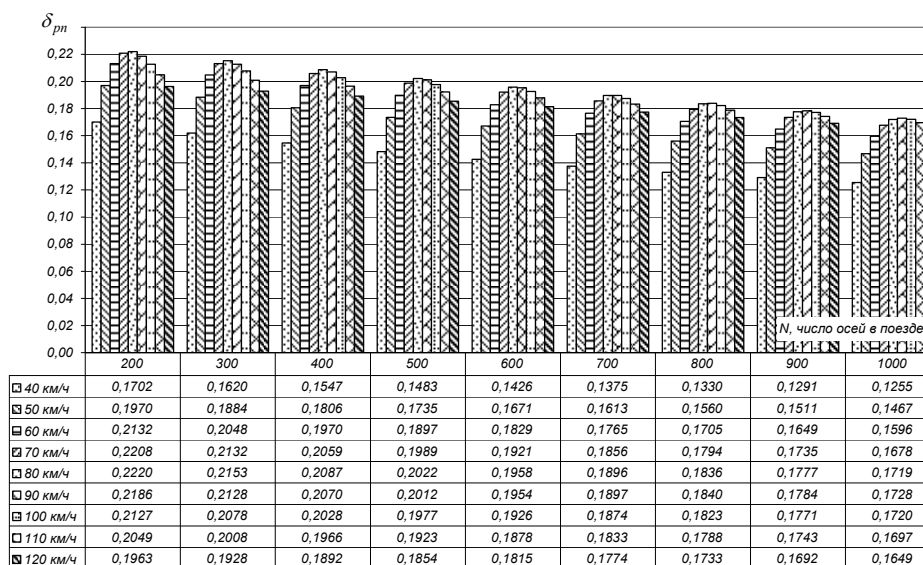


Рис. 10. Тормозные коэффициенты грузового поезда в зависимости от числа осей при экстренном пневматическом торможении на площадке, полученные по формулам табл. 2

Выводы

1. Предложена методология по определению тормозной эффективности грузового поезда с произвольным количеством осей, которая базируется на фактических результатах испытаний тормозной системы одиночного вагона.
2. В результате исследований было установлено, что скорость распространения тормозной волны в пределах (250-300) м/с практически не оказывает влияние на тормозную эффективность грузового поезда.
3. На тормозную эффективность поезда основное влияние оказывают тормозные характеристики опытного вагона и число осей (вагонов) в составе грузового поезда.
4. Методология может быть использована для исследования тормозных систем грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками с целью отработки конструктивного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов / Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2004. – 114 с.
2. Иноземцев В. Г. Нормы и методы расчета автотормозов / В.Г. Иноземцев, П.Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971. – 57 с.
3. Гутер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. – М.: Наука, 1970. – 432 с.
4. ЦШ-0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України. – К.: Міністерство транспорту та зв'язку України: ТОВ «Інпрес», 2008. – 159 с.

УДК 621.435

А. С. Жерновий
З. І. Краснокутська
В. С. Вербовський

ЩОДО ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ПРОГРІВУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Виявлено вплив режимів прогріву на паливну економічність. Отримані залежності вмісту CO та C_mH_n від температури охолоджуючої рідини. А також незначний вплив температури охолоджуючої рідини на вміст оксидів азоту.

Выявлено влияние режимов прогрева на топливную экономичность. Получены графики зависимости содержания CO и C_mH_n от температуры охлаждающей жидкости. А также незначительное влияние температуры охлаждающей жидкости на содержание оксидов азота.

The influence of warm-up mode for fuel efficiency is detected. Graphs of dependence of CO and C_mH_n content from coolant temperature are got. Negligible effect of coolant temperature on the content of nitrogen oxides are also got.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, режим прогріву двигуна, температура охолоджуючої рідини, паливна економічність двигуна, екологічні показники роботи двигуна.

Відомо, що паливна економічність та екологічні показники двигуна внутрішнього згорання автомобіля і стаціонарної енергетичної установки в умовах експлуатації залежать від багатьох факторів [1, 2]. Одним з найважливіших є тепловий стан двигуна. Робота двигуна, як при недостатньому нагріванні, так і при перегріві, пов'язана з багатьма негативними наслідками [3, 4]. Багаточисленними дослідженнями встановлено, що у холодному двигуні більше теплоти іде в охолоджуючу рідину, гірше протікають процеси сумішоутворення і горіння паливоповітряної суміші, зростає внутрішнє тертя, і як наслідок, знижується потужність і погіршується паливна економічність двигуна автомобіля і стаціонарної установки в цілому. Перегрів двигуна призводить до погіршення мащення поверхонь тертя, вигорання оливи і, як наслідок, зниження міцності матеріалів деталей двигуна і їх підвищеного зносу. Крім того, перегрів двигуна призводить до зниження коефіцієнта наповнення а також, як наслідок, зниження потужності двигуна, й, також, до виникнення детонаційного згорання і samozapalювання робочої суміші [4].

© Жерновий А. С., Краснокутська З. І., Вербовський В. С., 2013

Тепловий стан двигуна характеризується температурами охолоджуючої рідини або оливи. В роботі [5] аналізується вплив температури охолоджуючої рідини на потужність, витрату палива і знос деталей циліндро-поршневої групи. Із зміною температури охолоджуючої рідини змінюються температура стінок циліндрів і кількість теплоти, що передається охолоджуючій рідині. Вплив цих факторів на індикаторну потужність двигуна протилежний. Зменшення втрат теплоти в охолоджуючу рідину, що має місце при високій температурі охолоджуючої рідини, підвищує індикаторну потужність, але висока температура стінок циліндрів призводить до зниження коефіцієнта наповнення, що знижує індикаторну потужність. Сумарний вплив цих двох факторів для різних двигунів є неоднаковий. Ефективна потужність більшості двигунів з підвищенням температури охолоджуючої рідини зростає внаслідок зменшення сил тертя в зв'язку зі зниженням в'язкості оливи. Найбільшого значення ефективна потужність досягає при температурі охолоджуючої рідини 80...90 °С.

Метою роботи є аналіз впливу режимів прогріву на паливну економічність та екологічні показники роботи двигуна внутрішнього згорання при прогріві. Зниження температури охолоджуючої рідини призводить до значного погіршення процесу згорання. За низьких температур реакції окислення палива в двигуні протікають сповільнено в результаті чого змінюється індикаторна діаграма [6]. Уповільнення процесу згорання супроводжується зниженням максимального тиску циклу (рис. 1) і, залежно від нього, середнього тиску циклу, та як наслідок, індикаторної потужності двигуна, яка залежить від площі індикаторної діаграми (рис. 2). Необхідно відзначити, що показані на рис. 2 індикаторні діаграми належать до роботи двигуна на дещо збагаченій паливно-повітряній суміші ($\alpha = 0,96$), при роботі на збіднених сумішах вплив температури охолоджуючої рідини був би ще більш значним. На рис. 1 наведені залежності максимального тиску в циліндрах двигуна та тривалості процесу згорання від температури охолоджуючої рідини, які підтверджують описаний вище вплив температури охолоджуючої рідини на показники робочого процесу двигуна.

Температура охолоджуючої рідини двигуна впливає на склад відпрацьованих газів. В роботі [7] встановлено, що зниження температури охолоджуючої рідини на виході з двигуна з 80°C до 30°C в режимі холостого ходу ($n = 1000 \text{ хв}^{-1}$) призводить до зростання викидів оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах на 30...35%. При роботі під навантаженням не встановлено впливу температури охолоджуючої рідини на вміст CO у відпрацьованих газах. Разом із тим встановлено, що викиди оксидів азоту NO_x з підвищенням температури охолоджуючої рідини на кожні 10°C збільшується на 10...15%.

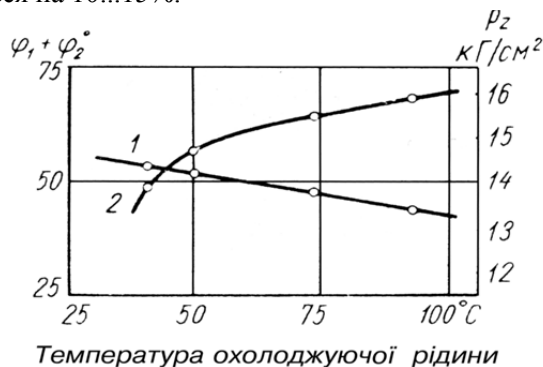


Рис. 1. Вплив температури охолоджуючої рідини на процес згорання [6]:
1 – тривалість процесу згорання;
2 – максимальний тиск процесу згорання

У роботі [8] показано, що при підвищенні температури охолоджуючої рідини на 40°C вміст NO_x збільшується на 25%. В роботі, виконаній в НТУ [10], досліджувалась зміна вмісту різних компонентів у відпрацьованих газах двигуна ЗМЗ-24-01 в процесі його прогріву. Дослідження проводились в режимі ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, $\Delta p_k = 35 \text{ кПа}$), який широко використовується в процесі експлуатації автомобіля в місті. На рис. 3 показані результати цих досліджень.

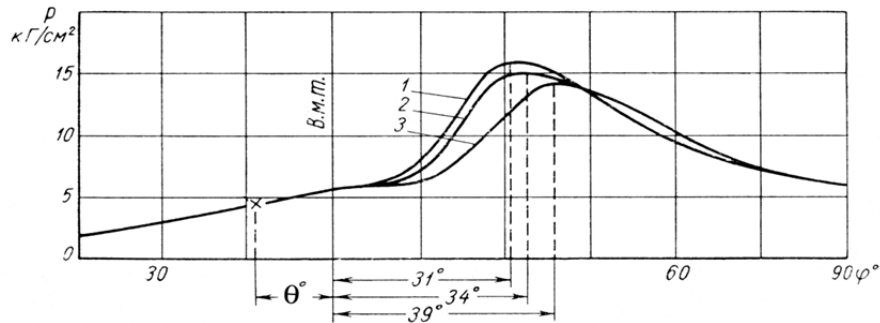


Рис. 2. Індикаторні діаграми, отримані на автомобільному карбюраторному двигуні при різних температурах охолоджуючої рідини $t_{ор}$ [6]: 1 – при 95°C ; 2 – при 60°C ; 3 – при 40°C

Вміст CO у відпрацьованих газах по мірі прогріву дещо збільшився, що пояснюється зміною складу свіжої паливоповітряної суміші і покращенням процесу згорання при багатій суміші. Вміст C_mH_n з зростанням $t_{ор}$ значно зменшується, що свідчить про покращення робочого процесу. Вміст NO_x залежить від температури $t_{ор}$ незначно.

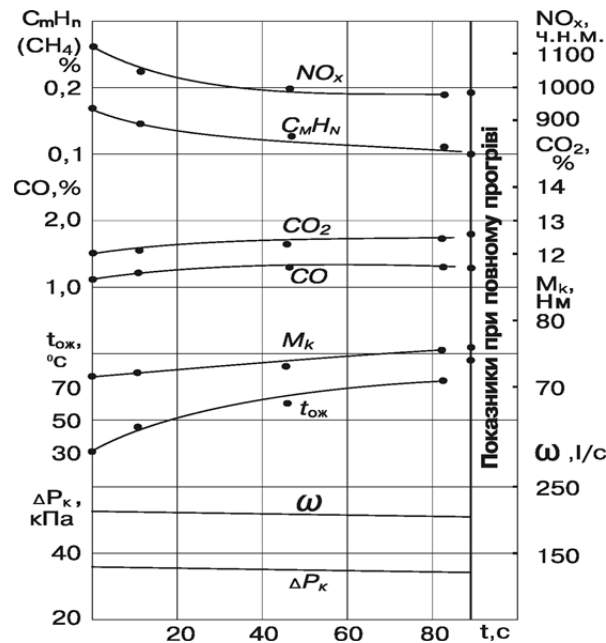


Рис. 3. Зміна показників роботи двигуна ЗМЗ-24-01 при прогріві ($n=2000 \text{ хв}^{-1}$, $\Delta p_k=35 \text{ кПа}$) [8]

Вміст CO у відпрацьованих газах по мірі прогріву дещо збільшився, що пояс-

нюється зміною складу свіжої паливовоздушної суміші і покращенням процесу згорання на багатій суміші. Вміст C_mH_n з зростанням t_{op} значно зменшується, що свідчить про покращення робочого процесу. Вміст NO_x залежить від температури t_{op} незначно.

Висновки. Аналізуючи численні літературні джерела встановлено, що постійна робота переохолодженого двигуна призводить до підвищеного зносу його деталей, в першу чергу циліндрів та поршневих кілець, а також викликає інші небажані явища, наприклад осмолення деталей. Разом з тим, в результаті проведених випробувань в роботі [11] встановлено, що у порівнянні із швидкісним режимом роботи двигуна, найбільше впливає на підвищення температури циліндрових гільз режим навантаження. Так, при температурі охолоджуючої рідини $75...80^{\circ}C$, із збільшенням навантаження від мінімального до максимального при частоті обертання колінчастого вала двигуна $n=2000xv^{-1}$ збільшення температури у верхній площині гільз становить в середньому 20%. Збільшення частоти обертання з $1500xv^{-1}$ до $3500xv^{-1}$ в режимі холостого ходу підвищує температуру у тому ж поясі всього на 10%. Одночасне збільшення навантаження та частоти обертання дає наростання температур від $35^{\circ}C$ при малих до $50^{\circ}C$ при високих частотах обертання колінчастого вала двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кутенев В. Ф., Свиридов Ю. Б. Экологические проблемы автомобильного двигателя и путь оптимального решения их. // Двигателестроение. – Л.: Машиностроение, 1990.– № 10. – С. 55 – 62.
2. Гарбер А. З. Совершенствование методов снижения токсичности отработавших газов и расхода топлива городскими автобусами с карбюраторными двигателями в условиях эксплуатации. Автореф. дис. канд. тех. наук: 05.22.10/ МАДИ. – М., 1980. – 16с.
3. Автомобильные и тракторные двигатели. / Под ред. И. М. Ленина. – М.: Машиностроение, 1976. – 280 с.
4. Райков И. Я., Ретвинский Г. Н. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1970. – 432 с.
5. Гаврилов А. К. Системы жидкостного охлаждения автотракторных двигателей. – М.: Машиностроение, 1966. – 163 с.
6. Ленин И. М. Теория автомобильных и тракторных двигателей: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1969. – 368 с.
7. Гаврилов А. К., Бузов Ю. А. Исследование зависимости токсичных выбросов от температурного режима системы охлаждения двигателя при использовании бензина и сжиженного газа. // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств: В 2 т. – Харьков, 1977. –Т.1. - С. 133 – 152
8. Назаров И. П., Наумов С. В., Неудачин В. И. Уменьшение концентрации окиси азота и улучшение энергетических характеристик ДВС при работе на стабильных водно-бензиновых эмульсиях. // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств: В 2 т. - Харьков, 1977. - т.2. - С. 219-228.
9. Микулин Ю. В., Карницкий В. В., Енглин Б. А. Пуск холодных двигателей при низкой температуре. – М.: Машиностроение, 1970. – 215 с.
10. Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. д-ра техн. наук: 05.22.10.,05.04.02 – К., 1985. – 538 с.
11. Гурвич И. Б. Износ автомобильных двигателей. – М.: Машгиз, 1961. – 96 с.

УДК 621.372

В. Г. Гришко
А. Н. Музашвілі

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РІВНЯ ЗНОСУ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В статті розглядається метод, який дозволяє зробити оцінку ступеня зносу ізоляції обмоток тягового двигуна безпосередньо у процесі експлуатації, використовуючи інформацію про тренд споживаного струму, що дозволяє реалізувати ремонтні роботи, зважаючи на реальний технічний стан двигуна.

В статье рассматривается метод, который позволяет сделать оценку степени износа изоляции обмоток тягового двигателя непосредственно в процессе эксплуатации, используя информацию о тренде потребляемого тока, что позволит осуществлять ремонтные работы исходя из реального технического состояния двигателя.

In the article a method is examined that allows to do the estimation of degree wear isolation the windings of hauling engine, directly in the process of exploitation, using information about the trend consumable current, allows to realize repair works coming from the real technical condition of the engine.

Ключові слова: струм, тренд, ізоляція обмотки, тяговий двигун.

До основних причин відмов тягових двигунів належать:

- застосування електроізоляційних матеріалів низької якості;
- недосконала технологія накладення системи ізоляції;
- застаріле ремонтне обладнання;
- недостатній рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Також не є оптимальною система підтримання ізоляції в надійному стані за даними пробігу, оскільки умови експлуатації ТЕД не однакові, відповідно не однаково відбувається і старіння ізоляції, тому не кожен двигун з пробігом 1400 тис. км обов'язково потребує заміни обмотки. Інколи достатній більш дешевий середній ремонт, тобто чистка, просочування і сушка обмотки. Таким чином якщо оцінювати реальний стан ізоляції, то можна з меншими затратами продовжити строк служби двигуна без зниження надійності його роботи, а також завчасно виявити несправності в процесі експлуатації. Особливу актуальність така постановка мети постала в сучасних умовах у зв'язку з великим дефіцитом міді і ізоляційних матеріалів.

В процесі роботи електричних машин в окремих її вузлах відбуваються втрати електричної енергії, яка перетворюється в тепло, що виділяється, в основному, в мідній обмотці, металевій серцевині якоря і полюсів, а також якірних підшипників.

© **Гришко В. Г., Музашвілі А. Н., 2013**

Температура нагріву цих вузлів, в основному, і визначає строк їхньої служби. Наприклад, при перевищенні допустимої температури ізоляції на 8°C, строк її використання зменшується приблизно в два рази [1].

Основною причиною виходу з ладу ізоляційних матеріалів є теплова втома, що відбувається під дією робочих температур і супроводжуються погіршенням механічних властивостей ізоляції. Теплове старіння ізоляції пов'язане з полімеризацією, усушкою і вивітрюванням деяких її компонентів, що викликає появу мікроскопічних тріщин і пор. На інтенсивність старіння ізоляції значний вплив має значення і тривалість дії робочих температур, межі і частота зміни температур, напруженість електричного поля, вологість, хімічна дія і тому подібне.

Згідно з ГОСТ 2582-81 дозволяється відхилення частоти обертання при струмі, що відповідає номінальній потужності в межах $\pm 4\%$. Зрозуміло, що двигуни, які встановлені на одному електровазі, з різними (в інтервалі допуску) швидкісними характеристиками будуть навантажені різним струмом. Те ж саме ми будемо спостерігати, якщо діаметри коліс (в межах допуску) будуть неоднаковими. А якщо до вказаного додати флуктуації напруги споживання, навантажень, характеру руху та інше, то стає очевидним доцільність індивідуального спостереження за змінами ресурсної динаміки кожного тягового двигуна безпосередньо в процесі експлуатації.

Значення реальної температури обмоток тягового двигуна дозволило б оперативно вирішувати питання пов'язане з підтриманням ресурсу ізоляції, але отримати значення температур в умовах експлуатації практично неможливо. Зважаючи на це, нам потрібна якась величина, що достатньо добре корелюється, для її виміру з температурою обмоток. На наш погляд як останню можна використати струм, що споживається тяговим двигуном.

Коректність методу аналізу та інтерпретація результату значною мірою залежить від деяких основних властивостей даних, які аналізуються. Визначення ККД відповідно до навантаження супроводжується багатьма ускладненнями, які обумовлені тим, що при порушенні цілісності ізоляції споживаний струм збільшується, хоча навряд чи нам вдасться встановити величину зміни ККД, оскільки значення втрат нам не відоме. Якщо основні фізичні фактори, що визначають процеси споживання струму тяговим двигуном, не залежать від часу, то ми можемо задатися тим, що процес стаціонарний і проблема деградації ізоляції відсутня.

Маючи ці допущення, пропонується така послідовність дій для перевірки стаціонарності випадкового процесу споживання струму тягового двигуна по окремих його реалізаціях:

1. Маємо N реалізацій процесу руху рухомого складу
2. Визначається оцінка середніх значень і дисперсій для кожної реалізації.

$$E[i(k)] = \int_{-\infty}^{\infty} ip(i)di = \mu_i \quad (1)$$

де $E[]$ – математичне очікування виводиться в квадратних дужках за індексом k.

Дисперсія $i(k)$ визначається як середня квадратична різниця $i(k)$ і її середнього значення, тобто:

$$E[(i(k) - \mu_i)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (i - \mu_i)^2 p(i)di = \sigma_i^2 \quad (2)$$

3. Отримані оцінки розташовані в порядку приросту номера реалізації:

$$\overline{i_1^2}, \overline{i_2^2}, \overline{i_3^2}, \dots, \overline{i_N^2}$$

4. Ця послідовність оцінок середнього квадрату перевіряється на наявність тренду.

Допустимо, що послідовність оцінок середнього квадрату вибірки $(\overline{i_1^2}, \overline{i_2^2}, \overline{i_3^2}, \dots, \overline{i_N^2})$, що складена з незалежних спостережень над стаціонарною випадковою послідовністю з середнім ψ_i^2 . Якщо ця гіпотеза вірна, то зміна послідовності середніх значень будуть мати випадковий характер і не матимуть в своєму складі тренда.

Розглянемо послідовність з N спостережень струму, що споживається тяговим двигуном i_k , де $k=1, \dots, N$, і підрахуємо скільки раз в послідовності має місце нерівність $i_k > i_m$ за умови $k < m$. Кожна така нерівність називається інверсією, позначимо через A загальну кількість інверсій. Значення A вираховуємо таким чином: Визначаємо для більшості спостережень $i_1, i_2, \dots, i_N$ величини:

$$h_{k_1 m} = \begin{cases} 1, & i_k > i_m \\ 0, & i_k \leq i_m \end{cases} \quad (3)$$

Тоді :

$$A = \sum_{k=1}^{N-1} A_k \quad A_k = \sum_{m=k+1}^N h_{k_1 m} \quad (4)$$

Якщо послідовність з N реалізацій споживаного тяговим двигуном струму розглядати як послідовність незалежних величин, то кількість інверсій є випадковою величиною A з середнім значенням і дисперсією. [2]

$$\mu_A = \frac{N(N-1)}{4} \quad (5)$$

$$\sigma_A^2 = \frac{2N^3 - 3N^2 - 5N}{72} = \frac{N(2N+5)(N-1)}{72} \quad (6)$$

Якщо відсутня деградація ізоляції обмоток тягового двигуна, то ми маємо справу з стаціонарним випадковим процесом і тренд буде відсутній. Якщо ж розпочинається процес руйнування ізоляції то це призведе до збільшення втрат потужності і відповідно збільшення споживаного струму, процес переходить до розряду нестаціонарних.

Нехай дана деяка оцінка $\hat{\Phi}$, побудована за вибіркою з N незалежних спостережень випадкової величини i . Припустимо, що є основа вважати істинне значення оцінюваного параметру рівним Φ_0 . Однак навіть якщо істинне значення параметру Φ рівне Φ_0 , не буде в точності рівна Φ_0 через вибіркочну змінність, що присутня для $\hat{\Phi}$. Тому виникає таке питання : Якщо припустити, що $\Phi = \Phi_0$, то при якому відхиленні $\hat{\Phi}$ від Φ_0 ця гіпотеза повинна бути відхилена як неможлива?

На це питання відповідь потрібно дати вираховуючи ймовірність будь-якого значущого відхилення $\hat{\Phi}$ від Φ_0 по вибіркового розподілу $\hat{\Phi}$. Якщо ймовірність такого відхилення мала, то відмінність варто вважати значним, і гіпотеза $\Phi = \Phi_0$ повинна бути відхилена. Якщо ж ймовірність такого відхилення велика, то йому варто надати значення природної статистичної змінності, і гіпотеза $\Phi = \Phi_0$ може бути прийнята.

Виконуючи такий аналіз щодо кожного тягового двигуна електровоза, в процесі його експлуатації ми надаємо можливість оцінки ступеня зносу ізоляції тягового двигуна і відповідно доцільності втручання ремонтних підрозділів для збільшення ресурсної динаміки того чи іншого тягового двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захарченко Д. Д., Ротанов Н. А. Тяговые электрические машины. – М.: Транспорт, 1991. – 343с.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540с.

УДК 629.423

Ю. М. Черних
А. С. Романюк
С. О. Гулак

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОСЛАБЛЕННЯ ЗБУДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

На основі аналізу роботи електровозів показані недоліки існуючих систем регулювання ослаблення збудження тягових двигунів. Запропоновано напівпровідникова система ослаблення збудження, при якій тягові характеристики електровозів змінного струму з колекторним тяговими двигунами відрізняються від штатних на 3-5%, зберігається штатна система електричного гальмування, але при цьому в реостатному гальмуванні істотніше усувається процес юза колісної пари.

На основе анализа работы электровозов показаны недостатки существующих систем регулирования ослабления возбуждения тяговых двигателей. Предложена полупроводниковая система ослабления возбуждения, при которой тяговые характеристики электровозов переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями отличаются от штатных на 3-5%, сохраняется штатная система электрического торможения, но при этом в реостатном торможении существенно устраняется процесс юза колесной пары.

Based on the analysis of electric shows shortcomings of existing systems of regulation weakening of traction motors. Proposed field weakening semiconductor system in which the traction characteristics of electric AC commutator motors differ from regular 3-5% retained nominal electric braking system, but in the dynamic braking process significantly reduces skidding wheelset.

Ключові слова: електровоз змінного струму, індуктивний шунт, керований напівпровідниковий прилад, тяговий електродвигун.

Як відомо регулювання ослаблення збудження - це засіб більш повного використання можливостей тягового електродвигуна, яке призначене для зміни швидкості електрорухомого складу при русі на природних характеристиках двигуна, підвищення плавності пуску, ліквідації боксування (юза) колісних пар, захисту тягових двигунів у режимі реостатного гальмування [1,2].

На вітчизняних електровозах змінного струму з колекторним тяговими електродвигунами найбільшого поширення набула контакторно-резисторна система регулювання збудження з використанням індуктивних шунтів [3,4,5].

© Черних Ю. М., Романюк А. С., Гулак С. О., 2013

Аналіз роботи електровозів показує значне число відмов по тягових двигунах. Однією з причин незадовільного технічного стану електровозів, що веде до збільшення відмов тягових двигунів, є проблема пов'язана з індуктивними шунтами, які задіяні в системі ослаблення збудження тягових двигунів. Проблема посилюється тим, що деякі депо не мають достатнього запасу зазначених шунтів, що викликає складність при ремонтах. Тут слід зазначити складність виготовлення, високу вартість, велику масу і габарити індуктивних шунтів.

Крім того застосування морально застарілих енергоустановок з низькими конструктивними та експлуатаційними показниками, яким є індуктивний шунт, тягне за собою підвищену витрату енергії і додаткові енерговитрати на експлуатацію та ремонт електровозів.

Дану проблему пропонується вирішити шляхом модернізації системи ослаблення збудження тягових двигунів, за рахунок заміни дорогих і громіздких приладів напівпровідниковими системами, а саме, приладом який буде замінити індуктивний шунт.

Силові напівпровідникові прилади дають можливість удосконалювати традиційно використовувані системи збудження за рахунок швидкодії, незначною маси і габаритів, зниження витрат на ремонт і обслуговування, однак наявність пульсацій струму тягових електродвигунів накладає обмеження на використання напівпровідникових приладів в пристроях ослаблення збудження. Відмінною особливістю тягових двигунів електровозів змінного струму є мале падіння напруги на обмотці збудження. При струмах 100-200А незначна величина напруги на обмотці збудження (для електровозів ВЛ80С, ВЛ80Т напруга на обмотці збудження складає 0,79-1,58 В) може призвести до вимикання напівпровідникового приладу, що необхідно враховувати при розробці ключа і алгоритму його роботи.

При відновленні напруги живлення ТЕД струм якоря двигуна розраховувався за відомими формулами [6,7].

$$i = \frac{4 \cdot U_{2m}}{3 \cdot \pi \cdot 2 \cdot \omega \cdot L} \cdot \sin(2\omega t + \psi) + \frac{U_d - C_V \cdot \Phi \cdot V - 2p \cdot w_B \cdot \sigma \cdot \frac{d\Phi}{dt}}{r} \cdot (1 - e^{-\delta \cdot t}), \quad (1)$$

де U_{2m} – амплітудне значення випрямленої напруги;

ψ – початкова фаза;

$2p$ – число пар полюсів тягового двигуна;

σ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку головних полюсів;

$\delta = \frac{r}{L}$ – коефіцієнт загасання;

r – опір ланцюга навантаження;

L – індуктивність ланцюга навантаження;

C_V – конструктивна постійна електроприводу;

V – швидкість руху електровоза;

ω – кутова частота;

Φ – магнітний потік;

w_B – число витків обмотки збудження;

U_d – середня випрямлена напруга;

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} - \frac{2 \cdot X_T}{\pi} \cdot I_{\text{я}} \quad (2)$$

де U_2 – діюче значення випрямленої напруги;

X_T – індуктивний опір тягового трансформатора;

$I_{\text{я}}$ – середнє значення струму якоря ТЕД.

Відновлення напруги на ТЕД, як найбільш небезпечний нестационарний режим, був промодельований за допомогою програми Matlab [8].

Результати розрахунку і комп'ютерного моделювання показали, що з виключенням режиму ослаблення збудження кидки струму зменшуються на 16 %, а з додатковим відключенням шунтуючого резистора на 22 %.

Для обмеження амплітуди струму в нестационарних режимах роботи ТЕД при ослабленому збудженні доцільно відключати ланцюг, шунтуючу обмотку збудження, швидкодіючими напівпровідниковими ключами.

Як ключовий елемент були використані одноопераційні тиристори SCR, двоопераційні тиристори GTO, IGCT, транзистори IGBT.

У режимі ослабленого збудження коефіцієнт регулювання збудження β визначається величинами опорів резисторів $R_{\text{шо}}$ і $R_{\text{ш}}$ і падінням напруги на напівпровідниковому приладі.

При використанні одноопераційних тиристорів в системі ослаблення збудження представлено схемне рішення з пасивним зарядом комутуючого конденсатора від якоря тягового двигуна (рис. 1). Для обмеження післякомутаційної напруги на конденсаторі паралельно якоря двигуна включений зворотний діод. Реактор L_k застосований для запобігання швидкості наростання струму тиристорів при перезарядженні конденсатора.

Як ключовий елемент в системі ослаблення збудження ТЕД також досліджені повністю керовані напівпровідникові прилади (IGBT транзистори). На рис. 2 і 3 наведені схема безіндуктивного шунта і алгоритм її роботи.

Висновок

1. За результатами дослідження отримано узагальнені характеристики електровоза в режимі ослаблення збудження, що дозволяють оцінити вплив напівпровідникових приладів на коефіцієнт регулювання збудження. Виявилось в діапазоні струмів 300 ... 1200 А коефіцієнт β змінюється в межах: для схеми з тиристором - 0,53-0,35; з транзистором IGBT - 0,48-0,36. Тягові характеристики електровоза з напівпровідниковою системою ослаблення збудження відрізняються від штатних максимально на 3 – 4 % (з IGBT), 4-5 % (з SCR).

2. Для отримання номінальних характеристик ТЕД в режимі ослабленого збудження необхідна коригування величини шунтуючого резистора. На 1 та 2-ій позиціях ослаблення збудження при використанні безіндуктивного шунта на IGBT транзисторі необхідно збільшити величину опору шунтуючого резистора $R_{\text{ш}}$ на 0,014 Ом і 0,0054 Ом відповідно.

3. Застосування безіндуктивного шунта на повністю керованих напівпровідникових приладах дозволяє зберегти штатну систему електричного гальмування. Напівпровідниковий шунт при роботі електровоза в реостатному гальмуванні дозволяє інтенсивніше усувати процес юза колісної пари за рахунок зниження струму збудження, яке для штатної схеми складає 30 %, з транзистором 32-36 %.

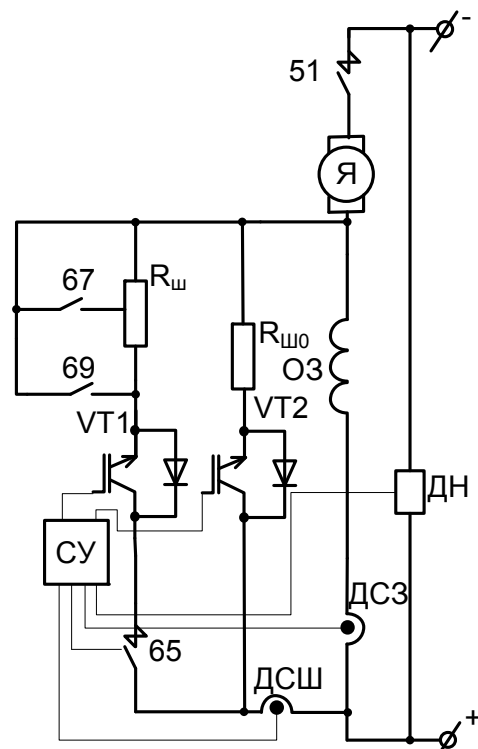


Рис. 2. Схема безіндуктивного шунта на транзисторах (ДН – датчик напруги; ДСЗ, ДСШ – датчики струму збудження і шунта)

ЛІТЕРАТУРА

- 79

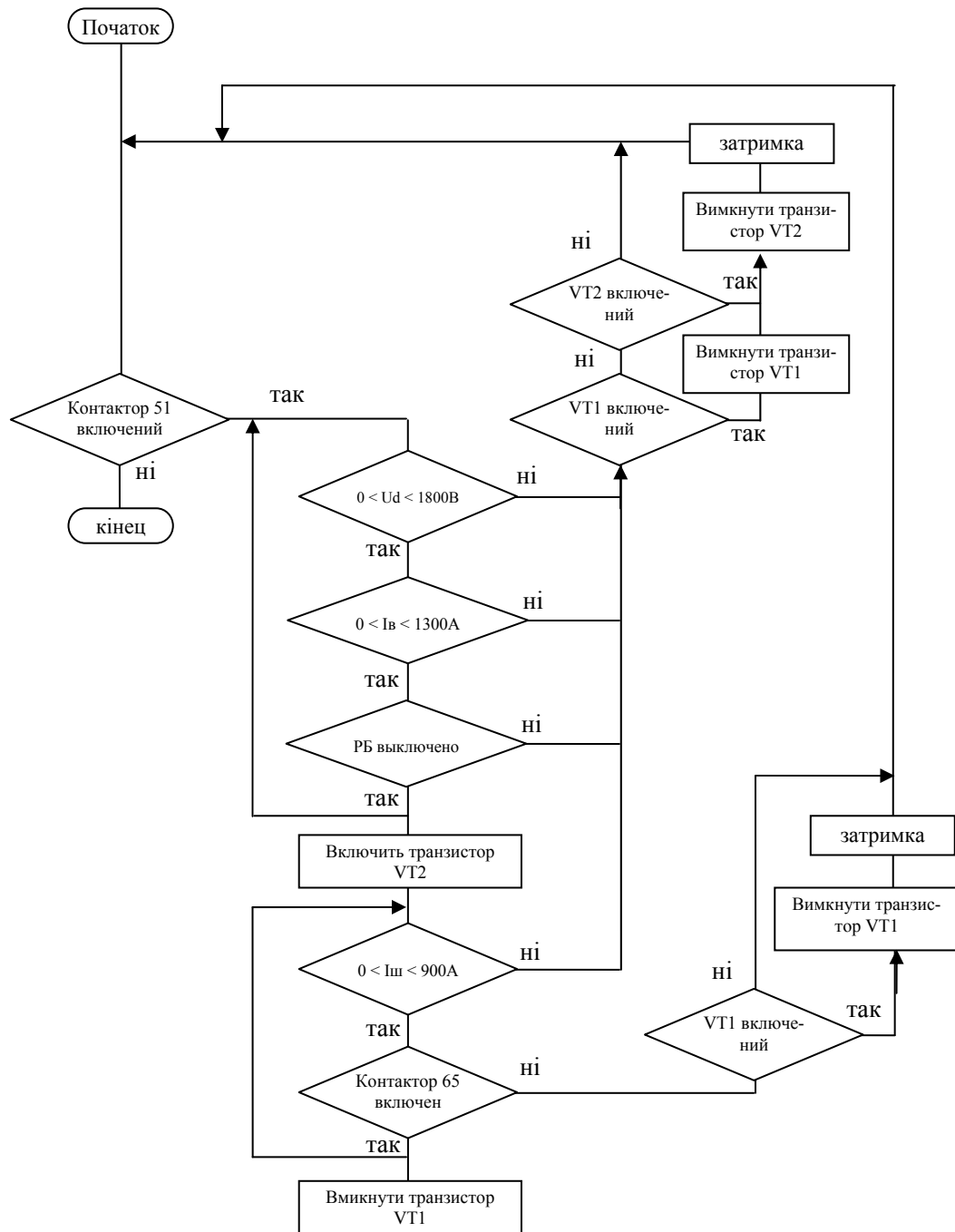


Рис. 3. Алгоритм роботи безіндуктивного шунта

УДК 621.314

Ю. В. Черняк
М. О. Ревчук
А. Є. Пилипенко

АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ДРОСЕЛЯХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

На сьогоднішній день більша частина тягового електрорухомого складу залізниць вимагає модернізації, оскільки параметри енергоефективності роботи електронних перетворювачів застарілої конструкції не задовольняють сучасним вимогам по коефіцієнту корисної дії і коефіцієнту потужності. Більшість електромеханічних перетворювачів, за своїм призначенням є морально застарілими. Перехід на електростатичні перетворювачі енергії, також як і заміна реостатного пуску імпульсним регулюванням, є одними з ключових моментів підвищення енергоефективності існуючого електрорухомого складу.

На сегодняшний день большая часть тягового электроподвижного состава железных дорог требует модернизации, поскольку параметры энергоэффективности работы электронных преобразователей устаревшей конструкции не удовлетворяют современным требованиям по коэффициенту полезного действия и коэффициенту мощности. Большинство электромеханических преобразователей, по своему назначению являются морально устаревшими. Переход на электростатические преобразователи энергии, также как и замена реостатного пуска импульсным регулированием, являются одними из ключевых моментов повышения энергоэффективности существующего электроподвижного состава.

To date, most of the electromotive traction of railways requires modernization, energy efficiency options as electronic converters obsolete structures do not meet current requirements for efficiency and power factor. Most electromechanical transducers in its purpose is obsolete. Go to the electrostatic energy converters, as well as replacement rheostat start impulse control is one of the key points electromotive energy efficiency of existing stock.

Ключові слова: перетворення, реостатного пуску, індуктивність дроселя, підвищення енергоефективності.

Вступ. У зв'язку зі стрімким розвитком силових повністю керованих електронних ключів таких як: IGBT-транзистори і GTO-тиристори, і конструюванням силових перетворювачів на їх основі, виникає проблема оптимального вибору матеріалу і конструкції силового дроселя. Магнітні характеристики сучасних матеріалів дозволяють значно зменшити втрати під час фільтрації вихідного сигналу широтно-імпульсної

© Черняк Ю. В., Ревчук М. О., Пилипенко А. Є., 2013

модуляції для досягнення допустимих відхилень від синусоїдальної форми напруги в перетворювачах змінного струму і коливань напруги в перетворювачах постійного струму.

Аналіз проблеми. Вимоги до дроселя залежать від конкретного місця застосування. Наприклад, для багатьох перетворювачів індуктивність дроселя може бути обрана більшою ніж потрібно за розрахунком. При цьому якість роботи перетворювача стає краще. Водночас дроселі для інвертуючих перетворювачів повинні мати певну, досить строго задану розрахунком, величину індуктивності. У таких випадках суттєве відхилення індуктивності від необхідної – як її зменшення, так і збільшення – призводить до небажаних режимів роботи ІСН, зайвих втрат і перевантажень напівпровідникових приладів.

Розрахунок дроселя. При виборі дроселя ключовим показником є індуктивність.

Якщо через котушку з сердечником протікає великий струм, то магнітний матеріал сердечника може увійти в насичення. При насиченні сердечника його відносна магнітна проникність різко зменшується, що тягне за собою пропорційне зменшення індуктивності. Зменшення індуктивності викликає подальше прискорене зростання струму дроселя тощо. У більшості перетворювачів насичення сердечника вскрай небажано і може призводити до таких негативних явищ:

- збільшений рівень втрат в матеріалі сердечника і збільшений рівень омичних втрат в проводі обмотки призводять до невиправдано низького ККД;
- додаткові втрати викликають перегрів дроселя, а також розташованих поблизу радіодеталей
- прискорено наростаючий струм викликає ударні струмові перевантаження ключів перетворювача, підвищені омичні втрати в ключах, їх перегрів і передчасний вихід з ладу;
- ненормально великі імпульсні струми тягнуть за собою перегрів електролітичних конденсаторів фільтрів живлення, а також збільшений рівень перешкод випромінюваних проводами і доріжками друкованої плати.

Зважаючи на викладене, слід уникати роботи сердечника в режимі насичення. Ферити входять в насичення, якщо величина щільності потоку магнітної індукції перевищує 300 мТ, причому ця величина не так вже дуже залежить від марки фериту. Тобто 300 мТ є властивістю саме феритів, інші магнітні матеріали мають інші величини порогу насичення. Наприклад, трансформаторне залізо і порошкове залізо насичуються при величині щільності потоку магнітної індукції приблизно 1Т, тобто можуть працювати в набагато більш сильних полях. Величина щільності потоку магнітної індукції в сердечнику розраховується за такою формулою:

$$B = 1000 * m_0 * m_e * I * N / l_e \text{ (мТ)} \quad (1)$$

де m_0 – абсолютна магнітна проникність вакууму, $1,257 \times 10^{-3}$, мкГн / мм; m_e – відносна магнітна проникність сердечника (не плутати з проникністю матеріалу сердечника); I – струм через обмотку, А; N – кількість витків в обмотці; l_e – довжина середньої магнітної лінії сердечника, мм.

Виходячи з формули (3) максимальний струм через дросель до того, як сердечник увійде в насичення.

$$I_{\text{макс}} = 0,001 * (b_{\text{макс}} * I) / (m_0 * m_e * N) \text{ (А)} \quad (2)$$

де $b_{\text{макс}}$ – табличне значення, замість якого можна використовувати значення 300 мТ для будь-яких силових феритів. Після скорочень отримуємо:

$$I_{\text{макс}} = 0,001 * (b_{\text{макс}} * g) / (m_0 * N) \text{ (А)} \quad (3)$$

Звідси величина максимального струму через дросель із зазором визначається відношенням розміру зазору до кількості витків обмотки і не залежить від розмірів і типу сердечника. Однак це пояснюється просто. Феритовий сердечник настільки добре проводить магнітне поле, що все падіння напруженості магнітного поля припадає на зазор. При цьому величина потоку магнітної індукції, однакова і для зазору, і для сердечника, залежить лише від ширини зазору, струму через обмотку і кількості витків в обмотці і не повинна перевищувати 300 мТ для звичайних силових феритів. Для відповіді на питання, якої величини сумарний зазор g треба ввести в сердечник, щоб він витримав без насичення заданий струм, перетворимо вираз (3) до наступного вигляду:

$$g = (m_0 * I * N) / (0.001 * b_{\text{макс}}) \text{ (мм)}. \quad (4)$$

Тепер введемо в сердечник прокладку товщиною 1мм, зазор складе $g = 2\text{мм}$. Ефективна магнітна проникність зменшиться. Після нескладних розрахунків за формулою (4) визначаємо максимальний струм дроселя, він збільшився до 3,8А, тобто більш ніж в 5 разів. Однак не всі сердечники дозволяють вводити прокладки. Кільцеві сердечники виконані нероз'ємними, і замість того, щоб «регулювати» еквівалентну магнітну проникність за допомогою зазору, доводиться вибирати кільце з певною магнітною проникністю фериту.

Зазор в осерді дроселя грає виключно важливу роль. Оптимальним за вартістю матеріалом для створення дроселів без зазорів є залізо. Сердечники з заліза завдяки своїм унікальним магнітним властивостям, зокрема висока індукція насичення, і низькою вартістю є кращим матеріалом для застосування в згладжуючих дроселях, диференціальних мережевих фільтрах, коректорах коефіцієнта потужності та інших індуктивних елементах. Сердечники виготовляються на основі порошку оксиду заліза з органічним наповнювачем. Структура сердечника являє собою магнітопровід з розподіленим по всьому об'єму немагнітним зазором.

У деяких застосуваннях такі матеріали є альтернативою молібден-пермалоя.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики матеріалів

Параметри, матеріал	Iron Powder Розпилене залізо	High Flux	Kool Mp, Sendust, Альсифер	MPP, молібден-пермалой	Ferrite, Феррит
Склад матеріалу	100% Fe	50% Fe, 50% Ni	85% Fe, 9% Si, 6% Al	81% Ni, 17% Fe, 2% Mo	MnZn.Fe oxide
Проникність	3-100	14-160	26-125	14-550	Визначається величиною зазору
Насичення	1,5 Тл	1,5 Тл	1,05 Тл	0,75 Тл	0,5 Тл
Потужність втрат на 100 КГц, 0,05 Тл, (мВт/см ³)	800	260	200	120	0,5 Тл
Питома вартість	найнижча	висока	середня	висока	середня

Таблиця 2. Параметри матеріалів

Номер матеріалу	60 Гц	1 кГц	10 кГц	50 кГц	100 кГц	500 кГц	Проникність при $H_{oc}=4000$ А/м	
	0,5 Тл	0,15 Тл	0,05 Тл	0,0225 Тл	0,014 Тл	0,005 Тл	%μ	Ефект
-2	19	32	32	28	19	12	100	10,0
-8	45	64	59	48	32	15	91	31,9
-14	19	32	32	29	21	17	100	14,0
-18	48	72	70	63	46	37	74	40,7
-19	31	60	72	71	54	49	74	40,7
-26	32	60	75	89	83	139	51	38,3
-30	37	80	120	149	129	129	91	20,0
-34	29	61	87	100	82	78	84	27,7
-35	33	73	109	137	119	123	84	27,7
-38	31	57	72	99	103	217	51	43,4
-40	29	62	93	130	127	223	62	37,2
-45	26	49	60	69	61	92	46	46,0
-52	30	56	68	72	58	63	59	44,3

-2/-14 – Матеріали з низькою початковою магнітною проникністю, застосовуються у високочастотних пристроях.

-8 – Матеріал з низькою потужністю втрат і хорошою лінійністю при високих струмах підмагнічування.

-18 – Цей матеріал так само як і -8 характеризується низькими втратами, при цьому має більш високу проникність і меншу вартість. Хороша характеристика насичення по постійному струму.

-19 – Недорога альтернатива -18 матеріалу, з такою ж проникністю і з трохи більшими втратами.

-26 – Один з найпопулярніших матеріалів, який добре підходить для використання в широкому діапазоні силових перетворювачів і для мережевих фільтрів.

-30 – Хороша лінійність, низька ціна, і відносно низька проникність цього матеріалу, робить його популярним в джерелах живлення.

-34/-35 – Недорогі матеріали, альтернатива «-8». Ці матеріали використовуються в пристроях де втрати на високих частотах не є критичними. Надійна лінійність з високим струмом підмагнічування.

-38 – Високопроникний матеріал, альтернатива -26. Суміш з низькою вартістю, відмінно підходить для пристроїв які працюють на мережевий частоті.

-40 – Дешева альтернатива 26-й суміші, використовується в основному для великих типорозмірів.

-45 – Матеріал з найбільшою початковою магнітною проникністю, альтернатива -52-й суміші, але характеризується набагато більшою потужністю втрат .

-52 – Матеріал характеризується набагато меншими втратами на високих частотах ніж у суміші -26 при однаковій проникності. Часто використовуються у високочастотних дроселях .

Для конструювання перетворювачів, зокрема для тягового рухомого складу, оптимально використовувати матеріал -52, у зв'язку з найменшими втратами.

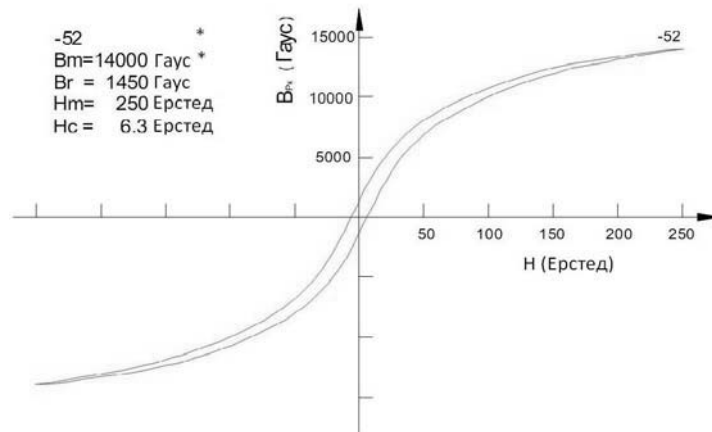


Рис. 1. Крива В-Н для матеріалу -52

Розрахунок потрібної кількості витків дроту N для досягнення бажаної індуктивності L виходячи з параметра A_L сердечника здійснюється за формулою:

$$N = \sqrt{\frac{L(nH)}{A_L \left(\frac{nH}{N^2}\right)}} \quad (5)$$

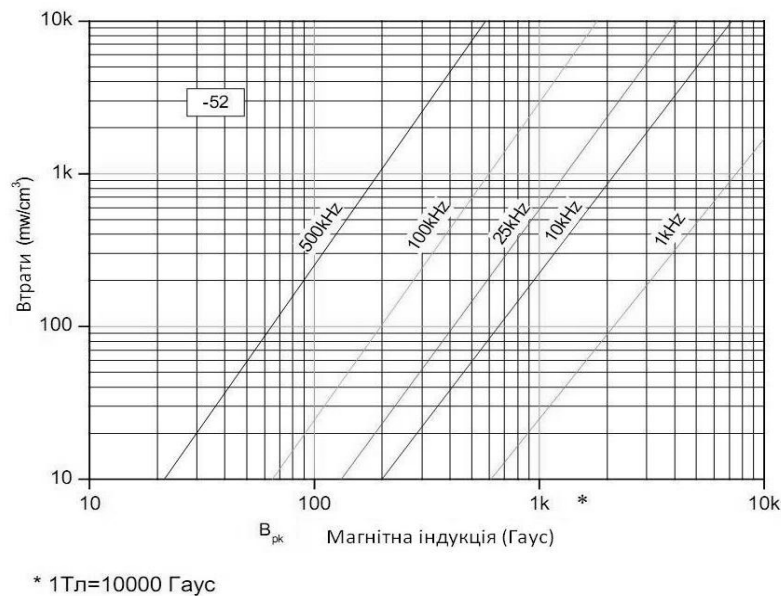


Рис. 2. Потужність втрат в осерді від величини індукції для -52

Висновок. Використовуючи інформацію подану у статті, авторами проводиться конструювання стенду широтно-імпульсного перетворювача. Був зроблений висновок про використання дроселя з порошкового заліза матеріалу 52 - T650 -52, з дові-

дковим значенням $A_L = 405 \text{ нН/Н}^2$ і габаритами $D = 165,0 \text{ мм}$, $d = 88,90 \text{ мм}$, $h = 50,80 \text{ мм}$.

Для необхідної індуктивності 128 мкГн , шляхом підставлення значень в формулу (7), було визначено кількість у 18 витків, які з легкістю укладаються в даний типорозмір сердечника без необхідності підбору немагнітного зазору в розрізних сердечниках.

Дана рекомендація для конструювання перетворювачів тягового рухомого складу, оптимально використовувати сердечники з розпиленого заліза з початковою магнітною проникністю 75 Гн/м і щільністю 7 г/см^2 , у зв'язку з найменшими втратами для режимів роботи обладнання ЕРС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бамдас А. М., Савиновский Ю. А. Дроссели переменного тока радиоэлектронной аппаратуры Москва, Издательство «Советское радио», 1969.
2. Кузнецов А. Трансформаторы и дроссели для импульсных источников питания. // Схемотехника. – 2000. – №1. – С. 30 – 33.
3. Сидоров И. Н., Мукосеев В. В., Христинин. А. А. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с.

УДК 621.31

*А. В. Гаюр
С. В. Каращук*

СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ ВІД НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ КОМУТАЦІЇ

У статті розглянуті та обґрунтовані заходи щодо підвищення надійності силових перетворювачів енергії при використанні напівпровідникових ключів шляхом застосування снаберних пристроїв. Розглянуто практичний спосіб застосування пристроїв захисту та запропонована їх альтернатива – найсучасніший напівпровідниковий пристрій з інтегрованим блоком керування.

В статье рассмотрены и обоснованы меры по повышению надежности силовых преобразователей энергии при использовании полупроводниковых ключей путем применения снаберных устройств. Рассмотрен практический способ применения устройств защиты и предложена их альтернатива – современное полупроводниковое устройство с интегрированным блоком управления.

The article reveals measures to increase the reliability of the power converters with power semiconductor by using snubber devices. A practical way to use protection devices and their proposed alternative - the most advanced semiconductor device with integrated control unit considered.

Ключові слова: напівпровідникові перетворювачі, силові ключі, снабери.

Вступ. Напівпровідникові перетворювачі з високою частотою імпульсної модуляції знаходять широке застосування в силовій електроніці та системах електроживлення. Це пов'язане з такими перевагами цих пристроїв як: підвищена частота перетворення параметрів електроенергії, малі габарити тощо. Однак, при проектуванні перетворювачів з потужністю понад 10 – 20 кВт виникають проблеми комутації силових ключів перетворювачів, що використовуються в системах живлення з активно-індуктивним навантаженням, які можуть призвести до виходу їх з ладу. Необхідність у створенні схем захисту силових ключів є одним з передових завдань при проектуванні силових перетворювачів енергії на напівпровідникових приладах.

Аналіз проблеми. Основною причиною виходу з ладу напівпровідникових ключів є перенапруга, що з'являється при комутації силового ключа перетворювачів та коливальні процеси, які виникають під час їх вимикання.

Електронні пристрої з ізольованими керуючими електродами особливо чутливі до таких негативних наслідків роботи перетворювачів, які працюють в системах живлення

© Гаюр А. В., Каращук С. В., 2013

з активно-індуктивним навантаженням. Практика використання силових електричних пристроїв свідчить, що перенапруга на виходах силових ключів може перевищувати їх максимально допустимі параметри по напрузі в декілька разів (рис. 1). Коливальні процеси, які виникають при комутації ключів інвертора, можуть привести до повторного вмикання силового ключа, тобто одночасного включення обох ключів плеча інвертора.

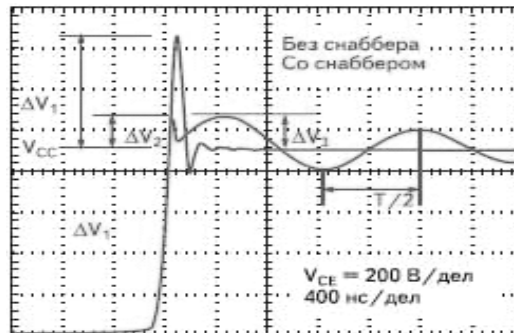


Рис. 1. Перехідні процеси при відсутності та наявності супорядника

Рішення проблеми. Для вирішення даних проблем, що виникають під час експлуатації силових перетворювачів енергії, використовують спеціальні схеми захисту силових ключів – супорядники. Їх застосовують для обмеження перенапруг на виходах силових ключів, зниження або повного усунення коливальних процесів під час комутації та зниження динамічних втрат в них. Конфігурація супорядника залежить від параметрів навантаження, системи живлення та робочої частоти перетворювача енергії. Найпростіший супорядник (рис. 2, а) являє собою імпульсний конденсатор малої ємності, встановлений паралельно виходам силового ключа. Для зниження втрат в паразитному коливальному контурі послідовно з конденсатором встановлюють резистор (рис. 2, б), але така схема також буде перешкоджати заряду конденсатору, що збільшить час перехідного процесу, тому для розділення схем заряду та розрядку, а також обмеження розрядного струму застосовують схему (рис. 2, в).

Під час комутації силового ключа, струм, через наявність індуктивності, не може миттєво перерватися. Струм закриття ключа VT1 стає струмом заряду конденсатора C1 через діод VD1. При наступному відкриванні ключа VT1 конденсатор C1 розряджається через нього і резистор R1, причому енергія, запасена в конденсаторі, виділяється на резисторі у вигляді тепла.

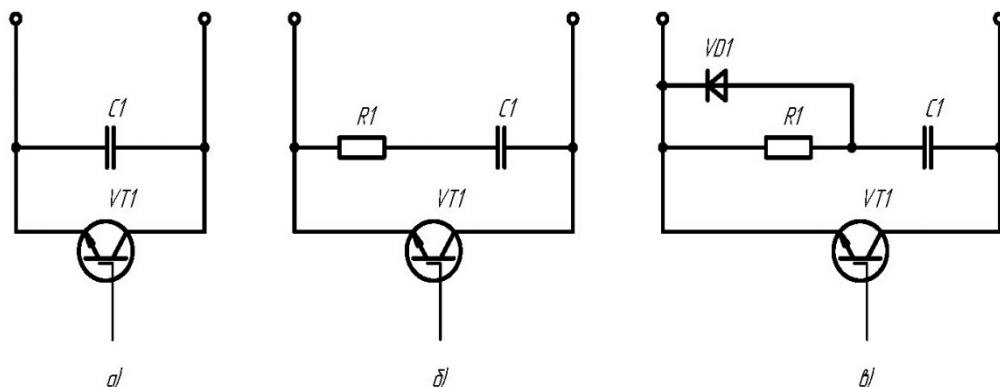


Рис. 2. Типи супорядничих схем

На рис. 3 зображені графіки перехідних процесів при використанні різних типів снаберів. Перенапруги при застосуванні RC снабера менше, що дозволяє зменшити втрати енергії. Використання конденсатора з більшою ємністю в RCD снабері дозволяє зменшити перенапругу.

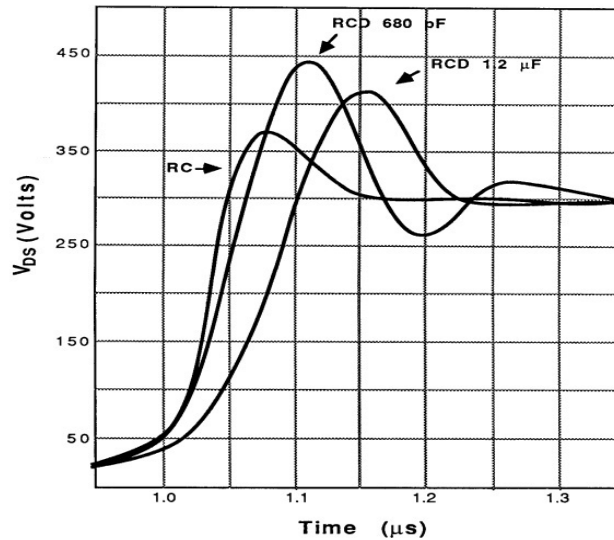


Рис. 3. Графіки перехідних процесів

Розрахунок та вибір параметрів снабера. Розрахунок снаберних схем досить складний і остаточних формул для їх розрахунку не існує, тому в процесі розробки перетворювачів електричної енергії доводиться корегувати їх захисні елементи на основі експериментальної перевірки та за певними даними завдання проектування.

Під час розрахунку ємності конденсатора найчастіше задаються часом, за яке він повинен зарядитися, для цього умовно приймають час закриття ключа в найгіршому випадку комутації. Його також можна подвоїти. Тепер, знаючи максимальний струм перетворювача і напругу живлення можна розрахувати номінал необхідного конденсатора (1).

$$C_{snub} = \frac{I \cdot t}{U} \quad (1)$$

$$P_{Rsnub} = E_{Csnub} \cdot f = \frac{C_{snub} \cdot U^2}{2} \cdot f \quad (2)$$

$$\tau = R \cdot C \quad (3)$$

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

Рис. 4. Формули розрахунку параметрів снабера

Потім за формулою (2) необхідно визначити потужність, яка виділиться на резисторі снабера. Можливі випадки, коли значення буде занадто велике, тоді треба повторно розрахувати ємність конденсатора, зменшивши час заряду.

Для визначення номіналу опору снаберного резистора відповідної формули не існує, але воно обирається з двох величин:

1. Опір має бути достатньо малим, щоб конденсатор встиг розрядитися навіть при мінімальному часі імпульсу. Найчастіше час повного розряду конденсатора RC схеми приймають $3 \cdot \tau$, тобто $3 \cdot \tau$ повинно бути менше мінімальної довжини імпульсу (ф. 3).

2. Опір має бути достатньо великим, щоб імпульсний струм через силовий ключ не перевищував допустимого значення (4). Також до струму розряду конденсатора додається робочий струм перетворювача і перевірити чи не перевищує він максимально допустимий струм ключа при 100° . Якщо в два чи більше разів менше – то номінал допустимий, якщо ні – треба величину опору збільшити, не дивлячись на $3 \cdot \tau$. Перевищення допустимого струму не допустиме.

Приклад застосування. При створенні перетворювача постійного струму у лабораторії кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» номінальною потужністю 17кВт на широтно-імпульсній модуляції частотою 500 Гц, зіткнулись з проблемою захисту силових напівпровідникових ключів (IGBT- транзисторів). Під час вимикання транзистора швидкість зміни струму не могла задовольнити необхідні параметри схеми, що призводило до появи перенапруги на затискачах транзистора, та виходу їх з ладу.

Для захисту ключів проведено розрахунок номіналів захисних пристроїв напівпровідникового ключа за формулами приведеними вище. Це дозволило зменшити перенапруження, яке утворювалося на кристалі транзистора та зменшило нагрів ключа. Такі позитивні наслідки застосування снабера дозволило зменшити економічні затрати на виготовлення силового перетворювача енергії та зменшити масогабаритні показники і збільшити техніко-економічні характеристики.

Інші можливості та способи захисту напівпровідникових ключів. Останніми роками, методи створення напівпровідникових пристроїв дуже вийшли вперед. Створення силових IGBT-транзисторів з робочою напругою 4500 В, струмом 1800А та робочою частотою привело до створення великої конкуренції силовим GTO-тиристорам в приладах потужності до 1 МВт та витісненню їх з ринку силових напівпровідникових електронних пристроїв.

Однак, завдяки новітнім технологіям, було створено сучасні GCT та IGCT-тиристири, можливості керування якими набагато кращі, та менш енергоємні ніж в перетворювачах електричної енергії на GTO-тиристорах та IGBT-транзисторах. Зміна конструкції кристалу GCT пов'язана з тим, що динамічні процеси, які виникають під час виключення, протікають на один-два порядки швидше ніж в GTO.

На рис. 5 зображено розподіл струмів в структурі GCT при вимиканні пристрою. Процес включення тиристора в схемі аналогічний процесу включення GTO, зокрема як процес вимикання дуже відрізняється. При подачі негативного імпульсу керування, рівного по амплітуді анодному струму, весь прямий струм відхиляється в систему управління і досягає катоду в обхід третього р-п переходу. Цей перехід зміщується в зворотному напрямі і катодний транзистор n-p-n структури закривається. Подальше закриття тиристора аналогічне закриванню будь-якого біполярного транзистора n-p-n структури, що не потребує зовнішнього обмеження швидкості нарощування прямої напруги du/dt і, отже, допускається відсутність снабера.

Для тиристорів IGCT (англ. Integrated Gate-Commutated Thyristor) потужність, необхідна для управління, знижена в 4-5 разів, а технологія жорсткого переключення дозволяє збільшити область безпечної роботи до межі, обмеженої лавинним пробоем, тобто до хіміко-фізичних можливостей кремнію. Даний тип тиристорів не потребує ніяких схем захисту для запобігання перенапруги на затискачах ключа. У поєднанні з покращеними показниками втрат потужності дозволяє підвищити область застосування тиристора у перетворювачах з номінальною частотою комутації близько 1 кГц.

При інтегрованому блоці керування катодний струм знижується до того, коли анодна напруга починає збільшуватися. Це досягається за допомогою малої індуктивності схеми керування керівного електрода, реалізованої за допомогою коаксіального з'єднання управляючого електрода і в поєднанні з багат шаровою структурою плати блока керування, а отже ключ має можливість комутувати струм номіналу 4 кА, при цьому структура забезпечує повністю транзисторний процес закривання без можливого виникнення тригерного ефекту.

Висновок. Проектування перетворювачів високої потужності є складним завданням. Успішна розробка таких пристроїв потребує застосування пристроїв захисту силових напівпровідникових ключів. Снабери – це один з основних найвигідніших способів захисту сучасних перетворювальних пристроїв з ізолюваним керівним електродом, які не тільки захищають їх від виходу з ладу, а й зменшують вплив негативних факторів впливу комутації на роботу ключа. Успішне застосування захисних кіл дозволяє: підвищити потужність перетворювача енергії, шляхом підвищення номінальних даних схеми для одного й того ж типу напівпровідникового приладу; зменшити енергоємність та витрати на обслуговування силових перетворювальних пристроїв; зменшити собівартість приладу та збільшити ефективність перетворення енергії.

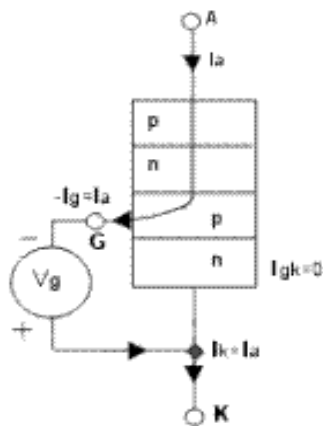


Рис. 5. Розподіл струмів в структурі тиристора GCT

ЛІТЕРАТУРА

1. *IGBT Peak Voltage Measurement and Snubber Capacitor Specification*. SEMIKRON Application Notes AN-7006. SEMIKRON INTERNATIONAL GmbH, 2008.
2. Колтаков А. И. IGBT — инструкция по эксплуатации Силовая электроника. – 2007. – № 1.
3. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: Семейства, характеристики, применение. – Додэка XXI, 2005

УДК 629.423.31

Ю. Ф. Дубравін

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА АДЕКВАТНОСТІ
МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ЕЛЕКТРОВОЗА ЗМІННОГО СТРУМУ**

У статті розглядаються фактори, що впливають на точність та адекватність математичної моделі електровоза змінного струму з колекторними двигунами. Приведені вирази для визначення втрат та падіння напруги у підсистемах електропривода з урахуванням тривалості комутації вентилів, пульсації випрямленого струму в колі тягових двигунів та характеристик вентилів випрямної установки. Розглянута математична модель може бути використана при дослідженні факторів, що впливають на коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності, а також для розрахунку характеристик активного струму електровозів.

В статье рассматриваются факторы, которые влияют на точность и адекватность математической модели электровоза переменного тока с коллекторными двигателями. Приведены выражения для определения потерь и падения напряжения в подсистемах электропривода с учетом длительности коммутации вентилей, пульсации выпрямленного тока в цепи тяговых двигателей и характеристик вентилей выпрямительной установки. Рассмотренная математическая модель может быть использована при исследовании факторов, которые влияют на коэффициент полезного действия и коэффициент мощности, а также для расчета характеристик активного тока электровозов.

Factors which influence on exactness and adequacy of mathematical model of electric locomotive of alternating current with collector engines are examined in the article. Resulted expression for determination of losses and powerfailure in the subsystems of електропривода taking into account duration of commutation of valves, pulsation of the straightened current in the circle of hauling engines and descriptions of valves of rectifying installation. The considered mathematical model can be used for research of factors which influence on an output-input ratio and power-factor, and also for the calculation of descriptions of active current of electric locomotives.

Ключові слова: ЕРС змінного струму, тяговий трансформатор, випрямна установка, кут комутації, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності, математична модель, моделювання.

© Дубравін Ю. Ф., 2013

Рішення задач оптимізації параметрів вузлів перетворювачів ЕРС та вибору раціональних режимів їх роботи пов'язане з оцінкою втрат електроенергії на тягу, визначенням коефіцієнта корисної дії (к.к.д.) та коефіцієнта потужності.

Існуючі методи дають можливість виконувати інженерні розрахунки та отримувати приблизну середньостатистичну оцінку витрат електроенергії. При цьому коефіцієнт ефективності випрямленого струму, що є функцією коефіцієнта пульсації струму, приймається як константа. Фіксоване значення має також коефіцієнт пульсації, який змінюється залежно від тягового струму. Не врахована також функціональна залежність падіння напруги на активному опорі обмотки трансформатора від тривалості комутації, що вносить неточності при визначенні випрямленої напруги перетворювача.

Суттєвий вплив на роботу і характеристики перетворювачів електровозів змінного струму з колекторними тяговими двигунами (ТЕД) має інтервал комутації, що характеризується кутом γ . Кут комутації вентилів перетворювачів, як відомо, є наслідком дії магнітних потоків розсіювання в обмотках тягового трансформатора (ТТ) та появи індуктивного опору x_a .

Індуктивний опір може бути визначений за допомогою реактивної складової напруги короткого замикання (КЗ), що приведена в паспортних даних ТТ у відсотках відносно номінальної напруги:

$$u_p = \frac{U_p}{U_{2н}} 100\%.$$

Реактивна складова напруги КЗ, виражена у вольтах:

$$U_p = x_a I_{2н}$$

де $I_{2н}$ — номінальний струм вторинної тягової обмотки ТТ.

В трансформаторі абсолютні значення активного і реактивного опорів первинної і вторинної обмоток зв'язані через квадрат коефіцієнта трансформації, тому приведений до вторинної обмотки активний опір:

$$r_m = \frac{r_1}{K_m^2} + r_2,$$

де K_m — коефіцієнт трансформації ТТ.

Приведений до вторинної обмотки реактивний опір обмоток трансформатора:

$$x_a = \frac{x_1}{K_T^2} + x_2$$

Залежність тривалості комутації діодів від реактивного опору обмоток:

$$\gamma_1 = \arccos \left(1 - \frac{2I_d x_a}{U_{2m}} \right),$$

де I_d — середній випрямлений струм.

Тривалість комутації керованих вентилів з урахуванням кута керування α :

$$\gamma_2 = \arccos \left(\cos \alpha - \frac{2I_d x_a}{U_{2m}} \right) - \alpha.$$

Комутаційні процеси приводять до збільшення фазового зсуву між струмом і напругою, що знижує коефіцієнт потужності випрямляча.

Зсув по фазі першої гармоніки струму відносно напруги в некерованих випрямлячах при умові, що комутація вентилів лінійна:

$$\varphi_1 = \frac{\gamma_1}{2}.$$

В керованих випрямлячах фазовий зсув додатково збільшується за рахунок кута керування:

$$\varphi_2 = \alpha + \frac{\gamma_2}{2}.$$

Коефіцієнт потужності при вказаному фазовому зсуві:

$$\chi = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos(\varphi_2).$$

Індуктивність згладжуючих реакторів ЕРС $L_d \neq \infty$, тому випрямлений струм пульсуючий і складається із постійної складової I_d та змінної $i_d(t)$, що має подвійну частоту відносно частоти мережі. У міжкомутаційну частину півперіоду миттєве значення випрямленої напруги при $r_m = 0$ складається із суми напруг на індуктивному опорі і е.р.с. ТЕД

$$u_d = U_{2m} \sin \omega t - E_d + L_d \frac{di_d}{dt}, \quad (1)$$

де E_d – е.р.с. ТЕД;

L_d – індуктивність згладжуючого реактора.

Е.р.с. самоіндукції $L_d \frac{di_d}{dt}$ протидіє зміні струму, тому екстремуми кривої струму $i_d(t)$ в межах півперіоду випрямленої напруги мають місце при $\frac{di_d}{dt} = 0$, тобто при $u_d = E_d$ (моменти $\omega t_1, \omega t_2$ на рис. 1).

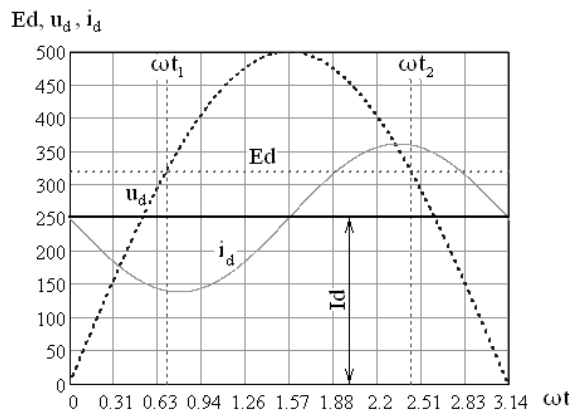


Рис. 1. Графіки випрямленої напруги та струму

Миттєве значення струму пульсації згідно з (1):

$$i_d(t) = \frac{1}{\omega L_d} \left[(-U_{2m} \cos \omega t_2 - E_d(\omega t_2 - \frac{\pi}{2})) \right] + I_d.$$

Пульсуючий струм має мінімальне значення в момент ωt_1 при $u_d = E_d$, тобто, при $U_{2m} \sin \omega t = E_d$, звідки:

$$\omega t_1 = \arcsin \frac{E_d}{U_{2m}}$$

В момент $\omega t_2 = \pi - \arcsin \frac{E_d}{U_{2m}}$ пульсуючий струм має максимальне значення, отже амплітуда пульсуючого струму:

$$I_{dm} = \frac{1}{\omega L_d} \left[(-U_{2m} \cos(\pi - \arcsin \frac{E_d}{U_{2m}}) - E_d(\pi - \arcsin \frac{E_d}{U_{2m}} - \frac{\pi}{2})) \right] + I_d.$$

Відносний коефіцієнт пульсації випрямленого струму являє собою відношення амплітуди пульсуючого струму до його середнього значення $K_{ns} = \frac{\Delta I_d}{I_d} = \frac{I_{dm} - I_d}{I_d}$.

Комутаційні процеси та пульсація струму суттєво впливають на рівень напруги в колі випрямленого струму. Зовнішня характеристика перетворювача, тобто залежність напруги, підведеної до ТЕД від їх навантаження:

$$U_d = U_{d0} - \Delta U_{\Sigma},$$

де $U_{d0} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2$ – середня випрямлена напруга неробочого ходу некерованого випрямляча;

ΔU_{Σ} – сумарні втрати та падіння напруги в колі ТЕД.

У випадку керованого симетричного випрямляча зовнішня характеристика перетворювача:

$$U_{d\alpha} = U_{d0\alpha} - \Delta U_{\Sigma},$$

де $U_{d0\alpha} = U_{d0} \cos \alpha$ – середня випрямлена напруга неробочого ходу.

Випрямно-інверторні перетворювачі (ВІП) сучасних вантажних електровозів забезпечують чотиризонне регулювання напруги на ТЕД. Вторинна обмотка кожного плеча ТТ, при цьому, складається із трьох секцій, з відношенням напруг 1:1:2, дві обмотки мають напругу по U_{21} , третя – $U_{22} = 2U_{21}$.

Завдяки подачі на окремі тиристори ВІП керуючих імпульсів з постійною фазою α_0 , що відповідає мінімальному куту відкриття, створюються нульові контури розрядки енергії кола випрямленого струму. Середня випрямлена напруга неробочого ходу, при регулюванні в межах зон, визначається формулами:

$$\text{Зона 1} - U_{1d0\alpha} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha);$$

$$\text{Зона 2} - U_{2d0\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{1d0\alpha} + \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (3 + \cos \alpha);$$

$$\text{Зона 3} - U_{3d0\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} 2U_{21} + \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (5 + \cos \alpha);$$

$$\text{Зона 4} - U_{4d0\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} 3U_{21} + \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (7 + \cos \alpha).$$

Сумарні втрати та падіння напруги:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_k + \Delta U_r + \Delta U_{\theta} + \Delta U_{zp},$$

де $\Delta U_k = \frac{2I_d x_a \xi}{\pi}$ – втрати випрямленої напруги за період комутації вентилів;

$\xi = 1 + 0,4K_{ne}$ – коефіцієнт, що враховує вплив пульсації струму;

ΔU_r – падіння напруги в приведеному активному опорі обмоток трансформатора;

ΔU_{θ} – падіння напруги у вентилях випрямної установки (ВУ);

ΔU_{zp} – падіння напруги в згладжуючому реакторі.

Під час комутації вентилів відбувається короткочасне коротке замикання вторинної обмотки ТТ, а випрямлений струм замикається в обхід вторинної обмотки. При цьому падіння випрямленої напруги в активному опорі трансформатора буде меншим у порівнянні з тим же падінням у випадку миттєвої комутації ($\gamma=0$), коли б струм в обмотці ТТ і навантажені були однакові.

Середнє значення падіння напруги в обмотках ТТ в міжкомутаційному інтервалі $\gamma \dots \pi$

$$\Delta U_r = \frac{1}{\pi} K_{efz} \int_{\gamma}^{\pi} r_T I_d d\omega t = \left(1 - \frac{\gamma}{\pi}\right) r_T I_d K_{efz},$$

де $K_{efz} = (1 + 0,1\gamma) \sqrt{1 + 0,5K_{no}}$ – коефіцієнт ефективності змінного струму вторинної обмотки ТТ.

Падіння напруги у вентилях ВУ характеризується рівнянням прямої гілки апроксимованої вольт-амперної характеристики вентиля:

$$\Delta U_{\theta} = U_0 + r_{\theta} I_{\theta} K_{ef\theta} K_{ef\theta},$$

де U_0 – порогова напруга вентиля;

r_{θ} – диференціальний опір вентиля;

I_{θ} – середній за період струм вентиля;

$K_{\text{ефв}} = \sqrt{1 + 0,13K_{\text{но}}^2}$ – коефіцієнт ефективності випрямленого струму, що враховує збільшення падіння напруги в активному опорі в зв'язку з пульсацією випрямленого струму.

При послідовно-паралельному з'єднанні вентилів ВУ маємо:

$$\Delta U_{\text{е}} = 2(U_0 + r_d \frac{I_d}{2n_{\text{np}}}) n_{\text{nc}},$$

де n_{np} , n_{nc} , – відповідно число паралельних та послідовних ланок вентилів у плечі ВУ.

Падіння напруги в згладжуючому реакторі:

$$\Delta U_{\text{зр}} = r_p I_d K_{\text{ефв}},$$

де r_p – активний опір обмотки згладжуючого реактора.

Сума втрат потужності в перетворювачі:

$$\Delta P = (1 - \frac{\gamma}{\pi}) r_T (I_d K_{\text{ефз}})^2 + \Delta U_{\text{е}} I_d + r_p (I_d K_{\text{ефв}})^2 + \Delta P_{\text{тр}},$$

де $\Delta P_{\text{тр}}$ – повні втрати потужності при напрузі контактної мережі 25 кВ.

К.к.д. перетворювача – відношення активної потужності на виході перетворювача до потужності, що споживається з мережі:

$$\eta = \frac{U_d I_d}{U_d I_d + \Delta P}$$

При відомій активній потужності, що передається первинною обмоткою ТТ у вторинну, можна визначити коефіцієнт потужності перетворювача із відношення активної потужності до повної потужності:

$$\chi = \frac{\Delta U_d I_d + \Delta P}{U_1 I_1}$$

де U_1, I_1 – діючі значення напруги та струму первинної обмотки ТТ, з урахуванням споживачів обмоток власних потреб.

Приведена математична модель тягового перетворювача, дає можливість моделювати складові втрат і падіння напруги в системах електропривода, досліджувати характер зміни втрат потужності при зміні навантаження, їх вплив на к.к.д. та коефіцієнт потужності електровоза.

Математична модель дає можливість підвищити точність розрахунку характеристик активного струму всіх серій електровозів змінного струму з колекторними ТЕД при виконанні тягових розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубровский З. М., Попов В. И., Тушканов Б. А. Грузовые электровозы переменного тока: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1998. – 503 с.
2. Преобразовательная техника. / Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 431 с.
3. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты.: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
4. Электронная и ионная техника. / Засорин С. Н. и др.; Изд. 2-е. – М.: Транспорт, 1973. – 440 с.

УДК 625. 031

Г. С. Пугачов

ВПЛИВ ВЗАЄМОДІЇ ЕКІПАЖІВ У КРИВІЙ НА УМОВИ ВПISУВАННЯ ВІЗКІВ

У статті на підставі відношень між геометричними параметрами екіпажів і силами тяги локомотива розглянуто питання про пов'язані з ними сили взаємодії при проходженні кривих, які впливають на умови вписування екіпажа в криву. Найвпливовішими у цьому питанні є візки другої секції локомотива, для якої подана розрахункова схема і приведені необхідні розрахункові співвідношення. У теоретичному плані стаття доповнює традиційну схему динамічного вписування візка в криву.

В статье на основе отношений между геометрическими параметрами экипажей и силами тяги локомотива рассмотрен вопрос о связанных с ними силах взаимодействия при прохождении кривых, которые влияют на условия вписывания экипажа в кривую. Наиболее влиятельными на этот счет являются тележки второй секции локомотива, для которой представлена расчетная схема и приведены необходимые расчетные соотношения. В теоретическом плане статья дополняет традиционную схему динамического вписывания тележки в кривую.

In the article on the basis of consideration of relations between the geometrical parameters of crews and tractive of locomotive forces a question is considered about the forces related to them of cooperation at passing of curves which influence on the terms of inscribing of crew in a curve. Most influential on that score there are light carts of the second section of locomotive, for which a calculation chart is presented and the resulted is needed calculation correlations. In a theoretical plan the article complements the traditional chart of the dynamic inscribing of light cart in a curve.

Ключові слова: екіпаж, секція локомотива, вписування в криву.

Постановка проблеми. Питання про взаємодію колісних пар локомотива з рейками колії в кривих належить до першорядних при визначенні максимальної швидкості рухання, яка, в свою чергу, визначається умовами невідокремлення колеса на рейку, стійкості рейок проти їх відриву і зсування. Розрахунок сил взаємодії коліс з рейками традиційно виконується на основі методу динамічного вписування візка в криву. Для цього використовується кінетостатична модель ізольованого візка, що знаходиться під дією активної відцентрової сили і реактивних сил з боку рейок, зокрема сил тертя і прямої сили. Проте, при проходженні екіпажів у складі потяга по кривих дільницях шляху між транспортними одиницями діють сили, напрям яких не співпадає з поздовжньою віссю екіпажа, тобто мають складові, поперечні до їх поздовжньої осі. Наявність таких складових впливає на положення візка в кривій і на розподіл сил взаємодії коліс візка з рейками. Дана стаття присвячена визначенню величини сил

© Пугачов Г. С., 2013

між колесами візка і рейками з урахуванням взаємодії між транспортними одиницями.

Основний матеріал. Розглянемо головну частину потяга з двома секціями локомотива і вагоном (рис.1). Кожна транспортна одиниця на схемі подана відрізком прямої, що являє собою довжину екіпажа по осях зчеплення ($2l_{зч}$). Контакт з кривою дільницею шляху забезпечують візки. На схемі точки контакту належать осі шляху і шкворневу перерізу екіпажа. Відстань між ними дорівнює базовій відстані ($2l_i$). Таким чином, потяг у плані являє собою ламану лінію відрізків, з'єднаних між собою у точках зчеплення, і зафіксованих своїми шкворневими перерізами на осьовій лінії колійного шляху (кривої).

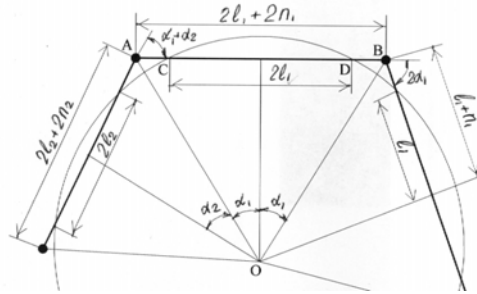


Рис. 1. Геометричні параметри ситуації з положенням екіпажів у кривій

Нескладні геометричні розрахунки дозволяють визначити, що кут між поздовжніми осями секцій локомотива дорівнює $2\alpha_1$, а кут між другою секцією локомотива і вагоном:

$$\alpha_1 + \alpha_2,$$

де α_1 і α_2 – кути між прямими, проведеними з центру кривої до середини осі екіпажа і до точки зчеплення. Відстань між точками перетину прямих з віссю екіпажа дорівнює:

$$l_{зч} = l_1 + n_1, \quad \text{де } n_1 - \text{довжина консолю екіпажа.}$$

Визначимо геометричні параметри схеми:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{l_{зч1}}{\rho} \approx \frac{l_{зч1}}{\rho} = \frac{l_1 + n_1}{\rho}, \quad (1)$$

де ρ – радіус кривої.

Подальші розрахунки будуть пов'язані з силами, що діють на раму другої секції (рис. 2). На цю секцію припадають найбільші поздовжні і, як наслідок, найбільші поперечні сили, що сприйматимуться візками секції.

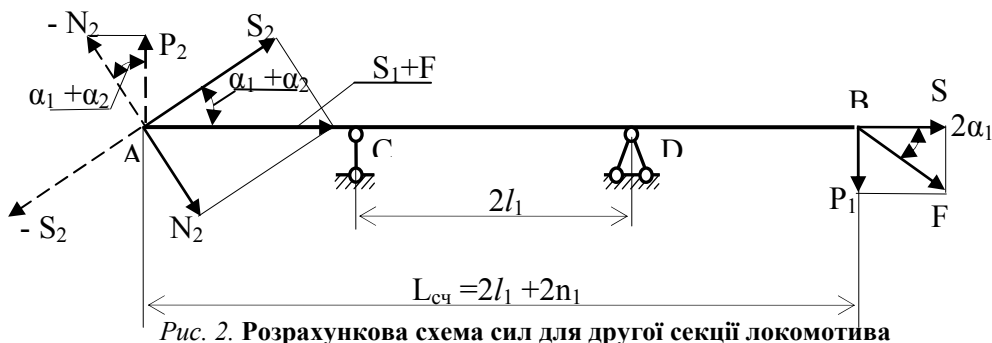


Рис. 2. Розрахункова схема сил для другої секції локомотива

Визначення сили тяги проводиться з використанням тягової характеристики конкретного двигуна. Можна скористатися більш загальним підходом, згідно з яким тягова характеристика двигуна забезпечує максимальне використання сили зчеплення

коліс з рейками. У такому разі максимальна сила тяги визначається залежно від швидкості руху і осьового навантаження [3]:

$$F_d = (0.28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V} - 0.0007 \cdot V) \cdot 2\Pi_{cm}, \quad (2)$$

де V – швидкість руху локомотива, км/год; $2\Pi_{cm}$ – осьове навантаження, кН.

Через вузол з'єднання з першою секцією (точка В) передається сила тяги:

$$F = 4F_d, \quad (3)$$

що спрямована вздовж осі першої секції. Складовими цієї сили в напрямку осі другої секції і перпендикуляр до цієї осі будуть сили:

$$S_1 = F \cdot \cos 2\alpha_1 \quad \text{і} \quad P_1 = F \cdot \sin 2\alpha_1 \quad (4, a; 4, b)$$

Через вузол з'єднання з першим вагоном потяга (точка А) передається сумарна сила тяги обох секцій. З урахуванням кута між ними сила становитиме:

$$F_2 = F + F \cdot \cos 2\alpha_1 = F \cdot (1 + \cos 2\alpha_1) \quad (5)$$

Складовими цієї сили в напрямку осі вагона і перпендикуляр до цієї осі будуть сили:

$$S_2 = F_2 \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2) \quad \text{і} \quad N_2 = F_2 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2). \quad (6)$$

Ці сили є складовими загальної сили, що через вузол зчеплення передається від обох секцій першому вагону потяга.

Переходячи до сил реактивних, зазначимо, що складова сили тяги S_2 при рівномірному руханні компенсується силами опору потяга, проте як поперечна складова N_2 має бути зрівноважена поперечними силами екіпажів (другої секції і вагона). Реактивна поперечна складова сила до N_2 (на рис.2 – сила N_2) є силою, яка прикладена у вузлі зчеплення від потяга до другої секції, а її проекція на перпендикуляр до поздовжньої осі секції становитиме:

$$P_2 = F_2 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) \cos(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (7)$$

Таким чином, розрахункова схема сил при взаємодії другої секції локомотива з потягом в кривій дільниці шляху при тязі може бути представлена класичною схемою балки на двох опорах з поперечними силами, прикладеними на її кінцях P_1 і P_2 . Точки спирання такої балки є шкворневими вузлами візків, а їх реакції стануть реакціями візків на сили взаємодії з сусідніми екіпажами. Відволікаючись від поздовжніх сил, визначимо вертикальні реакції в опорах (позитивний напрям реакцій – вверху, від центру кривої):

$$R_c = - \frac{P_1 \cdot n_1 + P_2 \cdot (2l_1 + n_1)}{2l_1}; \quad (8)$$

$$R_D = \frac{P_1 \cdot (2l_1 + n_1) + P_2 \cdot n_1}{2l_1}. \quad (9)$$

Підкреслимо, що знайдені сили реалізуються як реакції з боку шкворневих вузлів і тому дія від сусідніх екіпажів на шкворневий вузол візків матиме таку ж величину, але протилежний напрям, тобто сила R_c буде спрямована від центру кривої, і сила R_D – в протилежному напрямку.

Висновки. Розрахунки показують суттєвість розглянутого чинника при визначенні допустимої швидкості руху в кривих і важливість розглянутої теми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак и др.; Под ред. И. В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
2. Медель В. Б. Подвижной состав электрических железных дорог. Конструкция и динамика. – М.: Транспорт, 1974. – 423 с.
3. Механічна частина локомотивів. Методичні вказівки для курсового проекту із дисципліни «Конструкція і динаміка електрорухомого складу залізниць»: Ч. 1, 2. – К.: КУЕТТ, 2004. – 30 с.

УДК 625. 031

Г. С. Пугачов

ДИНАМІЧНЕ ВПISУВАННЯ ВІЗКА В КРИВУ З УРАХУВАННЯМ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ СУСІДНІМИ ЕКІПАЖАМИ

У статті на основі відношень між геометричними параметрами екіпажів і силами тяги локомотива сформульована система рівнянь, що описують процес динамічного вписування візка в криву з урахуванням взаємодії між екіпажами. Запропонована методика рішення системи рівнянь дозволила автору провести чисельні розрахунки для конкретних умов поставленої задачі. Результати наведеного прикладу підтверджують важливість розглянутого чинника при динамічному вписуванні візка в криву.

В статье на основе отношений между геометрическими параметрами экипажей и силами тяги локомотива сформулирована система уравнений, которые описывают процесс динамического вписывания тележки в кривую с учетом взаимодействия между экипажами. Предложенная методика решения системы уравнений позволила автору провести численные расчеты для конкретных условий поставленной задачи. Результаты приведенного примера подтверждают важность рассмотренного фактора при динамическом вписывании тележки в кривую.

In the article on the basis of relations between the geometrical parameters of crews and tractive of locomotive forces the formulated system of equalizations which describe the process of the dynamic inscribing of light cart in a curve taking into account cooperation between crews. The offered method of decision of the system of equalizations allowed an author to conduct numeral calculations for concrete put problem specifications. The results of the resulted example confirm importance of the considered factor at the dynamic writing of light cart into a curve.

Ключові слова: екіпаж, секція локомотива, вписування в криву.

Постановка проблеми. Питання про взаємодію колісних пар локомотива з рейками колії в кривих традиційно виконується в рамках кінетостатичної моделі вписування візка в криву, яка має назву динамічного вписування. Названа модель оперує тільки двома активними чинниками цього процесу, а саме, відцентровою силою і складовою сили тяжіння при піднесенні зовнішньої рейки. Ці сили і визначають положення візка в кривій і реактивні сили (сили тертя і напрямну силу) [1, 2, 3]. Проте, взаємодія між транспортними одиницями, а конкретно, між секціями локомотива і потягом, суттєво впливає на силові характеристики процесу. На основі аналітичного визначення сил, пов'язаних з взаємодією екіпажів і приведених в попередній роботі автора [4], в статті викладається система рівнянь для опису динамічного вписування візка і наводяться результати чисельного розрахунку при врахуванні вказаного чинника.

© Пугачов Г. С., 2013

Основний матеріал. Розглянемо кінетостатичну систему вписування візка в криву (Рис.1). Вона традиційно виходить з положення, що вектор швидкості пересування візка в кривій являє собою суму двох векторів: вектору поступового руху, пов'язаного з обертанням навколо центру кривої разом з радіусом, що проведено з центру кривої перпендикулярно до поздовжньої осі візка і вектору обертального руху навколо полюса обертання, що знаходиться на осі візка і є підставою для цього радіуса-перпендикуляра. В схемі традиційно задіяні активні сили, прикладені в центрі візка, в його шкворневому перерізі, і сили реактивні, до яких належать сили тертя коліс і рейок при обертанні довкола полюса і напрямна сила між рейкою і гребенем переднього колеса, що набігає на зовнішню рейку.

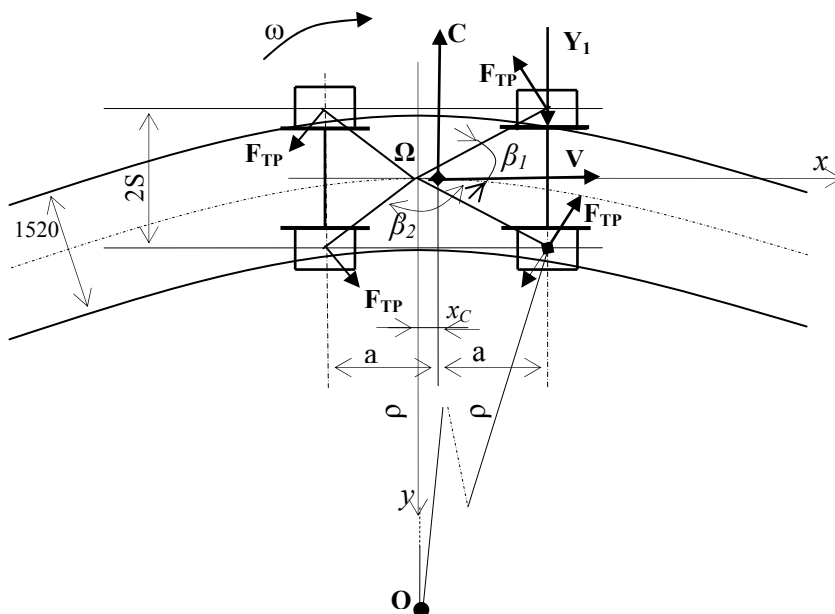


Рис. 1. Кінетостатична схема динамічного вписування візка в криву

Нетрадиційність зробленої постановки задачі динамічного вписування полягає в тому, що окрім сили відцентрової і складової сили ваги кузова, що пов'язана з піднесенням зовнішньої рейки, до складу активних сил внесена сила від взаємодії з сусідніми екіпажами.

Таким чином мова іде про загальну або приведену центральну силу, яка дорівнює:

$$C = C(V) - C(h) \pm P(V, l) , \quad (1)$$

де $C(V)$ – відцентрова сила, яка визначається формулою, що залежить від швидкості руху V , маси кузова, віднесеної до візка m і радіусу кривої ρ :

$$C(V) = m \cdot V^2 / \rho ;$$

$C(h)$ – складова сили ваги кузова, що залежить від висоти піднесення рейки h

$$C(h) = m \cdot g \cdot h / 2S,$$

тут $2S$ – відстань між колами кочення коліс ($2S = 1,58m$),

g – прискорення сили земного тяжіння ($g = 9.8m/c^2$);

$P(V, l)$ – сила, прикладена до візка унаслідок взаємодії сусідніх екіпажів у кривій.

Визначенню величини цієї сили присвячена стаття [4], згідно з якою, до другого візка другої секції локомотива сила визначається формулою:

$$P(V, l) = \frac{P_1 \cdot n_1 + P_2 \cdot (2l_1 + n_1)}{2l_1}, \quad (2)$$

де l_1 і n_1 – параметри кузова секції локомотива, а саме, довжина напівбази і довжина консолі, відповідно;

P_1 і P_2 – поперечні складові сил, прикладених у вузлах автозчеплення з боку сусідніх екіпажем, для визначення яких пропонувані формули:

$$P_1 = F \cdot \sin 2\alpha_1; \quad (3)$$

$$P_2 = F_2 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2), \quad (4)$$

$$\text{де} \quad \alpha_1 \approx \frac{l_1 + n_1}{\rho}; \quad \alpha_2 \approx \frac{l_2 + n_2}{\rho}, \quad (5, a; 5, b)$$

тут l_2 і n_2 – параметри кузова вагона, а саме, довжина напівбази і довжина консолі, відповідно;

F – сила тягових двигунів першої секції, яка визначається тяговими характеристиками вживаних двигунів і для секції становитиме:

$$F = 4 \cdot F_D^{TX} \quad (6, a)$$

При визначенні максимальної сили тяги з умови максимальної сили зчеплення коліс з рейками в даній статті будемо користуватися залежністю [3]:

$$F = 4 \cdot F_D = 4 \cdot (0.28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V} - 0.0007 \cdot V) \cdot 2P_{CT}, \quad (6, b)$$

де V – швидкість руху локомотива, км/год;

$2P_{CT}$ – осьове навантаження, кН;

F_2 – сила тяги від двох секцій, прикладена до вузла зчеплення з вагоном.

У свою чергу

$$F_2 = F \cdot (1 + \cos 2\alpha_1) \quad (7)$$

Таким чином, приведені відношення свідчать, що сила взаємодії між екіпажами, яка викладає додаткове навантаження на шкворневий вузол візка, залежить від двох чинників, а саме, від швидкості рухання і від конструктивних параметрів екіпажів.

Повертаючись до схеми вписування візка в криву (рис. 1), зазначимо, що дія сил розглядається у єдиній горизонтальній площині. Діючі сили, крім раніше визначеної центральної сили C , такі:

сила Y_l , що примушує візок рухатися в колії унаслідок взаємодії між гребнем передньої колісної пари і зовнішньої рейкою. Ця, так звана напрямна сила, перпендикулярна до поздовжньої осі візка, тобто паралельно осі «у»;

сили тертя ковзання у точках контакту коліс з рейками (F_{TP}). Величина сил тертя однакова для всіх коліс і визначається як добуток множення коефіцієнта тертя на статичне навантаження колеса. Сили тертя спрямовані перпендикулярно до радіуса-вектора, проведеного з полюса Ω в точку контакту відповідного колеса з рейкою і мають напрям, протилежний до напрямку ковзання колеса.

Для наведеної на схемі системи сил складемо два рівняння статички: суму проєкцій діючих сил на вісь «у» і суму моментів сил довкола центра обертання Ω .

$$\Sigma u = Y_l - C - f \cdot 2P_{CT} \cdot \cos \beta_1 \pm f \cdot 2P_{CT} \cdot \cos \beta_2 = 0; \quad (8)$$

$$\Sigma M_{\Omega} = Y_l \cdot (a + x_c) - C \cdot x_c - f \cdot 2P_{CT} \cdot \sqrt{S^2 + (a + x_c)^2} - f \cdot 2P_{CT} \cdot \sqrt{S^2 + (a - x_c)^2} = 0,$$

де f – коефіцієнт тертя між колесом і рейкою при ковзанні, $f = 0,25$;

$f \cdot P_{CT} \cdot \cos \alpha_i$ – проєкція сили тертя одного колеса на вісь u ;

x_c – відстань полюса повороту від центра візка, м;

a – половина бази візка, м;

S – половина розрахункової відстані між колами кочення коліс.

Для визначення тригонометричних функцій $\cos \alpha_1$ і $\cos \alpha_2$ використовують формули, що випливають з геометричних міркувань щодо положення точок контакту коліс відносно горизонтальної осі «х»:

$$\cos \alpha_1 = \frac{a + x_c}{\sqrt{(a + x_c)^2 + S^2}}; \quad (9)$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{x_c - a}{\sqrt{(x_c - a)^2 + S^2}}. \quad (10)$$

Незалежною величиною системи рівнянь (8) є швидкість V , яка і визначає дві інші змінні величини системи: координату положення полюса X_c і напрямну силу Y_l .

Але безпосереднє аналітичне визначення величин X_c і Y_l для системи (8) при заданому значенні швидкості V не є можливим. Тому існуюча практика рішення системи рівнянь пропонує розрахункову процедуру, при якій для ряду наперед заданих значень X_c на підставі рівнянь системи визначають відповідні значення напрямної сили Y_l і швидкості V .

Діючи в межах методики розрахунків, по-перше, були знайдені величини загальної поперечної сили C (1), що прикладена до візка в шкворневому перерізі. Надалі треба було визначити належне значення швидкості руху V , що само по собі виявилось непростотою процедурою, пов'язаною з рішенням кубічного рівняння відносно швидкості V . Але головне полягає в тому, що система не має прийняттого рішення. Це свідчить про некоректність поставленої задачі.

Справа, на нашу думку, полягає в значності поперечної сили, яка притискає обидва гребеня візка до зовнішньої рейки. Згідно з цим твердженням, класична система розподілу вектора швидкості набула нової постановки, а саме: горизонтальна вісь поступового переміщення проходить через точки контакту гребенів з зовнішньою рейкою, а полюс обертання візка знаходиться в точці контакту другого колеса з зовнішньою рейкою (Ω). Така схема наведена на рис. 2.

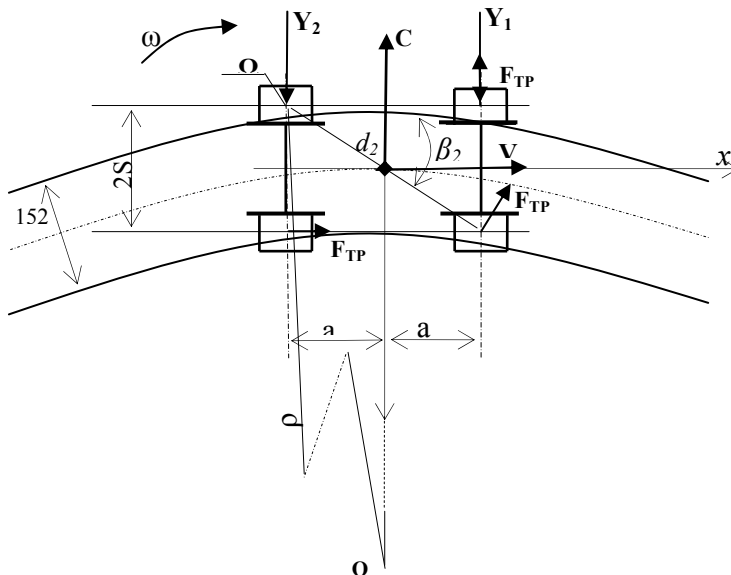


Рис. 2. Схема вписування візка локомотива у складі потяга

Строго кажучи, радіус, проведений в точку контакту другого колеса з зовнішньою рейкою, не перпендикулярний до поздовжньої осі візка і тому вектор переносної швидкості не буде строго горизонтальним. Так, для кривої з радіусом 400 м при базі візка 3 м, це відхилення становитиме близько 0,2. Враховуючи незначність відхилення і нехтуючи поперечними складовими сил при поступальному русі, будемо вважати точку Ω за центр обертання.

Наступне нововведення до запропонованої схеми полягає у визначенні осьової сили, прикладеної в точці Ω . Воно виходить з міркувань, що призначенням цієї сили є переміщення осі колісної пари в поперечному напрямку, а її величина буде дорівнювати силі тертя, тобто:

$$Y_2 = f \cdot 2\Pi_{cm} \quad (11)$$

В такому разі, система рівнянь має вид:

$$\begin{aligned} \Sigma y &= Y_1 - C - f \cdot \Pi_{CT} \cdot (1 + \cos \beta_2) + Y_2 = 0; \\ \Sigma M_{\Omega} &= Y_1 \cdot 2a - C \cdot a - f \cdot \Pi_{CT} \cdot (2a + d_2 + 2S) = 0, \end{aligned} \quad (12)$$

Рішення системи проводиться для наперед заданої величини швидкості руху локомотива (V). З використанням значення швидкості розраховують складові рівняння (1), а саме, $C(V)$ і $P(V, l)$. Вираз для першої було приведено вище, а для другої після перетворень, була отримана така формула:

$$P(V, l) = A \cdot B,$$

де

$$A = 0.28 + \frac{3}{50 + 72 \cdot V} - 0.00252 \cdot V \quad (13)$$

$$B = 4 \cdot 2\Pi_{CT} \cdot \left(\frac{n_1}{2l_1} \cdot \sin 2\alpha_1 + \left(1 + \frac{n_1}{2l_1}\right) \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot (1 + \cos 2\alpha_1) \right) \quad (14)$$

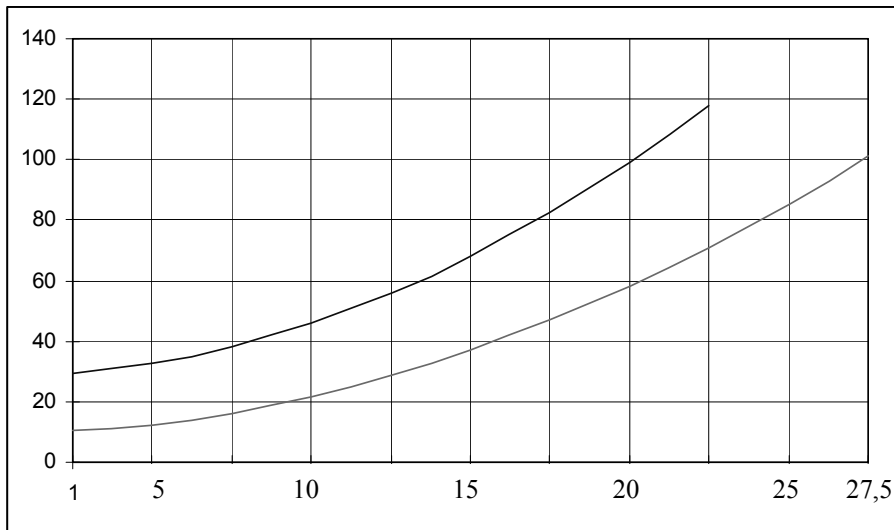


Рис. 3. Графік залежності напрямної сили $Y_1(V)$ для другого візка другої секції локомотива ВЛ80р від швидкості руху в складі потяга:

розміри електровоза $l_1 = 3,75$ м; $n_1 = 4,5$ м; вагона – $l_2 = 3,75$ м; $n_2 = 4,5$ м; піднесення зовнішньої рейки $h = 0,1$ м; радіус кривої $\rho = 275$ м (верхня крива), $\rho = 400$ м (нижня)

При визначенні величин $C(V)$ і A розмірність швидкості – м/с.

Надалі система рівнянь вирішується відносно Y_1 і Y_2 методом підстановки, а на підставі рішень були побудовані графіки (рис. 3), що демонструють значну залежність спрямовної сили від радіуса кривої. Так, спрямовна сила величиною 90 кН при радіусі 400 м має місце при швидкості руху 26,5 м/с, а для радіуса 275 м – лише при швидкості 18,5 м/с.

Висновки

1. Математично обґрунтована необхідність принципово іншої розрахункової схеми динамічного вписування візки, відмінної від традиційної, для ситуації, що враховує взаємодію локомотива з потягом.

2. Сформульовані основні положення, що були покладені в основу запропонованої розрахункової схеми.

3. Складена система математичних відношень між діючими на візок силами, включаючи сили взаємодії з рейками, з сусідніми екіпажами і з роботою власних тягових двигунів, що дозволяє проводити чисельні розрахунки.

4. Приведені розрахунки напрямних сил залежно від швидкості руху мають значний практичний інтерес і можуть бути використані при розробці рекомендацій щодо зменшення зношування гребенів і рейок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак и др.; Под ред. И. В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
2. Медель В. Б. Подвижной состав электрических железных дорог. Конструкция и динамика. – М.: Транспорт, 1974. – 423 с.
3. Механічна частина локомотивів. Методичні вказівки для курсового проекту із дисципліни «Конструкція і динаміка електрорухомого складу залізниць»: Ч. 1, 2. – К.: КУЕТТ, 2004. – 30 с.
4. Пугачов Г. С. Вплив взаємодії екіпажів у кривій на умови вписування візків. //Зб. наук. праць ДЕТУТ. – К: ДЕТУТ, 2013.

УДК 539.4

В. В. Косарчук
О. В. Азарков
В.О. Катерищук
О. Ю. Рафальський

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ
ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОСТІ В УМОВАХ НЕПРОПОРЦІЙНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ**

Розглянуто результати експериментальної перевірки визначальних співвідношень моделі пружно-пластичного деформування циклічно нестабільних матеріалів в умовах складного (непропорційного) статичного і циклічного навантаження. Перевірка передбачала визначення спроможності моделі описати механічну поведінку початково ізотропних циклічно стабільних та циклічно нестабільних матеріалів за умов навантаження осьовою силою і крутним моментом.

Рассмотрены результаты экспериментальной проверки определяющих соотношений модели упругопластического деформирования циклически нестабильных материалов в условиях сложного (непропорционального) статического и циклического нагружения. Проверка заключалась в определении способности модели описать механическое поведение начально-изотропных циклически стабильных и циклически нестабильных материалов в условиях нагружения осевой силой и крутящим моментом.

The results of experimental verification of the defining relations for the model of elastic-plastic deformation of cyclic non-stable materials under the complex (disproportional) static and cyclic loading are considered. The verification dealt with the determination of the ability of the model to describe the mechanical behavior of the initially isotropic cyclically stable and unstable materials under loading with axial force and torque.

Ключові слова: структурна модель середовища, пружно-пластичні деформації, циклічне навантаження, складний напружений стан.

В роботах [1, 2] запропоновані визначальні співвідношення структурної моделі пружнопластичного середовища, запропоновано систему базових експериментів, а також виконано ідентифікацію параметрів моделі пружно-пластичного деформування за результатами базових експериментів. В роботі [3] представлено результати

© Косарчук В. В., Азарков О. В., Катерищук В. О., Рафальський О. Ю., 2013

перевірки визначальних співвідношень в умовах простого циклічного навантаження. В даній статті розглянемо результати перевірки визначальних співвідношень моделі пружно-пластичного деформування в умовах складного навантаження.

При складному (непропорційному) циклічному навантаженні механічна поведінка матеріалу визначається як кінетикою циклічного зміцнення (або знеміцнення), так і ефектами запізнювання його тензорних і скалярних властивостей [4].

Ефекти непропорційного навантаження, що проявляються в запізненні тензорних та скалярних властивостей матеріалу, спостерігаються вже на найпростіших траєкторіях деформування у вигляді дволанкових ламаних [5, 6 – 9]. У зв'язку із цим об'єктом моделювання було обрано механічну поведінку сталі 45 на дволанкових траєкторіях деформації [9]. Дослідження проводились на трубчастих зразках в умовах навантаження осьовою силою та внутрішнім тиском. Значення кута θ_0 між

напрямами першої й другої ланок у площині деформацій $\varepsilon_{xx} - \frac{2}{\sqrt{3}}\varepsilon_{\theta\theta}$ змінювалося в

межах від 90° до 180° . Перша ланка траєкторії деформування для всіх зразків була однаковою – зразок розтягувався до значення осьової деформації $\varepsilon_{xx} = 1,2\%$, далі відбувалася витримка при $\varepsilon_{xx} = 1,2\%$ протягом 200 с (для того, щоб пройшла релаксація миттєвих напружень), після чого здійснювалося деформування по другій прямолінійній ланці траєкторії [9].

При моделюванні векторних властивостей сталі 45 досліджувалися образи процесів навантаження та деформування в сполучених площинах S_1S_3 і $\mathcal{E}_1\mathcal{E}_3$ п'яти-вимірних просторів Ільюшина для напружень $S_{(5)}$ і повних деформацій $\mathcal{E}_{(5)}$ (рис. 1) [4]. Крім запропонованої структурної моделі циклічно нестабільних матеріалів дослідній перевірці підлягали також різні варіанти теорії пластичності, а саме: теорії пластичної текучості з ізотропним, кінематичним та ізотропно-кінематичним зміцненням, а також структурні моделі середовища з ідеально пластичними та лінійно зміцнюваними піделементами. Про адекватність вказаних моделей експерименту можна судити за величиною кута φ між розрахованим і експериментальним векторами напружень.

За рис. 1 у момент зміни напрямку вектора довантаження (у точці зламу траєкторії деформування) для всіх типів визначальних співвідношень теорії пластичності кут φ настільки малий, що його величиною можна знехтувати. Однак, по мірі віддалення точки, що зображує напружений стан, від точки зламу траєкторії деформування простежується чітка тенденція до збільшення вказаного кута, тобто до росту неузгодженості експериментального й розрахункового векторів напружень. Швидше за інших повертається вектор напружень, який був розрахований за теорією текучості з ізотропною моделлю зміцнення. Це вказує на те, що така модель навіть якісно не може описати вказані процеси деформування. Дещо кращі результати отримані при використанні співвідношень структурних моделей з лінійно зміцнюваними та ідеально пластичними піделементами. Те, що вказані моделі дають близькі результати, пояснюється тим, що внесок циклічної складової зміцнення на дволанкових траєкторіях настільки малий, що ним можна знехтувати. Вектори напружень, що відповідають розрахункам за цими двома моделями, задовільно описують еволюцію експериментального вектора напружень.

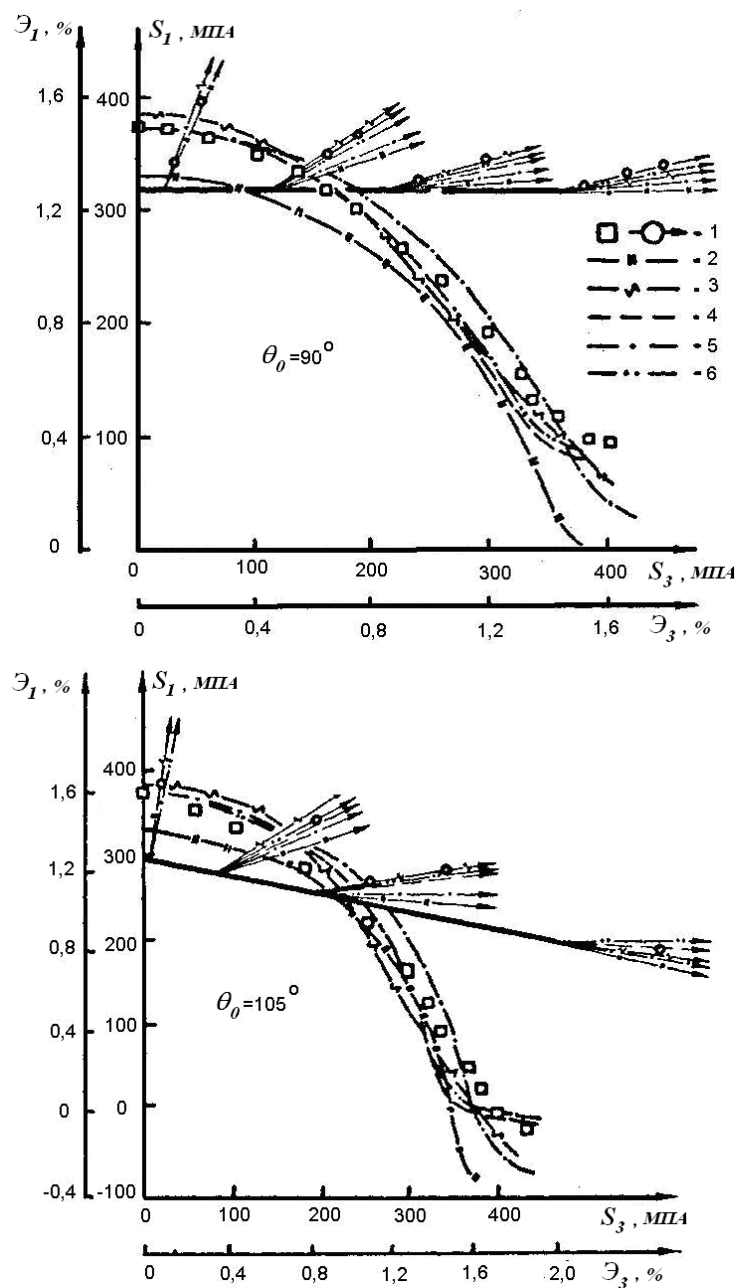


Рис. 1. Образи процесів у просторах напружень і деформацій:
 1 – експеримент (сталь 45); 2, 3 – теорії текучості з ізотропним та кінематичним зміцненням; 4, 5 – структурні моделі з ідеально пластичними та лінійно зміцнюваними піделементами; 6 – запропонована структурна модель

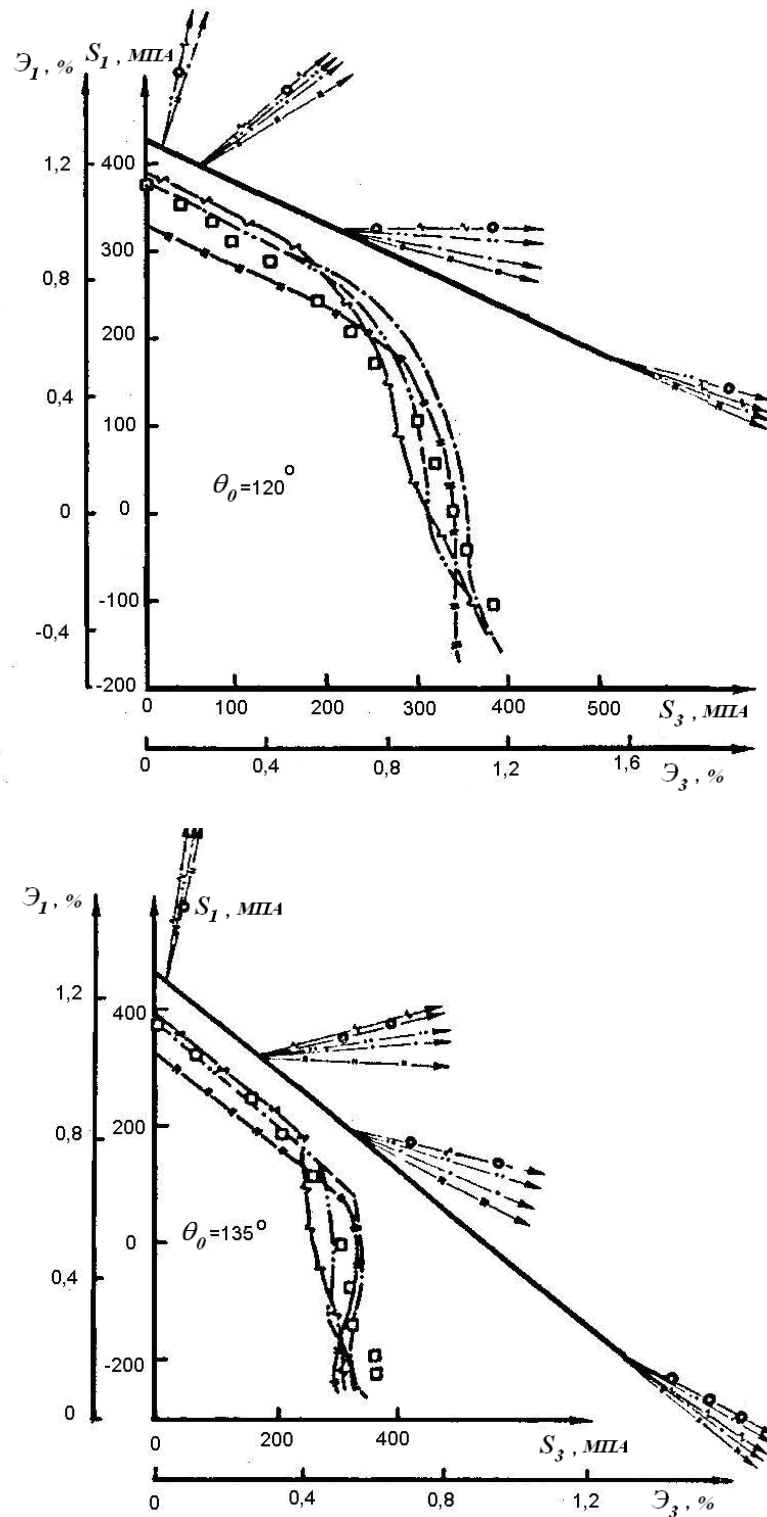


Рис. 1. Образи процесів в просторах напружень і деформацій (продовження)

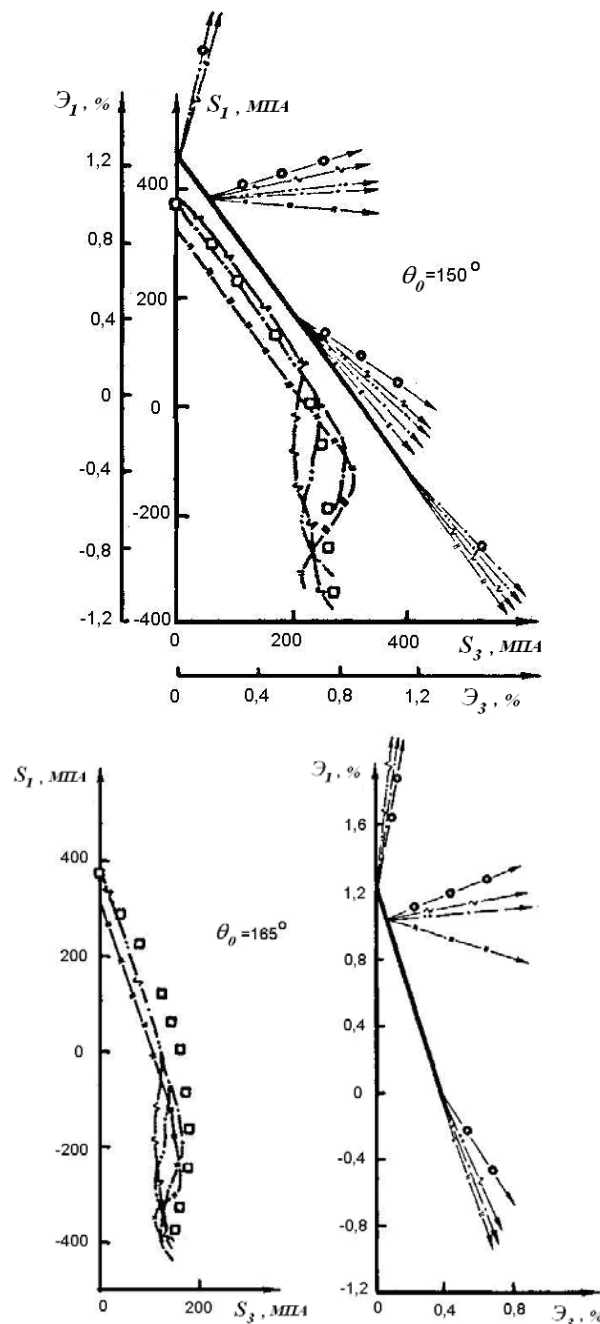


Рис. 1. Образи процесів в просторах напружень і деформацій
(продовження)

для кутів зламу траєкторії деформування, які не перевищують $\theta_0 \leq 135^\circ$. При більших значеннях кута зламу θ_0 похибка апроксимації значно зростає (рис. 1).

Найкращі результати моделювання були отримані при використанні визначальних співвідношень теорії текучості з ізотропно-кінематичним зміцненням, а також для запропонованої структурної моделі. Але й для цих моделей при кутах зламу $\theta_0 > 135^\circ$ точність розрахунку дещо падає (рис. 1). Зауважимо, що розглянутий

варіант теорії текучості з ізотропно-кінематичним зміцненням використовується у досить поширеному пакеті прикладних програм для розрахунку напружено-деформованого стану елементів конструкцій методом скінченних елементів ANSYS.

Відзначимо цікавий результат. Хоча для всіх досліджених моделей константи матеріалу визначалися з результатів експериментів на пропорційне навантаження, для більшості визначальних співвідношень виявлена задовільна якісна й кількісна відповідність між розрахунковими й експериментальними результатами на непропорційних траєкторіях деформування.

Для аналізу можливості опису вищевказаними моделями ефектів запізнювання скалярних властивостей матеріалу на рис. 2 подані експериментальні (сталь 45 [9]) та розрахункові залежності приведеної інтенсивності напружень

$$\sigma_i^* = \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{(S_1 - S_1^0)^2 + S_3^2} \quad \text{від} \quad \text{приведеної інтенсивності деформацій}$$

$$\varepsilon_i^* = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_1^0)^2 + \mathcal{E}_3^2} \quad \text{для другої ланки траєкторії деформування, де } \mathcal{E}_1^0, S_1^0 -$$

єдині ненульові компоненти векторів деформацій і напружень у кінці першої ланки траєкторії деформування.

З наведеного рисунка видно, що найбільш адекватними експерименту можна вважати співвідношення теорії текучості з ізотропно-кінематичним зміцненням та запропонованої структурної моделі циклічно нестабільних матеріалів. Найбільші розбіжності з експериментом при описанні ефектів скалярного запізнювання механічних властивостей сталі 45 на дволанкових траєкторіях деформації виявлено в розрахунках за теорією текучості з ізотропним зміцненням та структурною моделлю з лінійно зміцнюваними піделементами.

Нагадаємо, що теорія пластичної текучості з ізотропним зміцненням є до теперішнього часу найвживанішою при розрахунках напружено-деформованого стану конструкцій.

При складному циклічному навантаженні (тобто непропорційному циклічному навантаженні) механічна поведінка конструкційних матеріалів визначається як ефектами запізнювання векторних та скалярних властивостей матеріалів, так і особливостями їх поведінки при циклічному навантаженні [10, 11].

У роботі [12] наведені експериментальні дані дослідження механічної поведінки тонкостінних трубчастих зразків із сталі 20 при складному циклічному навантаженні, схема якого показана на рис. 3. Зразки спочатку розтягувались до величини деформації $\mathcal{E}_{cm} = \sqrt{\frac{2}{3}} \mathcal{E}_1$, а надалі піддавалися циклічному крученню з постійною

амплітудою $\mathcal{E}_{цк} = \sqrt{\frac{2}{3}} |\mathcal{E}_3^{(+)(-)}|$. Досліди проводили при кількох значеннях $\mathcal{E}_{cm}$ та $\mathcal{E}_{цк}$.

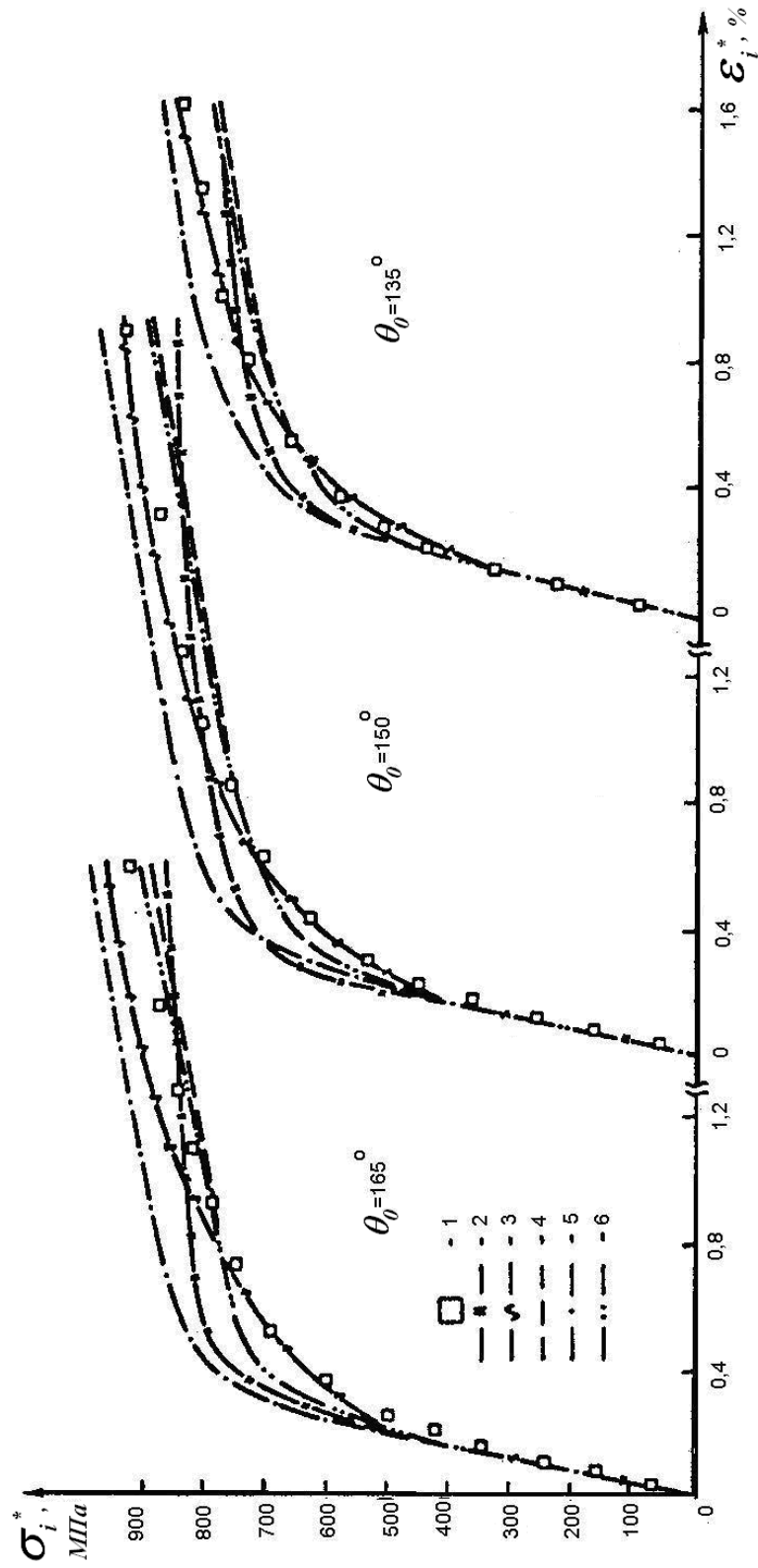


Рис. 2. Залежність приведеної інтенсивності напружень від приведеної інтенсивності деформацій для другої ланки траєкторії деформування. Позначення наведені на рис. 1

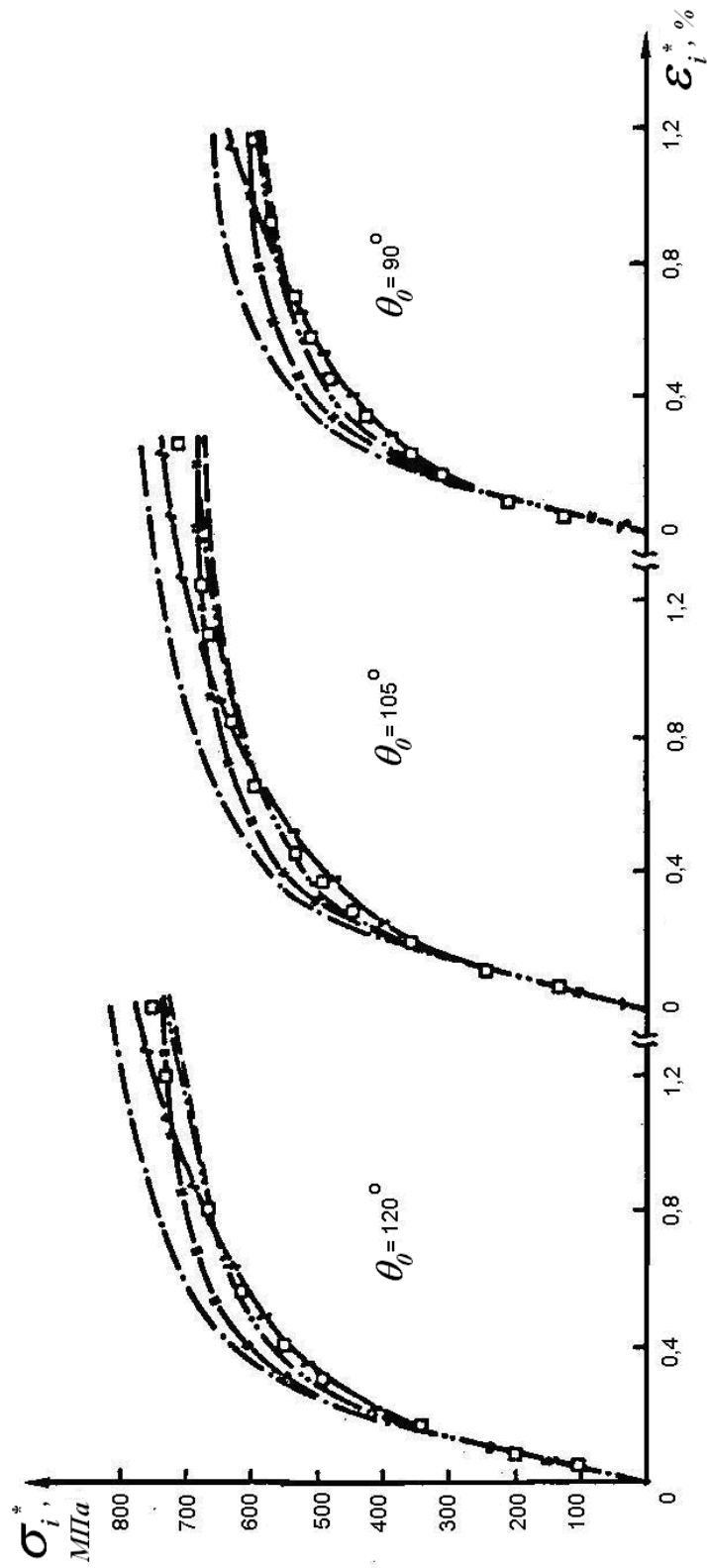


Рис. 2. Залежність приведеної інтенсивності напружень від приведеної інтенсивності деформацій для другої ланки траєкторії деформування. Позначення наведені на рис. 1 (продовження)

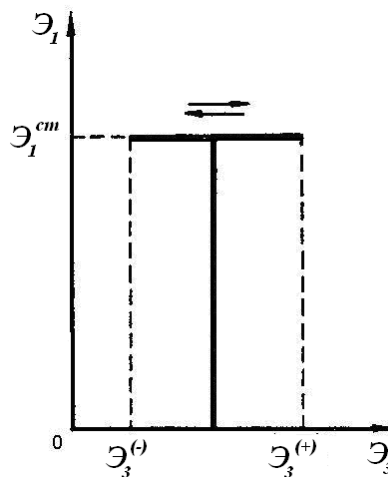


Рис. 3. Схема складного циклічного деформування

Співставлення отриманих в експериментах значень довжин векторів циклічної складової напружень $S_{\text{цк}} = \sqrt{\frac{3}{2}} |S_3^{(+)(-)}|$ й статичної складової деформації $\mathfrak{E}_{cm}$ (рис. 4) дозволило виявити їх незалежність одне від одного.

Результати розрахунків за визначальними співвідношеннями структурних моделей з різними типами піделементів та теорії текучості з ізотропно-кінематичним зміцненням виявили належну якісну й кількісну відповідність експериментальним даним тільки для запропонованої структурної моделі (відхилення розрахункових і експериментальних кривих не перевищувало за напруженнями 5 МПа).

Характерна для структурної моделі з лінійно зміцнюваними піделементами залежність інтенсивності зміцнення від накопиченої інтенсивності приросту пластичної деформації при якісно вірному відображенні характеру залежності $S_{\text{цк}} = S_{\text{цк}}(\mathfrak{E}_{cm})$ визначила завищені (в 2 рази при $\mathfrak{E}_{\text{цк}} = 0,69\%$) значення циклічної складової напруження (рис. 4). Слід зазначити, що дана модель навіть якісно не описує ефект стабілізації циклічних властивостей матеріалу.

При порівнянні розрахункових і експериментальних залежностей $S_{cm} = S_{cm}(\mathfrak{E}_{cm})$ (рис. 5), де $S_{cm} = \sqrt{\frac{3}{2}} |S_3^{(+)(-)}|$, що відповідають стаціонарному циклу за складного циклічного деформування, встановлено, що теорія текучості з нелінійним і ізотропно-кінематичним зміцненням дає занижені (в 2,2 рази) значення статичної складової напруження S_{cm} .

Інші типи досліджуваних визначальних співвідношень задовільно описують вказану залежність лише при малих значеннях статичної складової деформації. При збільшенні $\mathfrak{E}_{cm}$ відхилення розрахункових і експериментальних значень S_{cm} для цих моделей сягає 30 МПа.

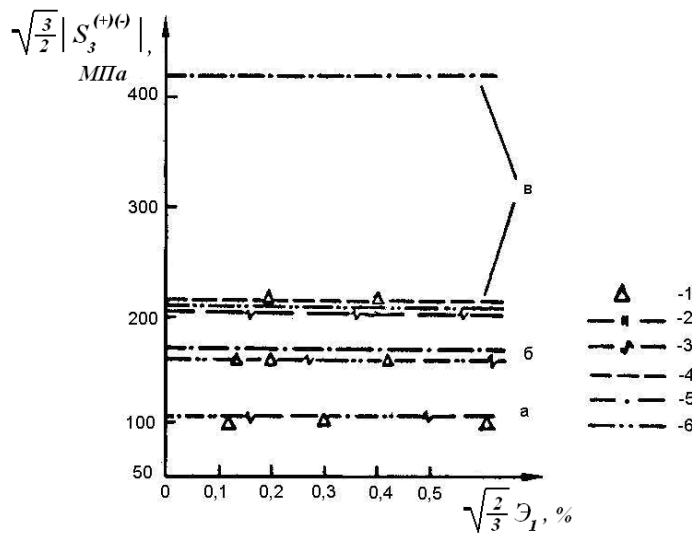


Рис. 4. Зв'язок циклічної складової напруження зі статичною складовою деформації в стаціонарному циклічному стані

(а – $\mathcal{E}_{\text{цк}} = 0,058\%$, б – $\mathcal{E}_{\text{цк}} = 0,115\%$, в – $\mathcal{E}_{\text{цк}} = 0,69\%$): 1 – експеримент (сталь 20); 2, 3 – теорії текучості з ізотропним та кінематичним зміцненням; 4, 5 – структурні моделі з ідеально пластичними та лінійно зміцнюваними піделементами; 6 – запропонована структурна модель

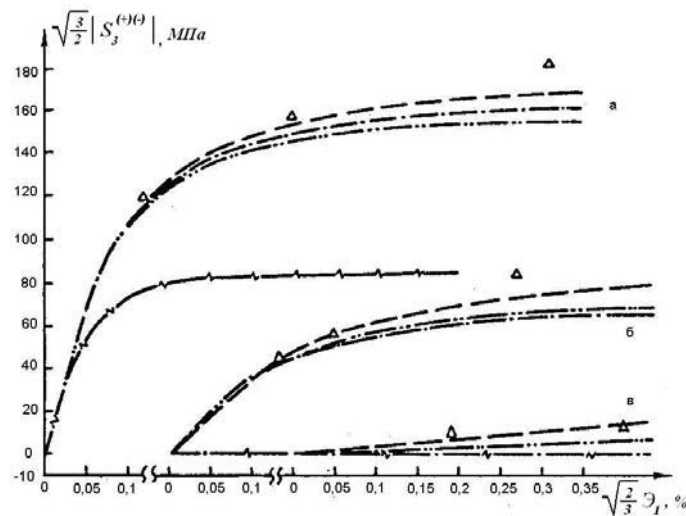


Рис. 5. Зв'язок статичних складових напружень і деформацій в стаціонарному циклічному стані (позначення відповідають рис. 4). Матеріал – сталь 20

Отже, як бачимо, запропонована авторами у попередніх роботах модель пружно-пластичного деформування циклічно нестабільних матеріалів дозволяє досить точно описати поведінку матеріалів, що розглядаються не лише в умовах простого, а й в умовах складного навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Косарчук В. В. Моделювання циклічної нестабільності матеріалів при пружнопластичному деформуванні / Косарчук В. В., Агарков О. В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – 16. – С. 124 – 133.
2. Косарчук В. В. Ідентифікація параметрів моделі пружно-пластичного деформування за результатами базових експериментів / Косарчук В. В., Агарков О. В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – 17. – С. 159 – 165.
3. Косарчук В. В. Експериментальна перевірка визначальних співвідношень структурної моделі пружно-пластичного середовища в умовах простого циклічного навантаження / Косарчук В. В., Агарков О. В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2013. – 22. – С. 159 – 165.
4. Ильющин А. А. Пластичность. Основы общей математической теории / Ильющин А. А. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 272 с.
5. Косарчук В. В. Упругопластическое деформирование начально анизотропных конструкционных материалов при простом и сложном нагружении.: дисс... на соискание ученой степени д. т. н.: спец. 01.02.04 «Механика деформированного твердого тела» / Косарчук Валерий Владимирович. – Киев. – 1995. – 320 с.
6. Васин Р. А. Некоторые вопросы связи напряжений и деформаций при сложном нагружении / Васин Р. А. // Упругость и неупругость. – 1971. – Вып. 1. – С. 59 – 126.
7. Охаси И. Некоторые экспериментальные данные об общем законе пластичности Ильющина / И. Охаси, М. Токуда, И. Курита, Т. Сузуки // Изв. АН СССР. Сер. Механика твердого тела. – 1981. – № 6. – С. 53 – 64.
8. Шишмарев О. А. Образ процесса нагружения для двузвенных ломаных траекторий с углом излома более 90° / Шишмарев О. А., Щербо А. Г. // Изв. АН СССР. Сер. Механика твердого тела. – 1982. – № 5. – С. 185 – 189.
9. Вавакин А. С. Упругопластическое поведение стали 45 на двузвенных траекториях деформации / А. С. Вавакин, В. В. Викторов, Р. М. Кулиев, Л. П. Степанов // М.: Ин-т механики АН СССР. – 1987. – 15 с.
10. Махутов А. Н. Уравнения состояния при малоцикловом нагружении / [А. Н. Махутов, М. М. Гаденин, Д. А. Гохфельд и др.]. – М.: Наука, 1981. – 244 с.
11. Охаси И. Пластическое деформирование нержавеющей стали типа 316 под действием несинфазных циклов по деформации / Охаси И., Танака Е., Оока М. // Теорет. основы инж. расчетов: Тр. Америк. общ-ва инж.-мех. – 1985. – № 4. – С. 61 – 73.
12. Апайчев М. В. Реологические свойства конструкционных материалов при непропорциональном повторно-переменном нагружении и их математическое описание: дисс. на соискание ученой степени к. т. н. – Челябинск, 1986. – 230 с.

УДК 929:51(091)

М. М. Крюков

Т. С. Клецька

ДО ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ І СТАНОВЛЕННЯ ТЕОРІЇ НЕСКІНЧЕННИХ ЧИСЛОВИХ РЯДІВ

Розглядаються деякі історичні аспекти формування теорії нескінченних числових рядів.

Рассматриваются некоторые исторические аспекты становления теории бесконечных числовых рядов.

We consider some historical aspects of the theory of infinite numerical series.

Ключові слова: числові ряди, збіжність, ознаки збіжності.

Історія математики завжди цікавила дослідників. Існує велика кількість робіт, які розглядають її в цілому з точки зору наукознавства, але чимало праць присвячено і окремим її розділам. В першу чергу серед них треба відзначити декілька фундаментальних робіт [1 – 3, 5 – 8, 10, 12, 13]. Незважаючи на довгу і плідну історію досліджень, іноді буває дуже важко відокремити певні питання для отримання більш докладної та цілісної картини. Теорія нескінчених числових рядів є дуже цікавим розділом математики, який має численні практичні застосування.

В цій роботі зроблена спроба розглянути один з аспектів історії розвитку теорії збіжності нескінченних додатних числових рядів.

Будь яку границю послідовності $S = \lim_{n \rightarrow \infty} s_n$ можна представити у вигляді нескінченного ряду. Для цього достатньо покласти $s_n = s_{n-1} + a_n$ при $n > 1$ і $s_1 = a_1$. Тоді $s_n = a_1 + a_2 + \dots + a_n$, а значення S є границею послідовності частинних сум s_n , що складається з n доданків. Цей факт виражається наступними словами: S є «сумою нескінченного ряду» $a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots$.

Таким чином, нескінченний ряд є своєрідний спосіб вивчення границі, для якої кожне наступне наближення значення отримується з попереднього шляхом додавання ще одного члена. Наприклад, принцип зображення числа у вигляді десяткового дробу є не що інше як зображення числа a у вигляді нескінченного ряду [9]:

$$a = a_1 + a_2 + a_3 + \dots,$$

при цьому, якщо $0 \leq a \leq 1$, то $a_n = \alpha_n \cdot 10^{-n}$, а α_n означає одне з цілих чисел від 0 до 9. Оскільки кожному границю можна представити у вигляді нескінченного ряду, то, на перший погляд, можливо немає потреби у особливому вивченні рядів. Але в багатьох випадках границі виникають у вигляді нескінченних рядів і при цьому

© Крюков М. М., Клецька Т. С., 2013

отримуються дуже прості закономірності. Зрозуміло, що не кожне розкладання в ряд виявляє прості закономірності. Наприклад, число π можна представити у вигляді нескінченного неперіодичного десяткового дробу, і ми не можемо вказати довільну цифру цього розкладання. Але якщо відмовитись від представлення π у вигляді десяткового дробу і використати для цього, наприклад, ряд Лейбніца, то отримаємо вираз з надзвичайно простим загальним способом утворення.

Як бачимо, тут ми маємо справу з математичною нескінченністю. Математична нескінченність, як стверджують дослідники історії розвитку математики, з'явилася в давньогрецькій або елінській культурі в VIII – VI ст. до н.е. як принципово новий елемент мислення. Нескінченні ряди використовували в грецькій математиці, хоча вони намагалися представляти їх, як скінченні суми $a_1 + a_2 + \dots + a_n$, замість $a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots$.

Відповісти на питання, коли вперше з'явилися ряди в математиці неможливо. Вже вавилонські математики вміли сумувати арифметичну і геометричну прогресії.

Італійський математик П'єтро Менголі (Pietro Mengoli (1625 – 1668)) наглядно продемонстрував геометрично, що ряд $\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots = 1$ [1]. Квадрат зі стороною 1 має площу 1. Він поділив площу навпіл, потім одну з половин знову ділить навпіл і т.д., і отримує нескінченну кількість прямокутників з площами, які утворюють геометричну прогресію.

Довгий час питання збіжності числових рядів не розглядалося глибоко. Тому ще у 1754 р. з виразу для суми нескінченної геометричної прогресії

$$a + aq + aq^2 + \dots = \frac{a}{1-q} \quad \text{Ейлер «виводив», що } 1 - 1 + 1 - 1 + \dots = \frac{1}{1 - (-1)} = \frac{1}{2}, \text{ при цьо-}$$

му, навіть Фур'є спочатку приймав цей результат.

Поняття збіжності числових рядів, мабуть, вперше з'явилося у листі Й. Бернуллі до Лейбніца від 7 квітня 1713 р., де він використав вираз «розбіжний ряд» (series divergens). У відповідь у листі від 28 червня Лейбніц використав вираз «збіжний ряд» (series advergens) майже у сучасному сенсі.

У подальшому в обіг увійшов термін convergens (в тому ж сенсі, що і advergens), який у 1677р. застосував для послідовностей Дж. Грегорі, а потім Ньютон [3]. Таким чином, вже Лейбніц явно сформулював означення збіжного ряду і його суми, яке в термінах теорії границь сформулював у 1821 р. Коші.

Треба відзначити, що П'єтро Менголі отримав важливі результати в області дослідження рядів, зокрема, довів розбіжність гармонічного ряду $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$ в 50-х роках

XVII ст. Термін «гармонічний ряд» запропонував у 1668 р. математик Броункер. Свою назву гармонічний ряд отримав з того факту, що кожний його член, починаючи з другого, є середнім гармонічним суміжних членів. Нагадамо, що число c є середнім гармонічним чисел a і b , якщо $\frac{1}{c} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$.

Для цього він застосовує нерівність:

$$\frac{1}{3k-1} + \frac{1}{3k} + \frac{1}{3k+1} > \frac{1}{k}.$$

Спочатку при $k = 1$ він знаходить, що $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} > 1$, потім він бере 3^2 членів з $\frac{1}{5}$ по $\frac{1}{13}$, групує їх по три, і показує їх сума також більше 1, далі дається оцінка суми наступних 3^3 членів і т.п.. В результаті отримує нескінченну кількість груп з сумами більше 1.

Ці результати він отримав незалежно від французького математика Орема (Nicolas Oresme (до 1330 – 1382)). В 1350 р. Орем показав розбіжність гармонічного ряду. Його доведення дійшло до нашого часу і використовується в сучасних підручниках. Він групує члени ряду наступним чином:

$$\begin{aligned} & 1 + \left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}\right) + \dots > \\ & > 1 + \left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) + \dots = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \dots \end{aligned}$$

Подвоюючи число членів, зібраних в послідовні групи, отримує нескінченну кількість груп з сумами більше $\frac{1}{2}$.

Необхідність сформулювати достатні умови збіжності усвідомлювали великі математики. Для додатних числових рядів $(A) \sum_{n=1}^{\infty} a_n$ було сформульовано багато ознак збіжності. Ці ознаки збіжності базуються на порівнянні ряду (A) з різними стандартними рядами.

Так у 1768 р. Ж. Даламбер сформулював таку ознаку на основі порівняння зі збіжним рядом, членами якого є члени геометричної прогресії. Він будує варіанту

$$D_n = \frac{a_{n+1}}{a_n}. \text{ Якщо при достатньо великому } n \text{ (} n > N \text{) виконується нерівність } D_n \leq q,$$

де q – стале число менше одиниці, то ряд збігається, а при $D_n \geq 1$ – розбігається.

В роботі [7] відзначається, що сучасний термін «ознака збіжності Даламбера» історично не є коректним. Даламбер розглядав питання про збіжність додатного ряду, вивчаючи розклад $(1 + \mu)^m$ при довільному m в «Математичних творах» (1768 р.) при цьому він довів, що ряд дає правильні результати при $-1 < \mu < 1$. Англійський математик Едуард Варінг (1734 – 1798) в «Аналітичних роздумах» (1776 р.) цілком коректно сформулював цю ознаку так: ряд $\sum_{n=1}^{\infty} u_n$ розбігається (збігається), якщо відно-

шення $\frac{u_n}{u_{n+1}}$ при великих n менше (більше) одиниці. Формулювання цієї ознаки в

термінах теорії границь належить Коші (1821 р.).

У 1821р. французький математик Огюстен Луї Коші (1789 – 1857) в своєму курсі «Алгебраїчний аналіз» сформулював ознаку також на основі порівняння зі збіжним рядом, членами якого є члени геометричної прогресії. Він будує варіанту $E_n = \sqrt[n]{a_n}$. Якщо при достатньо великому n ($n > N$) виконується нерівність $E_n \leq q$, де q – стале число менше одиниці, то ряд збігається, а при $E_n \geq 1$ – розбігається.

У подальшому з'ясувалося, що ознака Коші сильніше ознаки Даламбера. В усіх випадках, коли ознака Даламбера дає відповідь на поведінку ряду, цю відповідь дає і ознака Коші, а навпаки це невірно, хоча застосування ознаки Даламбера простіше.

У 1832 р. швейцарський математик Жозеф Раабе (1801 – 1859) запропонував ознаку збіжності (Z. Phys. Math), яка базується на порівнянні зі збіжним узагальненим гармонічним рядом $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$ ($s > 1$) і розбіжним гармонічним рядом $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$. Він

будує варіанту $R_n = n \left(\frac{a_n}{a_{n+1}} - 1 \right)$. Якщо при достатньо великому n ($n > N$) виконується

нерівність $R_n \geq r$, де r – стале число більше одиниці, то ряд збігається, а при $R_n \leq 1$ – розбігається. Ознака Раабе значно сильніше ознаки Даламбера. Так якщо границя $D = \lim D_n$ існує і відмінна від нуля, то для R_n існує границя R рівна $+\infty$, якщо

$D < 1$ і рівна $-\infty$, якщо $D > 1$.

У 1835 р. німецький математик Ернст Куммер (1810 – 1893) у статті, присвяченій дослідженню збіжності гіпергеометричних рядів (Journal für die reine und angewandte Mathematik), запропонував дуже загальну ознаку збіжності. Він будує

варіанту $K_n = c_n \frac{a_n}{a_{n+1}} - c_{n+1}$, де $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{c_n}$ – збіжний додатний ряд. Якщо при достатньо

великому n ($n > N$) виконується нерівність $K_n \geq \delta$, де δ – стале додатне число, то ряд збігається, а при $K_n \leq 0$ – розбігається. При $c_n = 1$ ми отримуємо, як частинний випадок, ознаку Даламбера, а при $c_n = n$ – ознаку Раабе.

При $c_n = n \ln n$ виникає нова ознака французького математика Жозефа Бертрана (1822 – 1900). У 1842 р. Бертран встановлює більш тонку логарифмічну ознаку (Journal de Mathematiques Pure et Appliquées). Він будує варіанту

$B_n = \ln n \cdot \left[n \left(\frac{a_n}{a_{n+1}} - 1 \right) - 1 \right] = \ln n \cdot (R_n - 1)$. Якщо варіанта B_n має границю (скінченну

або ні) $B = \lim B_n$, то при $B_n > 1$ ряд збігається, а при $B < 1$ – розбігається. Ознака Бертрана більш сильніша ознаки Раабе.

В сучасній математичній літературі вказані ознаки формуються в граничній формі.

Коли була побудована ця послідовність ознак збіжності додатних рядів, з'ясувалося, що ще у 1812 р. Гаусс довів свою ознаку (Commentationes Gotting), яка випередила на десятиліття дослідження математиків XIX ст. Вона полягала в такому: якщо для ряду (A) відношення $\frac{a_n}{a_{n+1}}$ можна подати у вигляді:

$$\frac{a_n}{a_{n+1}} = \lambda + \frac{\mu}{n} + \frac{\theta_n}{n^2},$$

де λ і μ – сталі, а θ_n – обмежена величина ($|\theta_n| \leq L$), то ряд (A) збігається, якщо $\lambda > 1$ або якщо $\lambda = 1$, $\mu > 1$, і розбігається якщо $\lambda < 1$ або $\mu = 1$, $\mu \leq 1$.

Випадки $\lambda < 1$ або $\lambda > 1$ приводять до ознаки Даламбера. При $\lambda = 1$ і $\mu < 1$ або $\mu > 1$ – приводять до ознаки Раабе. Якщо $\mu = 1$ приходимо до ознаки Бертрана і ряд розбігається.

Ця ознака з'явилася у зв'язку з астрономічними обчисленнями Гаусса, заснованими на розкладанні інтегралів відповідних диференціальних рівнянь в нескінченні ряди, де він зайнявся дослідженням питання про збіжність нескінченних рядів, які він зв'язав з вивченням гіпергеометричного ряду («Про гіпергеометричний ряд», 1812). Тут він вперше називає ряд збіжним, якщо всі його члени, починаючи з деякого місця, необмежено спадають. У сучасному сенсі під збіжним рядом розуміють те, що скінченні суми ряду прямують до певної границі. Гаусс перший звернув на це увагу і дав перші критерії збіжності у сучасному змісті [8].

Ці дослідження разом із заснованими на них роботами Огюстена Коші і Нільса Генріка Абеля (1802 – 1829) привели до прогресу в загальній теорії рядів.

Серед ознак збіжності додатних рядів треба відзначити ознаку, яка базується на порівнянні ряду (A) з невласним інтегралом. Це інтегральна ознака Коші, оприлюднена в тому ж курсі «Алгебраїчний аналіз» (1821 р.). Вона полягала в такому. Нехай ряд (A) можна записати у вигляді $\sum_{n=1}^{\infty} a_n = \sum_{n=1}^{\infty} f(n)$, де $f(x)$ – неперервна додатна і монотонно спадна функція для $x \geq 1$. Тоді ряд (A) збігається або розбігається одночасно з невласним інтегралом $\int_1^{\infty} f(x)dx$.

В 1742 р. вийшла робота «Трактат о флюксіях», де видатний англійський математик Колін Маклорен (1698 – 1746) при визначенні поняття суми ряду, застосовував його до виведення цієї інтегральної ознаки геометрично. Він порівнював площу між кривою $y = f(x)$ і її асимптотою з площами вписаної і описаної сходчастих фігур, що дорівнюють сумам ряду $\sum_{n=1}^{\infty} f(n)$.

Цей критерій Маклорен застосовував для доведення розбіжності гармонічного ряду і збіжності узагальненого гармонічного ряду при $(s > 1)$. Тому інколи в літературі цю ознаку називають ознакою Коші-Маклорена.

У 1871 р. професор В. П. Єрмаков (1845 – 1922) у своїй доповіді на III з'їзді російських природознавців і лікарів зробив доповідь «Признак сходимости знакоположительных рядов», в якій сформулював своєрідну ознаку з тією ж областю застосування, що і інтегральна ознака Коші [4, 11]. Формулювання не містить в собі поняття інтегрального числення. Вона полягала в такому.

Нехай для функції $f(x)$ виконуються умови, такі саме як і для інтегральної ознаки Коші. Тоді, якщо для достатньо великих x ($x \geq x_0$) буде виконуватись нерівність:

$$\frac{f(e^x) \cdot e^x}{f(x)} \leq q,$$

то ряд буде збігатися при $q < 1$ і розбігається при $q \geq 1$.

Ознака Єрмакова цікава тим, що функція e^x , яка присутня в ознаці, може бути замінена іншою додатною неперервною монотонно зростаючою і неперервно ди-

ференційовною функцією $\varphi(x)$, що задовольняє нерівності $\varphi(x) > x$. Таким чином, використовуючи ознаку Єрмакова, можна отримати цілу низку нових ознак з тією ж областю застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Александрова Н. В.* История математических терминов, понятий, обозначений: Словарь-справочник. Изд. 3-е испр. – М.: Изд. ЛКИ, 2008. – 248 с.
2. *Бурбаки Н.* Очерки по истории математики. /Пер с французкого И. Г. Башмаковой. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 292 с.
3. *Вилейтнер Г.* История математики от Декарта до середины XIX столетия. – М.: ГИМФЛ, 1960. – 468 с.
4. *Добровольський В. А.* Василий Петрович Ермаков (1845 – 1922). – М.: Наука, 1981. – 89 с.
5. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. В 3-х т. / Под. ред. А. П. Юшкевича. Т. 1. История математики с древнейших времен до начала нового времени. – М.: Наука, 1970. – 352 с.
6. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. В 3-х т./ Под. ред. А. П. Юшкевича. Т. 2. Математика XVII столетия. – М.: Наука, 1970. – 496 с.
7. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. В 3-х т. / Под. ред. А. П. Юшкевича. Т. 3. Математика XVIII столетия. – М.: Наука, 1972. – 300 с.
8. *Клейн Ф.* Лекции о развитии математики в XIX столетии. – Ч.1 /Пер. с немец. – М. – Л.: ОНТИ, 1937. – 432 с.
9. *Курант Р.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. – Т. 1. – М.: Изд. Наука, 1967. – 704 с.
10. *Стройк Д. Я.* Краткий очерк истории математики. – М.: Наука, 1984. – 285 с.
11. *Фихтенгольц Г. М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. – Т.2. – М.: Наука, 1966. – 800 с.
12. *Цейтен Г. Г.* История математики в древности и в средние века. /Пер. А. П. Юшкевича с франц. – М. – Л.: ГТТИ, 1932. – 230 с.
13. *Цейтен Г. Г.* История математики в XVI и XVII веках /Пер. П. Новикова с немец. – М. – Л.: ОНТИ, 1938. – 456 с.

УДК 621.793

А. Ю. Андрейцев

І. В. Смирнов

М. А. Долгов

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ
ТА РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ
МІДНОЇ ОБОЛОНКИ ПРИ ПЛАЗМОВОМУ НАПИЛЮВАННІ
ПЛАКОВАНОГО ПОРОШКУ Al_2O_3**

Розглянуто особливості температурного режиму при плазмовому напилюванні плакованих порошків. Розвинуто математичну модель нагріву частинок плакованого порошку з урахуванням зміни температури плазмового струменя. Проведене узгодження температури плазмового потоку з часом перебування в ньому частинок порошку та отримано аналітичний розв'язок. Визначено оптимальну товщину мідної оболонки для частинки Al_2O_3 радіусом 25 мкм.

Рассмотрены особенности температурного режима при плазменном напылении плакированных порошков. Развита математическая модель нагрева частиц плакированного порошка при плазменном напылении с учетом изменения температуры плазменной струи и получено аналитическое решение. Проведено согласование температуры плазменного потока со временем пребывания в нем частиц порошка. Определена оптимальная толщина медной оболочки для частиц Al_2O_3 радиусом 25 мкм.

The features of temperature during plasma spraying plated powders is studied. The mathematical model of heating the particles of plated powder during plasma spraying is improved taking into account change in temperature of a plasma jet and the analytical solution is founded. Coordination of temperature plasma jet with a staying time of particles in the jet is carried out. The optimal thickness of the copper shell Al_2O_3 particle radius of 25 μm is defined.

Ключові слова: теплопровідність, температурний режим, плакована керамічна частинка, плазмовий струмінь, крайова задача.

Актуальність проблеми. При плазмовому напилюванні велика увага приділяється встановленню оптимального температурного режиму частинок порошку, що напилюється. Цей режим залежить від низки факторів, пов'язаних у першу чергу з кінетичними й теплофізичними параметрами, як плазмового струменя, так і напилюваного матеріалу.

© Андрейцев А. Ю., Смирнов І. В., Долгов М. А., 2013

Завдання ускладнюється при використанні для напилювання керамічних порошків через їх специфічні фізичні властивості й термодинамічну нестійкість. Навіть термодинамічно стійкі оксиди схильні до значної дисоціації при температурі нагріву частинок, близької до температури плавлення.

На розвиток температурних процесів, і як наслідок фазових перетворень значно впливає металева оболонка, яка огортає керамічну частинку. Змінюючи умови теплообміну за допомогою плакувальної оболонки, можна зближувати або розділяти процеси нагріву, плавлення та випаровування частинок при напилюванні [1].

Аналіз публікацій. Теоретичні й експериментальні дослідження температурного режиму частинок, що напилюються, у плазмовому струмені проводилися багатьма вченими [2,3]. При цьому, недостатньо враховувалися температурно-часові залежності, що узгоджують температуру плазмового струменя й час перебування частинки у високотемпературній зоні. Існуючі залежності можна використовувати лише на початковому етапі перебування частинки в плазмовому струмені, коли різниця температур і швидкостей струменя й частинки досить велика.

Комплексне комп'ютерне моделювання, як плазмового струменя, так і процесу напилювання, реалізоване в численних програмних пакетах [4]. Однак обмеженість використовуваних у даних пакетах баз даних матеріалів та параметрів плазмотронів не дозволяє моделювати процес напилювання в нестандартних умовах за межами пропонованих діапазонів, у тому числі при використанні композиційних (плакованих) порошків.

Детальний аналіз фізико-хімічних аспектів напилювання й застосування плакованих порошків проведено в [5]. Математичне моделювання температурних процесів при нанесенні плазових покриттів з плакованих порошків проведено в [6], де показано, що температура двошарової частинки в плазмовому струмені повинна знаходитись в певному діапазоні, для забезпечення з одного боку проплавлення тугоплавкого керамічного ядра, а з іншого скорочення втрат металевої оболонки за рахунок випаровування.

Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених плазмовому напилюванню, відсутні дані про вплив товщини металевих оболонок на температурний режим частинок в плазмовому струмені.

Мета роботи полягала в дослідженні впливу плакувальної мідної оболонки на нагрів частинок оксиду алюмінію у плазмовому струмені за допомогою аналітичних розв'язків математичних моделей теплопровідності.

В загальному випадку нагрів частинок при напилюванні описується рівнянням, що містить конвективну та радіаційну складові. Однак для частинок діаметром менш ніж 100 мкм для будь-якого часу нагріву та діаметром менш ніж 3 мкм при часі нагріву не більш ніж 3 мс, радіаційну складову в рівнянні енергії можна не враховувати. У цьому випадку рівняння енергії для частинки зводиться до рівняння теплопровідності, конкретний вигляд якого залежить від будови й форми частинки.

При моделюванні процесу нагріву частинки в плазмовому потоці виходили з таких припущень: частинка має сферичну форму й розподіл температури у ній має сферичну симетрію; частинка є однорідним, ізотропним тілом; внутрішні джерела тепла відсутні.

У припущенні сталості всіх термодинамічних коефіцієнтів на певному етапі польоту частинки в плазмовому струмені математичну модель можна сформулювати в такий спосіб:

$$\begin{aligned}\frac{\partial(rT)}{\partial t} &= a \frac{\partial^2(rT)}{\partial r^2}, \text{ при } r \in [0, R] \\ \frac{\partial(rT_1)}{\partial t} &= a_1 \frac{\partial^2(rT_1)}{\partial r^2}, \text{ при } r \in [R, R_1] \\ T_1(R, t) &= T(R, t) \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R} &= \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R_1} &= \alpha (T_{nl} - T_1) \Big|_{r=R_1} \\ \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} &= 0, T < \infty \\ T_1(r, 0) &= T(r, 0) = T_0\end{aligned}$$

де $a = \frac{\lambda}{c\rho}$, $a_1 = \frac{\lambda_1}{c_1\rho_1}$; λ , c , ρ і λ_1 , c_1 , ρ – коефіцієнт теплопровідності, питома теп-

лоємність, густина матеріалу ядра й оболонки, відповідно; α – коефіцієнт теплообміну; T_{nl} – температура плазмового струменя; T_0 – початкова температура частинки; R_1 , R – зовнішній і внутрішній радіуси оболонки відповідно.

У [6] дану задачу було зведено до крайової задачі теплопровідності в ядрі у припущенні лінійного радіального розподілу тепла в оболонці, та отримано аналітичний розв'язок за умови сталої температури плазми. Однак припущення щодо сталості температури плазми виправдане лише у каналі та на зрізі сопла плазмотрона. Надалі температура струменя досить швидко змінюється з часом.

Залежності температури плазмового струменя вздовж дистанції напильовання є відомими. У [7] отримано формули для визначення швидкості частинки вздовж дистанції напильовання. Але, оскільки, швидкості потоку та частинок суттєво відрізняються (особливо на початку дистанції), потрібно узгодити температуру плазми біля поверхні частинки з часом перебування її в струмені. Для цього визначаємо температуру в ряді точок дистанції напильовання $z_1, z_2, \dots, z_n$. Після чого знаходимо час польоту частинки до досягнення z_i із співвідношення:

$$t_1 = \int_0^{z_i} \frac{dz}{W(z)}$$

Тоді $T_{nl}(t_i) = T_{nl}(z_i)$ і буде визначати температуру плазми в околі частинки, залежно від часу її перебування в струмені.

За отриманими даними проводимо поліноміальну апроксимацію температури плазми біля поверхні частинки.

Наведені обчислення були виконані для частинок Al_2O_3 радіусом 25 мкм, плакованих мідною оболонкою товщиною від 0,5 до 5 мкм. В результаті показано, що на початковому етапі розгону та розігріву частинки температура плазми біля її поверхні досить добре апроксимується поліномом другого степеня $T_{nl} = A + Bt + Ct^2$ з коефіцієнтом імовірності апроксимації R не менше ніж 0,99.

Враховуючи дану апроксимацію у припущенні (див. [6]), що температура в оболонці визначається за формулою:

$$T_1(r, t) = T(R, t) + \frac{a_e}{\lambda_1} R_1^2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) [T_{n1} - T(R, t)], \quad \alpha_e = \frac{\alpha \lambda_1 R}{\lambda_1 R + \alpha h R_1},$$

температура ядра:

$$\begin{aligned} T(r, t) = & A + Bt + Ct^2 - \frac{k_c''}{Bi} (B + 2Ct) - \sum_{n=1}^{\infty} A_n(r) \left[(A - 293) e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} + \right. \\ & + B \left[\frac{R^2}{\mu_n^2 a^2} \left(1 - e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right) - \frac{k_c''}{Bi} e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right] + \\ & \left. + 2C \left[\frac{R^2 t}{\mu_n^2 a^2} - \frac{R^4}{\mu_n^4 a^4} \left(1 - e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right) - \frac{k_c'' R^2}{Bi \mu_n^2 a^2} \left(1 - e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right) \right] \right] \\ A_n(r) = & \frac{2R \sin \mu_n \frac{r}{R}}{\mu_n r} \frac{Bi}{\mu_n \left[\left(1 + k_c' + \frac{Bi-1}{\mu_n^2} \right) \sin \mu_n + \left(k_c' \mu_n - \frac{Bi-1}{\mu_n} \right) \cos \mu_n \right]} \end{aligned}$$

де $Bi_1 = \frac{\alpha_e h}{\lambda_1}$; h – товщина оболонки; $k_c' = k_c \left(1 - \frac{Bi_1}{6} \right)$; $k_c'' = k_c \frac{Bi_1}{6}$; $k_c = \frac{c_1 \rho_1 h}{c \rho R}$;

μ – корені трансцендентного рівняння $\cos \mu_n = \left(k_c' \mu_n + \frac{1-Bi}{\mu_n} \right) \sin \mu_n$

Корені трансцендентного рівняння визначали за допомогою пакета Mathematica. Кількість членів ряду n для обчислення температури частинок вибиралася таким чином, щоб максимальна похибка становила не більш ніж 10°C . Похибку обчислення оцінювали із залежності:

$$\varepsilon < \frac{4Bi(T_g(0) - T_0)}{6n - 3}$$

Як було зазначено раніше, температура поверхні частинок не повинна перевищувати температури випаровування оболонки. Наприклад, для порошку оксиду алюмінію, плакованого міддю температура частинок не повинна перевищувати температуру випаровування міді, тобто 2500°C . У цьому зв'язку, для встановлення необхідного температурного режиму, була проведена побудова серії графіків залежності температур поверхні частинок порошку чистого (не плакованого) Al_2O_3 різних діаметрів від часу перебування їх у струмені плазми [8], де встановлено оптимальний радіус частинок – 25 мкм.

Таким чином, для одержання остаточного результату треба визначити коефіцієнти A , B і C у поліномі для певного розміру частинки й необхідні температурні коефіцієнти.

З урахуванням цих значень, побудовано графік зміни температури даних частинок Al_2O_3 , плакованих мідною оболонкою товщиною від 0,5 до 5 мкм, тобто при незмінному радіусі ядра та різній товщині оболонки (рис. 1).

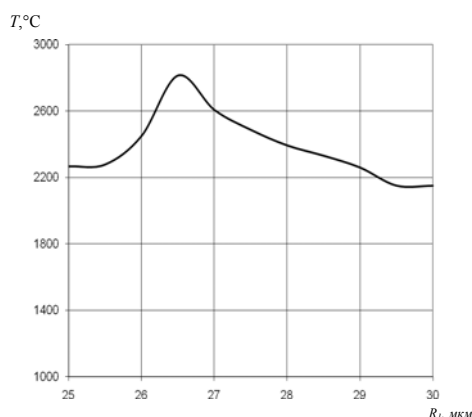


Рис. 1. Залежність температури частинки оксиду алюмінію радіусом 25 мкм плакованою мідною оболонкою від її зовнішнього радіуса

З рис. 1 випливає, що наявність мідної оболонки товщиною 1,5 мкм сприяє максимальному збільшенню температури ядра, а при товщині оболонки більш ніж 4 мкм, частинка оксиду алюмінію може не розплавитися. Задаючись різними діаметрами плакованої частинки при незмінному діаметрі ядра, можна встановити вплив товщини оболонки на час досягнення плакованою частинкою необхідної температури, наприклад, температури плавлення ядра.

Рис. 2 схематично пояснює існування оптимальної товщини оболонки. На ньому наведені графіки зміни температури частинок до моменту досягнення ними найвищої температури та плазми біля їх поверхні залежно від часу перебування в плазмовому струмені при товщині оболонки 1, 1,5 і 3 мкм. З рисунка видно, що в даному інтервалі існує максимум.

Існування максимуму найвищої температури, що досягається частинкою, залежно від її маси пояснюється так. Час перебування частинки з невеликою масою в високотемпературній зоні незначний (крива 1). На рисунку ми бачимо, що температура плазми біля її поверхні швидко спадає з часом. З іншого боку, хоча масивна частинка досить довго перебуває у високотемпературній зоні, вона потребує багато більшого тепловкладення (крива 3). Тому на момент урівноваження її температури з температурою плазми, остання значно зменшилась. Ділянки спадання температури для частинок 1, 2, 3 не наведені, щоб не захащувати рисунок.

Висновки та результати подальших досліджень. Таким чином, розвинена математична модель нагріву частинки порошку з оболонкою при плазмовому напилюванні на основі узгодження температури плазмового струменя й частинки в часі. Отриманий аналітичний розв'язок, на основі якого встановлено вплив товщини оболонки на прогрів ядра плакованої частинки. У результаті визначена оптимальна товщина мідної оболонки на рівні 1,5 мкм для частинки оксиду алюмінію діаметром 50 мкм, при якій досягається максимальний прогрів тугоплавкого керамічного ядра, що сприяє одержанню якісних плазмових покриттів.

Перспективами подальших досліджень є побудова та аналіз математичних моделей, що враховують зміну агрегатних станів оболонки та ядра в процесі газотермічного напилювання плакованих частинок.

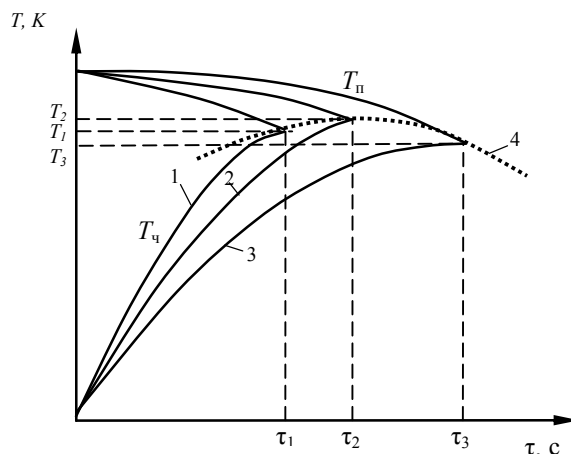


Рис. 2. Зміна температури плазмового струменя $T_{пл}$ і температури плакованої частинки $T_{ч}$ у часі:

1, 2, 3 – температура частинки при товщині оболонки 1, 1,5, 3 мкм відповідно;
4 – крива, що проходить через точки максимумів температур частинок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Газотермическая обработка керамических оксидов [Текст] / М. Н. Бодяко, Ф. Б. Вурзель, Е. В. Кремко и др.; Под ред. О. В. Романа. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 223 с.
2. Нанесение покрытий плазмой [Текст] / В. В. Кудинов, П. Ю. Пекшев, В. Е. Белашенко и др. – М.: Наука, 1990. – 406 с.
3. Solonenko O. P. Complex investigation of thermophysical processes in plasma-jet spraying [Text] / O. P. Solonenko // Pure and Applied Chemistry. – Vol. 62, 1990. – № 9. – P. 1783 -1800.
4. Формирование газотермических покрытий: теория и практика [Текст] / А. Ф. Ильюшенко, В. А. Оковитый, С. П. Кундас, Б. Форманек / Под общей ред. д.т.н., проф. А. Ф. Ильюшенко – Мн.: Бест-принт, 2002. – 480 с.
5. Газотермические покрытия [Текст] / В. Н. Анциферов, А. М. Шмаков, С. С. Агеев, В. Я. Буланов. / Под ред. В. Н. Анциферова. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. – 318 с.
6. Математическое моделирование нагрева порошкового композиционного материала в плазменной струе [Текст] / В. А. Барвинок, В. И. Богданович, И. А. Докукина, В. Л. Китайкин, А. Н. Плотников // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. – № 2. – С. 197 – 203.
7. Андрейцев А. Ю. Моделювання процесів руху та нагріву частинки при плазмовому напилюванні [Текст] / А. Ю. Андрейцев, І. В. Смирнов // Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: Збірник наукових праць. – Київ – Кам'янець-Подільський, 2006. – С. 77 – 82.
8. Андрейцев А. Ю. Моделювання та розрахунок температури частинок плакованого порошку Al_2O_3 при плазмовому напиленні [Текст] / А. Ю. Андрейцев, І. В. Смирнов, А. В. Чорний // Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 19. – К., 2011. – С. 99 – 104.

УДК 681.3

О. Л. Яковенко

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ І МЕРЕЖАХ

Розглянуто методи забезпечення цілісності інформації в інформаційно-комунікаційних системах та мережах, основні методи підвищення завадостійкості інформаційних об'єктів. Запропоновано застосування кодів, які дають можливість забезпечити виявлення та виправлення пакетів помилок значної тривалості.

Рассмотрены методы обеспечения целостности информации в информационно-коммуникационных системах и сетях, основные методы повышения помехоустойчивости информационных объектов. Предложено применение кодов, позволяющих обеспечить выявление и исправление пакетов ошибок значительной продолжительности.

Methods to ensure the integrity of information in communication systems and networks, basic methods for improving noise immunity of information objects are shown. Application of codes that enable to provide the detection and correction of error packets of substantial duration is proposed.

Ключові слова: інформаційна система, цілісність, завадостійкість, інформація, код.

Інформаційно-комунікаційні системи та мережі (ІКСМ) стали найважливішою складовою процесу використання інформаційних ресурсів суспільства.

Забезпечення цілісності інформації при її передачі по каналах зв'язку є найактуальнішою задачею в умовах глобального розвитку інформаційно-комунікаційних систем та мереж. Виникає необхідність розробки методів ефективного завадостійкого каналного кодування з максимально простою реалізацією для забезпечення цілісності та вірогідності переданих даних.

Цілісність інформації – властивість інформації, яка полягає в тому, що інформація не може бути модифікована неавторизованим користувачем або процесом. Дана властивість інформації досягається шляхом дотримання встановлених правил її обробки. Іншими словами, під цілісністю інформації розуміють відсутність в ній будь-яких спотворень (модифікацій), які не були санкціоновані її власником, незалежно від причин або джерел виникнення таких спотворень. Спотворення інформації, тобто порушення її цілісності, можливі на будь-якому етапі її циркуляції у обчислювальних мережах: при зберіганні, передачі або обробці. Причини таких спотворень можуть бути випадковими або навмисними. У свою чергу, випадкові спотворення можуть бути як природними, пов'язаними з дією природних чинників, так і штучними.

© Яковенко О. Л., 2013

Випадкові і штучні завади є загрозами функціональним властивостям захищеності інформаційних ресурсів – їх цілісності та доступності. Надалі розглядаються задачі забезпечення цілісності інформаційних об'єктів в умовах природних впливів. Наслідком природних впливів в каналах ІКСМ є зменшення співвідношення показника сигнал/завада. Це відношення визначає вірність інформації, що визначається через ймовірність спотворень двійкових символів (біт) P_{cn} , а також інтенсивність цих помилок.

Задача забезпечення цілісності і доступності інформаційних ресурсів є однією з найактуальніших при розробці і експлуатації інформаційних систем і їх елементів.

Для забезпечення контролю та поновлення цілісності інформаційних об'єктів, включаючи і відновлення зруйнованої інформації, вводять надмірну інформацію – ознаку цілісності або контрольну ознаку [1].

Однією із причин виникнення спотворень є завади, викликані зовнішніми джерелами і атмосферними явищами. Складність протидії завадам полягає в безладності, нерегулярності і в структурній схожості завад з інформаційними сигналами. Тому захист інформації від спотворень і шкідливого впливу завад має велике практичне значення і є однією з серйозних проблем сучасної теорії інформаційного обміну в каналах ІКСМ.

Серед основних методів забезпечення цілісності інформації ІКСМ слід виділити застосування різного роду завадостійких кодів з виявленням помилок. Це, в свою чергу, дає можливість застосування способів передачі повідомлень з різного роду зворотним зв'язком (інформаційного – деякий аналог мажоритарного методу з багатократною передачею інформації, зворотним прийомом і ухваленням рішення щодо правильності передачі на стороні передавача, або з вирішальним зворотним зв'язком (ВЗЗ) – багатократний, при необхідності передачі з ухваленням рішення щодо правильності передачі на стороні приймача). Недоліки таких способів забезпечення цілісності зводяться до необхідності організації другого (зворотного) каналу зв'язку, тобто до істотних матеріальних витрат, а також до збільшення часу затримки передавання інформації, який може бути неприпустимо великим, а також застосування різного роду завадостійких корегуючих кодів (ЗКК), які дозволяють реалізувати програмні, апаратні або програмно-апаратні засоби виявлення і усунення спотворень [2].

Останній із способів (механізмів) забезпечення цілісності інформаційних об'єктів – із застосуванням завадостійких корегуючих кодів наразі знайшов широке застосування в стандартах стільникового зв'язку. Він не потребує зворотного каналу і забезпечує, як правило, прийнятне значення часу затримки передавання інформаційних об'єктів. Тому, чи не єдиною проблемою в цих та інших ІКСМ з використанням телефонних кабельних та радіоканалів є проблема забезпечення цілісності інформаційних об'єктів в умовах впливу навіть природних (не говорячи уже про штучні, навмисні завади) пакетних спотворень, як «коротких» (тривалістю 2...10 мс) так і особливо «довгих» (тривалістю 100...200 мс). Це є особливо актуальним і для уже згаданих систем стільникового зв'язку. Наприклад, в стандартах CDMA базовий цифровий потік розбивається на пакети тривалістю по 20 мс та подається на згортковий кодер з половинною швидкістю [3]. При цьому тривалість пакета спотворень може бути порівняною чи, навіть, значно перевищувати тривалість інформаційного пакета, що може суттєво вплинути на результативність процедур обміну інформацією.

Як вихід із таких ситуацій може розглядатися можливість збільшення тривалості інформаційних пактів із одночасним застосуванням перемежування потрібної гли-

бини та завадостійких корегуючих кодів, які були б спроможними забезпечити виявлення та виправлення пакетів спотворень значної тривалості. Як такі коди можна застосовувати узагальнені завадостійкі корегуючі коди.

Під узагальненими розумітимемо коди, призначені для виявлення (або ж виявлення і виправлення) пакетних спотворень з кратністю b , в яких використовуються алгоритми кодування і декодування, аналогічні відповідним алгоритмам двійкових кодів, але по відношенню до узагальнених b – розрядних символів.

У цих кодах початкова двійкова кодова послідовність – базове кодове слово $I_1 I_2 \dots I_m$ розбивається на $n = \frac{m}{b}$ узагальнених символів (УС) – груп двійкових розрядів з розрядністю b , в яких передбачається виявлення та виправлення спотворень:

$$\underbrace{I_1 \dots I_b}_{1\text{-й УС}}, \underbrace{I_{b+1} \dots I_{2b}}_{2\text{-й УС}}, \dots, \underbrace{I_{m-b+1} \dots I_m}_{n\text{-й УС}}$$

Двійкові символи, що входять в одну b -розрядну групу, розглядаються як b -значний УС, який може приймати будь-яке із s значень від 0 до $(s-1)$, де $s = 2^b$.

Одним із прикладів узагальнених кодів є код умовних лишків (ЛУ-код). Теоретичною основою ЛУ-коду є теорія лишкових класів. З теорії лишкових класів відомо, що будь-яке число можна представити у вигляді набору лишків від розподілу цього числа на набір взаємно простих чисел, які мають назву основ системи числення, $-p_i$, де $i=1, 2, \dots, n$, n – кількість таких основ. Вибір величини n здійснюється з умови, яка викладена нижче. Тоді: $A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, (1)

де $\alpha_i = A - \left[\frac{A}{p_i} \right] \cdot p_i$, а позначка $\left[\frac{A}{p_i} \right]$ означає операцію розрахунку цілої частини від дробового числа $\left[\frac{A}{p_i} \right]$.

При цьому між числом A і його представленням вираз (1) існує взаємна однозначна відповідність, якщо:

$$A \leq P = \prod_{i=1}^n p_i.$$

У цьому виразі величина P – діапазон представлення або робочий діапазон чисел. Звернемо увагу на те, що величина α_i представляє собою групу двійкових розрядів, кількість яких не перевищує розрядності відповідної основи p_i .

Чудовою властивістю системи лишкових класів (СЛК) є те, що в неї легко вводяться властивості виявлення і виправлення спотворень. Відомо, що якщо ввести ще одну, контрольну, основу p_k , то уявлення A в розширеному діапазоні $R = P \cdot p_k$, у вигляді:

$$A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha_k, \quad (2)$$

де α_k – лишок по основі p_k , має чудову для побудови корегуючих кодів властивість: при $p_k > p_n$ будь-яке спотворення в одному з лишків α_i може бути знайденом, а при $p_k > 2 \cdot p_n \cdot p_{n-1}$, де p_n, p_{n-1} – найбільші з основ, може бути і виправленим. Це означає, що при представленні чисел у вигляді (2) створюється завадостійкий код з можливостями або виявлення спотворень, або й їх корекції.

Такий код має недолік, пов'язаний з необхідністю роботи з числами в системі числення в залишкових класах. Цей недолік достатньо просто усувається в коді умовних лишків, який вводиться таким чином.

Хай ϵ код деякого числа A , представленого в будь-якій системі числення, зокрема позиційної, наприклад, двійкової. Для визначеності, хай це число A представлено послідовністю з нулів і одиниць. Розіб'ємо цю послідовність певним, у загальному випадку довільним, чином на n груп, як і для решти узагальнених кодів.

Як і раніше код кожної i -ї групи (пакета) розглядатимемо як s -значний розряд α_i , який може приймати будь-яке з s значень від 0 до $s-1$, де $s = 2^b$, але умовно вважатимемо цей код лишком деякого умовного числа A по основі p_i . Оскільки величина α_i , як елемент початкового числа:

$$0 \leq \alpha_i \leq s-1,$$

а як лишок від ділення A на p_i :

$$0 \leq \alpha_i \leq p_i,$$

то для представлення коду будь-якої групи у вигляді лишку по основі p_i необхідно, щоб виконувалася умова:

$$p_i > s-1,$$

інакше в групу із b розрядів може бути записаним код $\alpha_i \geq p_i$, що в лишкових класах не допустимо.

Приклад. Нехай $b = 3$, $s = 7$, тоді α_i може приймати значення 000, 001, 010, ..., 111. При $p_i = 5$ максимальне значення α_i обмежується кодом 100, тобто коди 101, 110, 111 є «неправильними». Якщо ж взяти $p_i > 7$, наприклад $p_i = 9$, тоді максимальне значення α_i обмежується не величиною p_i , а розрядністю групи b , тобто $\alpha_{\max} = 11$.

При такому підході будь-які комбінації початкового коду числа A «вписуються» в систему числення з основам $p_i (i = 1, 2, \dots)$. Якщо розширити систему основ на контрольну p_k і для одержаного набору умовних лишків $\alpha_i (i = 1, 2, \dots)$ розрахувати умовний лишок α_k , то на одержане умовне число: $A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n1}, \alpha_k$ (3)

розповсюджує можливості СЛК по виявленню і виправленню спотворень, тобто одержаний код (3) має всі властивості коду (2), але останній код може бути отриманим для будь-якої двійкової послідовності, а не тільки щодо чисел в лишкових класах. Відзначимо, що таким чином усунений перший недолік коду (2).

Оскільки для отримання контрольної ознаки, тобто для кодування будь-якої послідовності двійкових цифр завадостійким кодом – умовно, не реально, не фізично – групи розрядів початкового числа розглядаються як деякі лишки, то такий код одержав найменування коду умовних лишків.

Слід звернути увагу на те, що при кодуванні ЛУ-кодом початкова послідовність не міняється, до неї тільки приформовуються додаткові, обчислені за окремими правилами, контрольні символи.

Таким чином ЛУ-код дозволяє знаходити і виправляти b -розрядні пакети спотворень, згруповані в межах будь-якої з n груп і вимагає при цьому надмірність біля: $r \approx 2b+1$ розрядів (оскільки $p_k \approx 2p_n p_{n-1}$, $r = [\log_2 p_k] + 1$). У конкретних випадках ця надмірність може відхилятися в ту або іншу сторону, що залежить також від алгоритмів кодування-декодування.

Оскільки в основі ЛУ-коду лежать властивості СЛК, то в цьому коді принципово можуть бути використані відомі алгоритми кодування-декодування. В основі цих

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

алгоритмів лежить той факт, що будь-яке спотворення в одній з груп розрядів α_i переводить початкове число з робочого діапазону $[0, P = \prod_{i=1}^n p_i)$ в діапазон $[P, R)$, де

$R = p_k \cdot P$, тобто приводить до збільшенню початкового числа $A < P$ на деяку величину $l_i \cdot R_i$. Тут l_i і $R_i = \frac{R}{p_i}$ – цілі числа. Дійсно, якщо вихідне число:

$$A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n, \alpha_k$$

є спотвореним по основі p_i і має вид:

$$\tilde{A} = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \tilde{\alpha}_i, \dots, \alpha_n, \alpha_k,$$

де

$$\tilde{\alpha}_i = \{\alpha_i + \Delta\alpha_i\}(\text{mod } p_i),$$

то це є еквівалентним наступному перетворенню:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n, \alpha_k) + (0, 0, \dots, \Delta\alpha_i, \dots, 0, 0) = \\ &= (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \{\alpha_i + \Delta\alpha_i\}(\text{mod } p_i), \dots, \alpha_n, \alpha_k). \end{aligned}$$

При цьому величина спотворення перевищує величину робочого діапазону P :

$$\Delta A = (0, 0, \dots, \Delta\alpha_i, \dots, 0, 0) > P,$$

оскільки тільки число виду:

$$\Delta A = l_i \cdot R_i = l_i \cdot \frac{R}{p_i}$$

має всі лишки, окрім лишка по основі p_i такими, що дорівнюють нулю. Але $\Delta A = l_i \cdot R_i > P = \frac{P}{p_k}$ тобто, навіть при $l_i = 1$, величина $\frac{R}{p_i} > \frac{R}{p_k}$ по тій причині, що

$$p_k > p_i.$$

Відтак, сума $\tilde{A} = A + \Delta A > P$, тобто спотворене число вийшло за межі робочого діапазону P і попало в діапазон (P, R) .

Відомі алгоритми кодування-декодування якраз і використовують цей факт.

Застосування запропонованих узагальнених кодів дозволяє забезпечити виявлення та виправлення спотворень в b -розрядних узагальнених символах в кожному із базових кодових слів.

Застосування таких кодів дозволить розв'язати сформульовану проблему щодо надійного забезпечення цілісності інформаційних об'єктів в умовах впливу пакетів помилок значної тривалості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Юдін О. К., Конахович Г. Ф., Корченко О. Г. Захист інформації в мережах передачі даних: Підручник. – К.: Видавництво ТОВ НВП «ІНТЕРСЕРВІС», 2009. – 714 с., іл.
2. Юдін О. К. Кодування в інформаційно-комунікаційних мережах: Монографія. – К.: НАУ, 2007. – 308 с.
3. Bernard Sklar *Digital communications* // Prentice Hall PTR, 2001 – 1099 p.

УДК 681.325.5

Г. М. Голуб

**КОМП'ЮТЕРНА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПРОЦЕДУР УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ**

Проведений аналіз концепції Smart Grid-технології та особливості реалізації її на залізничному транспорті, зокрема як основу організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на тягу. Визначено основні технологічні та технічні складові реалізації цієї концепції. Досліджена проблема інтелектуалізації системи електропостачання залізниць, інформатизації процесів оперативного і стратегічного керування, а також інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління електричних мереж на основі сучасних комп'ютерних систем та мережевих технологій.

Проведенный анализ концепции Smart Grid-технологии и особенности реализации ее на железнодорожном транспорте, в частности в качестве основы организации интеллектуальной сети поставки электроэнергии на тягу. Определены основные технологические и технические составляющие реализации этой концепции. Исследована проблема интеллектуализации системы электрообеспечения железных дорог, информатизации процессов оперативного и стратегического управления, а также интеллектуализации режимов функционирования и процедур управления на основе электрических сетей современных компьютерных систем и сетевых технологий.

The analysis of the concept of Smart Grid - Technology and features of the implementation of the railways, in particular as the basis of intelligent network supply for traction. The basic technological components and technical realization of this concept. Investigated the problem of intellectualization electrical system of railways , information processes operational and strategic management and intellectualization modes of operation and procedures for management of electrical networks based on modern computer systems and networking.

Ключові слова: Smart Grid-технології, комп'ютерні системи, мережеві технології, тягові електричні мережі, комп'ютерна інтелектуалізація, інтелектуальна електрична мережа.

Постановка проблеми. У багатьох країнах світу відбулися значні зміни щодо стратегії розвитку енергетики, підприємства енергетичного сектора переживають період реформування.

© Голуб Г. М., 2013

Українська енергетика – одна з галузей, що динамічно розвивається та постійно переоснащується, також переживає період змін. В ринкових умовах електричної галузі висувається ряд підвищених вимог в процесі виробництва, передачі й споживання електроенергії. Досвід експлуатації комп'ютерних засобів і інформаційних технологій при вирішенні задач технологічного управління в енергетиці показав, що для їхнього ефективного використання потрібні нові знання для синтезу нових принципів і методів керування режимами тягових електричних мереж.

Розвиток, з одного боку, комп'ютерних технологій та можливостей Інтернет, поява останніх досягнень в області інформаційних та мережевих технологій, інформаційно-керуючих систем (ІКС) на базі мікропроцесорної та силової електроніки, а з іншого боку – економічне зростання, що нерозривно пов'язане зі збільшенням обсягу енергоспоживання і підвищення вимог до якості і рівня надійності енергопостачання, стали передумовою розвитку нового виду енергетики – інтелектуальної, що визначає шлях до її «інтелектуалізації» [4].

Для оцінки рівня «інтелектуалізації» енергетики у світі став загальновживаним термін Smart Grid, що позначає нові принципи роботи енергетики, і на сьогодні є актуальним питання розробки концепції Інтелектуальних електричних мереж Smart Grid для енергоринку України, зокрема сектора залізничного транспорту.

Система електропостачання залізничного транспорту тісно пов'язана з єдиною енергосистемою України. Однією з основних проблем організації ефективного функціонування систем електропостачання залізниць є забезпечення їх надійності і якості роботи, включаючи організацію економії електричної енергії, що зумовлено зростанням її частки в собівартості продукції. Крім того, слід відзначити недосконалість систем керування в електроенергетиці, що призводить до підвищення рівня аварійності в електроенергетичних системах. І, нарешті, значне зношення основного і допоміжного електроенергетичного обладнання та недостатній рівень розвитку електричних мереж. При такому стані розвиток системних аварій в зв'язку з ненадійністю устаткування й помилками персоналу, як свідчить досвід багатьох країн, може призвести до багатомільйонних економічних втрат. Наведені міркування свідчать про необхідність невідкладного прийняття кардинальних заходів при вирішенні таких питань як: енергозбереження, забезпечення надійності та якості функціонування, оптимізація електроспоживання і відповідно покращення безпеки руху залізничного транспорту новою стратегією розвитку електроенергетики, безпосередньо комп'ютеризацією та інтелектуалізацією технологічних процесів керування тяговими електричними мережами залізниць України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що прийнято нову ідеологію розвитку електроенергетики на основі концепції Smart Grids. Нова платформа енергозабезпечення має назву European Technology Platform Smart Grids.

Основні параметри Smart Grid базуються на результатах роботи американського інституту The Electric Power Research Institute (EPRI) у програмі «IntelliGrid», а також відображені в проектах «Modern Grid Initiative (MGI) та «Grid Wide Architectural Council» (GWAC). У цих роботах сформульовано бачення, архітектурні принципи, обмеження, переваги, необхідні технології, технічна політика щодо Smart Grid. Так, концептуальна модель Smart Grid, прийнята в США, включає сім основних доменів: генерацію електроенергії, її передачу, розподіл, споживачів, ринок, керування та сервісне обслуговування, пов'язаних потоками передачі електроенергії та інформації. Визначено і стандартизовано вимоги до всіх доменів моделі Smart

Grid та сформовано «дорожню карту» реалізації моделі. Відзначаються п'ять основних переваг Smart Grid: надійність та якість електропостачання, перш за все, за рахунок підвищення керованості; безпека; енергозбереження; високий рівень екології; економічність [4].

За найпоширенішим трактуванням Smart Grid-концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої і самовідновлюваної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і містить всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу [5].

В основі трансформації лежить «розумна» технологія Smart Grid, надбудована над інфраструктурою передачі електроенергії відповідно до ключових вимог. Сьогодні зворот «інтелектуальна енергетика» стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики, як в Україні, так і за кордоном.

Мета роботи. Дослідження питання реалізації Smart Grid-технології на залізничному транспорті, зокрема організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на тягу.

Аналіз особливостей інформатизації процесів оперативного і стратегічного керування електричних мереж, роботи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління, а також інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління системи електропостачання залізниць України на основі сучасних комп'ютерних систем та мережевих технологій.

Основна частина. Залізничний транспорт є одним із основних споживачів на ринку електричної енергії. Організація інтелектуальної тягової електричної мережі залізничного транспорту, яка базується на концепції SMART Grid може бути реалізована шляхом формування необхідної сукупності інтелектуальних технологій. Найменування технології є аббревіатурою, яка складається з перших букв, які називають основні критичні цінності нової електроенергетики [1]:

- Доступність – забезпечення споживачів енергією в відповідності з необхідними їм параметрами часу, місця і якості;
- Надійність – можливість протистояння енергосистеми фізичним та інформаційним негативним впливів без тотальних відключень або високих витрат на відновлювальні роботи, а також її максимально швидке відновлення (самовідновлення);
- Економічність – оптимізація тарифів на постачання і зниження загальносистемних витрат на виробництво і розподіл електричної енергії;
- Ефективність – максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів і технологій при виробництві, передачі, розподілі та споживанні електроенергії;
- Органічність з навколишнім середовищем – зниження негативного впливу на навколишнє середовище;
- Безпека – недопущення ситуацій в електроенергетиці, потенційно небезпечних для людей і навколишнього середовища.

Технологічна платформа Smart Grid – це електричні мережі, які відповідають вимогам ефективного та надійного функціонування енергосистеми. Це забезпечується за рахунок скоординованого керування та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами і споживачами». Термін Smart Grid трактується як концепція іновативного перетворення електроенергетики. Це обумовило перегляд низки існуючих базових принципів модернізації галузі. Її можна сформулювати як концепцію побу-

дови повністю інтегрованої, саморегульованої і самовідновлюваної електроенергетичної системи (ЕЕС), що має мережеву топологію і об'єднує всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі та всі види споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв в реальному часі. Це створення інтелектуальних електричних мереж (ІЕМ) ЕЕС [3].

Технології Smart Grid забезпечуватимуть оптимальний розподіл потоків потужності електричної мережі залізниці, зменшення втрат у ній, швидку скоординовану реакцію при аваріях. Ефективність технології визначається автоматизацією прийняття рішень з керування, підвищенням оперативності керування нормальними, доаварійними і аварійними режимами.

Реалізація такої концепції істотно підвищить надійність та економічність функціонування і розвитку інтелектуальної електричної мережі залізничного транспорту.

Передбачається проведення комплексу організаційних змін, побудова нових моделей процесів, залучення нових рішень у галузі інформаційних технологій, нових шляхів і способів інформатизації, а також інтелектуалізації процесів керування тяговими електричними мережами залізниць, реалізація контролю і прогнозу надійності, та істотно збільшити ефективність їх роботи, оптимізація електроспоживання та підвищення безпеки руху та інновацій у сфері створення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) і реформування диспетчерського керування на залізничному транспорті. Все це пов'язано з показниками ефективності залізниць України – якістю і надійністю електропостачання при оптимізації власних витрат та потребує якісно нового рівня інформатизації [5].

Істотне збільшення ефективності застосування сучасних інформаційних технологій можливе лише шляхом проведення досліджень спільних властивостей математичних моделей, методів, алгоритмів, задач управління, особливостей сучасних і перспективних мережних технологій, а також архітектурних особливостей мереж електропостачання і інформаційно-керуючих комп'ютерних систем.

Одним із суттєвих наслідків поширення технологій Smart Grid стане та обставина, що з часом рухомий склад залізничного транспорту набуде здатності до взаємодії в інформаційній мережі, стане керованими і буде виконувати функції вимірювання власного споживання електроенергії та потужності.

Відносно розвитку електропостачання та електрозбереження залізничного транспорту, то він пов'язаний, в першу чергу, з реалізацією нових підходів, коли основна роль приділяється впровадженню нових технологій, зокрема FACTS, та створенню адаптивного електротехнічного мережевого обладнання, розвитку електричних мереж з розподіленою генерацією як структури, що забезпечить надійність і ефективність функціонування та зв'язок генерації і споживачів, створенню нового покоління систем автоматизації та ін.

На сучасному етапі реалізації концепції Smart Grid вибір технічних засобів відіграє вирішальну роль. Перспективні засоби можна розділити на такі основні групи [3]:

I група – це інтелектуальні давачі інформації, контрольно-вимірювальні засоби, прилади обліку та відповідні пристрої. Мова йде про прилади вимірювання параметрів мережі в нормальних, передаварійних, аварійних і післяаварійних режимах роботи, засоби контролю стану об'єктів, що забезпечують роботу систем моніторингу, контролю, діагностування і керування, та інтелектуальні лічильники.

II група об'єднує системи збору та передачі даних, що містять розподілені інтелектуальні пристрої та аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, які працюють у режимі реального часу. Це операційні засо-

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

би, що реалізують функції збору, контролю і моніторингу, діагностування та видачі рекомендацій, організації взаємодії з корпоративними системами та оперативним персоналом. Як приклад, можна виділити інформаційно-вимірювальні системи (SCADA), системи вимірювання параметрів процесів, що протікають (AMOS), розподілену систему контролю процесів генерування (DGMS), розподілену систему моніторингу і контролю попиту (DMCS) та ін.

III група – це інтелектуальні автоматизовані системи керування об'єктами (АСК ТП), інтегровані системи організації вимірювання і обліку споживання електроенергії, телекомунікаційні системи на базі різноманітних ліній зв'язку та системи візуалізації, системи моніторингу перехідних режимів (WAMS), розподілені системи захисту і протиаварійної автоматики (WAPS) та ін.

VI групу складають активні силові елементи та технології, такі як гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS), технології регулювання реактивної потужності, розподіленої генерації, накопичення енергії, нове кабельне обладнання, елементи сигової електроніки, комутаційне обладнання та ін.

Слід зазначити, що однією з головних складових розвитку технології SMART GRID в енергетичній системі є використання гнучких систем електропередачі на базі пристроїв FACTS-Flexible Alternative Current Transmission System.

FACTS – це електропередачі змінного струму, оснащені пристроями сучасної сигової електроніки із застосуванням, якої здійснюється перетворення функції електричної мережі з існуючої «пасивної» в «активну».

Робота пристроїв FACTS забезпечує часткове чи повне виключення негативного впливу, що викликається перевищенням нормативних значень таких показників якості електроенергії, як усталене відключення і розмах зміни напруги, несиметрія і ступінь спотворення синусоїдальності напруги, тривалість провалів напруги. Він виявляється як у споживача, так і в енергосистемі: на електростанціях і в електричній мережі.

Нормалізація параметрів режимів роботи ЕЕС забезпечує стабілізацію напруги на мережевому обладнанні і устаткуванні підстанцій, полегшення режимів роботи турбогенераторів по реактивної потужності, розвантаження від реактивної потужності ліній електропередач і мережевих трансформаторів і може мати наслідками [4]:

- зниження темпів зносу устаткування;
- зниження потоку відмов обладнання з відповідним зменшенням кількості технологічних порушень (ТН);
- зниження активних втрат в лініях електропередач і мережевих трансформаторах.

V група – об'єднуюча складова до якої належать системи та інформаційні технології, що забезпечують обмін даними та інформацією для забезпечення функціонування всіх засобів, що ввійшли до чотирьох груп та ринку

Головне в матеріальній реалізації концепції інтелектуальних мереж – її технічна та технологічна платформа.

Слід також виділити активні елементи, що дозволяють гнучко змінювати характеристики мережі чи реалізувати перетворення електроенергії з метою оптимізації режимів роботи. Мається на увазі збільшення пропускної спроможності, зменшення технологічних втрат, забезпечення відповідних показників якості електричної енергії та ін. В першу чергу, – це засоби та технології, що застосовуються для створення гнучких ліній передачі змінним струмом. За різними оцінками застосування обладнання FACTS дозволяє збільшити пропускну здатність відповідних перетинів

до 20% та зменшити технологічні втрати до 40%. Крім того, до цієї групи належать силові технічні засоби, що налічують більше двох десятків різноманітних пристроїв для регулювання реактивної потужності і напруги, параметрів мережі, обмеження струмів КЗ, накопичення електричної енергії, перетворення струму змінного в постійний і навпаки [1].

Нове покоління засобів інформаційно-вимірювальних систем, автоматизації та автоматики, які працюють в реальному часі і дозволяють вирішувати задачі керування електроенергетичними об'єктами (АСК ТП), контролю та керування електроживленням, релейного захисту та протиаварійної автоматики, моніторингу та діагностування стану технологічного обладнання, належать до наступної групи. Головне призначення обладнання цієї групи – це реалізація режимів роботи електричних систем та мереж відповідно до умов роботи ринку електричної енергії, попередження та мінімізація наслідків аварійних ситуацій.

І зрештою, інформаційно-технологічне обладнання, системи та ІР-забезпечення центрів керування ЕЕС, які здійснюють координацію режимів роботи електричних мереж з урахуванням їхніх нових можливостей. Йдеться про використання розподіленої генерації, активного мережевого обладнання та підстанційної і станційної автоматики. Фактично буде реалізовано принципово нову технологію керування ЕЕС у реальному часі з урахуванням особливостей функціонування ринків електричної енергії.

Одна з ключових позицій у процесі реалізації ідеології Smart Grid та створення ІЕМ належить силовій електроніці. Це стосується задач забезпечення функціонування адаптивних силових елементів, вирішення проблем енергозбереження та енергоефективності. Силова електроніка робить енергосистему не тільки більш гнучкою в керуванні та стійкою до різного роду збурень, але і дозволяє значно знизити втрати електроенергії при роботі з частковим навантаженням (оптимізація шляхів передачі енергії), знизити капітальні витрати за рахунок можливості введення менших потужностей. При цьому відкриваються нові можливості у забезпеченні оптимальних параметрів робочих режимів ЕЕС та їхніх електричних мереж за рахунок застосування нових силових пристроїв та технологій [3].

Виділяють основні технології інтелектуальної електроенергетики: системи моніторингу та діагностики (WAMS); уніфікована система керування енергопотокami (UPFC); гнучкі технології передачі на змінному струмі (FACTS, FACDS); гнучкі технології передачі на постійному струмі (FACDS); лінії електропередачі постійного струму (HVDC), надпровідні матеріали [2].

Основною метою розвитку електропостачання залізничного транспорту тягової електричної мережі залишається перехід до інтелектуальної тягової електричної мережі з новими якостями, одними з яких є керування попитом в режимі реального часу, розвиток технологій накопичення електроенергії, побудова інтегрованих систем енергопостачання.

Інтегровані системи електропостачання (СЕР) на тягу з активним споживачем в сучасних умовах стають дієвим механізмом керування попитом на електричну енергію та підвищення рівня ефективності енерговикористання. Це обумовлює необхідність вирішення таких задач [2]:

- зниження рівнів введення нової генерації за рахунок більш ефективного керування динамічними потоками електроенергії, зокрема, графіками навантажень;

- створення сучасних інтелектуальних засобів контролю та керування інтегрованими СЕП, оснащення мереж електротехнічним обладнанням нового покоління, у першу чергу, пристроями СЕ;
- широкомасштабний моніторинг режимів з метою забезпечення високої надійності та стійкості процесів передачі і розподілу електроенергії та підвищення керованості електричної мережі;
- посилення ролі on-line керування розподільними мережами, підвищення ефективності їх функціонування за рахунок мережевого моніторингу роботи розосереджених технічних засобів регулювання та генерації електроенергії;
- ефективне керування роботою активного споживача.

Забезпечення надійного та ефективного функціонування електроенергетичних систем безпосередньо пов'язане з рівнем інформатизації та інтелектуалізації їх систем моніторингу та керування.

Інформатизація – це найперспективніший і найменш витратний шлях підвищення надійності та ефективності електроенергетичного виробництва, який, у порівнянні з іншими, не потребує значних інвестицій [5].

Системи моніторингу параметрів режимів функціонування та стану обладнання електроенергетичних об'єктів покликані виявляти загрози його пошкодження та запобігати виникненню аварійних ситуацій. Завдяки цьому забезпечується можливість своєчасного виведення обладнання в ремонт та проведення ремонтних робіт, чим забезпечується подовження терміну його експлуатації.

Що стосується інформаційної техніки та технологій, то Україна практично повністю готова до вирішення всіх завдань. Створено і широко впроваджено первинні і вторинні датчики та прилади для потреб енергетики від зразкових до робочих, інформаційні системи на базі комплексу «Регіна», які забезпечують практично всі сучасні завдання інформатизації електроенергетики: моніторинг усіх режимів, контроль, діагностику [5]. На базі комплексу «Регіна» одержано інші важливі наукові, технічні та технологічні рішення світового рівня, необхідні для створення інтелектуальних мереж електропостачання на тягу залізниць. Особливо слід наголосити на створенні та впровадженні комплексу «Регіна-Ч» для точного вимірювання векторів напруги та частоти в енергосистемі з високоточною синхронізацією цих вимірів у часі за допомогою супутникової системи GPS. На їхній основі розпочато створення сучасної технології і системи моніторингу (WAMS) та технології керування електропередачами в режимі *on-line* (WACS).

Висновки

1. Проведено аналіз реалізації Smart Grid-технології на залізничному транспорті, зокрема організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на тягу, що дозволить розширити спектр ринкових послуг, оптимізувати функціонування тягових мереж шляхом зміни в реальному часі їх топологій, забезпечити оперативне і стратегічне керування на основі сучасних методів інтелектуалізації та ситуаційного моделювання, а також організувати технічне обслуговування і ремонт за станом.

2. Розглянуті умови для створення інтелектуальної електричної тягової мережі із застосування новітніх комп'ютерних і інформаційних технологій, які відкривають можливість накопичувати в електроенергетиці «нові знання», що дозволять різко підвищити ефективність функціонування тягової електричної мережі, забезпечити інтелектуальний облік електроенергії по комерційних диференційованих

тарифах, оптимізувати загальносистемні витрати, реалізувати інтегральну тарифікацію.

3. Проаналізовані особливості інформатизації процесів оперативного і стратегічного керування електричних мереж, роботи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління, а також інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління системи електропостачання залізниць України на основі сучасних комп'ютерних систем та мережевих технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Якименко Ю. І., Прокопенко В. В., Денисюк С. П., Закладний О. М. Smart-системи як одна із основних складових сталого розвитку енергетики // Енергетика: економіка, технології, екологія. – К: НТУ «КПІ». – 2010. – № 1. – С. 4 – 13.
3. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Денисюк С. П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44 – 50.
4. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С. 5. – 20.
5. Стасюк О. І., Гончарова Л. Л., Максимчук В. Ф., Голуб Г. М. Методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Харків. – 2013. – № 5. – С. 29 – 36.

УДК 004.942

*Л. І. Тимченко
С. В. Наконечна*

**КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ БАГАТОРІВНЕВИХ
ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ
GPU-ОРІЄНТОВАНОЇ АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ**

Розглянуто методологічні особливості архітектури відеоадаптерів для програмної реалізації паралельних обчислень. Розроблено схему алгоритму, який реалізує пряме та зворотне паралельно-ієрархічне перетворення зображень на основі паралельних GPU-систем.

Рассмотрены методологические особенности архитектуры видеоадаптеров для программной реализации паралельных вычислений. Разработана схема алгоритма, который реализует прямое и обратное паралельно-иерархическое преобразование изображений на основе паралельных GPU-систем.

Methodological features of the architecture of adapters for the software implementation of parallel computing are considered. The scheme of the algorithm, which implements the direct and inverse parallel-hierarchical transformation of images on the basis of parallel GPU systems are developed.

Ключові слова: SIMD-блок, паралельно-ієрархічне перетворення, G-перетворення, графічний процесор.

Вступ. При організації паралельних обчислень не можна обійтись без використання багатопроцесорних обчислювальних систем. Одним з таких способів є застосування паралельних обчислень на основі графічних процесорних пристроїв GPU (Graphical Processor Unit). Дана розробка концентрується на дослідженні архітектури, структури, адекватних програмних моделей, що інтегрують парадигми паралельного та розподіленого програмування на основі технологій паралельно-ієрархічної обробки інформації та GPGPU.

Варто зазначити, що проблема використання графічних процесорних пристроїв для обробки зображень була і є досить актуальною. Над нею працюють в багатьох університетах світу та описана вона у таких працях: J.M. Li, D.L. Wan, Z.X. Chi and X.P. Hu («A parallel particle swarm optimization algorithm based on fine-grained model with GPU-accelerating», Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of Technology, vol. 38, no. 12, pp. 2162-2166, Dec. 2006), R.J. Meuth («GPUs

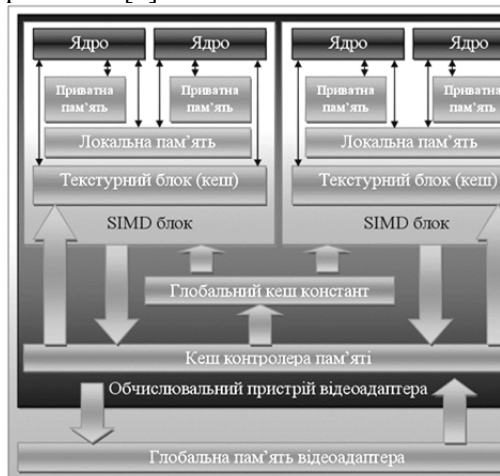
© *Тимченко Л. І., Наконечна С. В., 2013*

surpass computers at repetitive calculations», Potentials, IEEE, vol. 26, no. 6, pp. 12-23, Nov.-Dec. 2007), Sejun Kim («A GPU based Parallel Hierarchical Fuzzy ART Clustering»), Andrew Nere («Optimizing Hierarchical Algorithms for GPGPUs», University of Wisconsin Madison, April 26, 2010), Michigan Technological University.

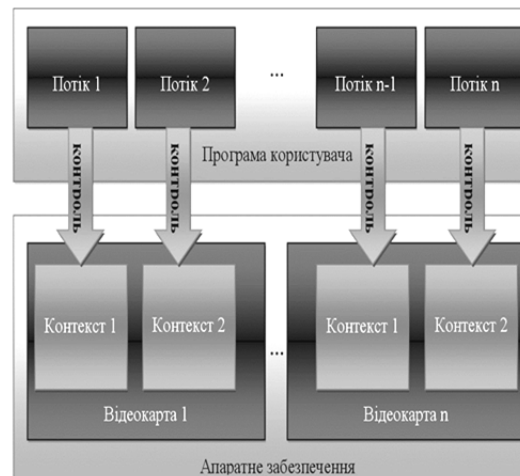
У вище зазначених університетах проводяться наукові дослідження щодо прискорення швидкості обробки зображень, GPGPU-прискорені розширення інтелектуальної моделі, широкий спектр досліджень проводиться з метою створення інтелектуальних систем обробки за зразком мозку.

Узагальнена модель програмування GPU. Розглянемо методологічні особливості архітектури відеоадаптерів для програмної реалізації паралельних обчислень (обчислень загального призначення) на низькому рівні програмування. На рис. 1. зображено спрощену структурну модель відеоадаптера. Варто відзначити, що кількість обчислювальних блоків у сучасних відеоадаптерах набагато більше двох. Кількість ядер у кожному обчислювальному блоці також набагато вища. Локальна пам'ять використовується лише при обчисленнях загального призначення для синхронізації потоків [1]. Таким чином, принцип паралелізму реалізовано в сучасних відеоадаптерах на багатьох рівнях. У паралельно працюючих над різними задачами (потокami інструкцій) SIMD-блоках виконується паралельне оброблення даних однієї задачі. Усі ядра у SIMD-блоці виконують одні і ті самі операції, але над різними операндами, тобто розділяють потік інструкцій. Кожне ядро одночасно може обробляти декілька потоків, кількість яких обмежена лише обсягами локальної пам'яті ядра [1].

На рис. 2. наведено узагальнену модель програмування відеоадаптерів. Усі сучасні платформи API для програмування відеоадаптерів підтримують можливість використання декількох відеоадаптерів у межах однієї системи (наприклад, SLI у NVIDIA або Crossfire у AMD). Для кожного відеоадаптера можна призначити декілька контекстів виконання, і з кожним контекстом асоціюється один потік операційної системи. В рамках контексту створюються шейдери та виділяється пам'ять під дані користувача. Одночасно на одному відеоадаптері може виконуватись лише один шейдер із одного контексту. Процеси виклику і передавання даних є асинхронними [1].



*Рис. 1. Узагальнена
структурно-функціональна схема
GPGPU-моделі*



*Рис. 2. Узагальнена модель
програмування GPU*

Для реалізації паралельно-ієрархічного перетворення (ППП) на основі GPU необхідно модифікувати його класичну математичну модель [2]. Архітектура графічних адаптерів дає можливість запускати величезну кількість потоків одночасно, також ядро відеоадаптера здатне виконувати арифметичні операції швидше за процесорне ядро (CPU), але на відміну від центрального процесора звернення до пам'яті на відеоадаптері відбувається повільніше, а час на копіювання даних пам'яті з відеоадаптера на центральний процесор та навпаки, може значно вплинути на час роботи програми, та позбавити вигаду у швидкодії. Також обмеженням є те, що неможливо контролювати усі потоки без взаємодії з центральним процесором. Саме тому оптимізація алгоритму повинна бути направлена на зменшення кількості звернень до глобальної пам'яті усіма потоками одночасно, зменшення обсягів пам'яті, які пересилаються з центрального процесора на відеоадаптер та навпаки [2].

У модифікованому алгоритмі PPP використовуються операції над матрицею чисел A , яка називається матрицею стану або просто станом. Також використовується допоміжна матриця стану B , для збереження проміжного результату [2, 3]. Утворення масок виконується за допомогою матриці $filter$, на кожному рівні маски зберігаються в матрицю $masks$.

Матриці станів A , B і матриця $masks$ мають розмірність $K \times K$:

$$K = 2 \times \max(N, M) - 1 \quad (1)$$

де, N та M – відповідно ширина та висота вхідної матриці.

Матриця $filter$ має розмірність $(K \times 256)$, де 256 – зумовлене максимальним числом, яке може бути у вхідній матриці оброблюваного зображення. При зміні обмежень вхідних даних на максимальне число, також потрібно буде змінити константну складову розмірності матриці $filter$. Коефіцієнт K , визначений у ході проведених досліджень гарантує, що більшого обсягу пам'яті у ході роботи алгоритму не буде потрібно.

Розглянемо модель виконання прямого PPP з утворенням масок. Вхідна матриця зображення копіюється в матрицю стану A . Виконується перша ітерація прямого PPP. Його особливістю є те, що не відбувається операції зсуву, лише G -перетворення, яке розбито на дві частини.

Перша частина – операція « $preG$ », або сортування, підготовка матриці стану до операції G -перетворення. Кожен елемент матриці $filter$ приймає значення одиниці, якщо його індекс стовпця присутній серед елементів відповідного рядка матриці стану A , інакше елемент матриці $filter$ приймає значення нуля:

$$filter[i][j] = \begin{cases} 1 : j \in A[i], \\ 0 : j \notin A[i]; \end{cases} \quad (2)$$

де $0 \leq i < K$, $0 \leq j < 256$.

Таким чином, буде виконано сортування елементів матриці стану A за допомогою алгоритму блочного сортування. У матриці $filter$ буде знаходитись результат сортування.

Друга частина – власне G -перетворення, виконується для кожного рядка окремо. В допоміжну матрицю стану B у межах рядка спочатку записується найменший індекс j стовпця такого елемента, відповідного рядка матриці $filter$, значення якого рівне одиниці, індекс j позначається як розглянутий. Для кожного наступного елемента рядка матриці стану B присвоюється значення різниці: $j_{cur} - j_{prev}$, де j_{prev} – найбільший індекс стовпця у відповідному рядку матриці $filter$, елемент якого рів-

ний одиниці, і який ще не було розглянуто, j_{cur} – індекс, значення якого найбільше серед розглянутих індексів. Після обчислення значення поточного елемента рядка допоміжної матриці стану B , індекс j_{prev} позначається як розглянутий. Якщо всі індекси стовпців елементів відповідного рядка матриці $filter$ розглянуто, то елементи допоміжної матриці стану B , значення яких ще не визначено, стають рівними нулю.

$$B[i][j] = j_{cur} - j_{prev} \quad (3)$$

Для утворення масок, під час виконання G -перетворення, кожен ненульовий елемент матриці $filter$ замінюється на число – порядковий номер елемента в межах рядка, починаючи з одиниці, серед елементів значення яких не дорівнює нулю:

$$filter[i][j] = size(\{filter[i][k] : 0 \leq k \leq j, filter[i][k] \neq 0\}) \quad (4)$$

де, $0 \leq i < K$, $0 \leq j < 256$ та $filter[i][j] \neq 0$.

Після цього елементи матриці $masks$ обчислюються за таким виразом:

$$masks[i][j] = filter[i][A[i][j]] \quad (5)$$

За виключенням перших ітерацій прямого ППП у матриці $masks$ буде записано велику кількість нулів. Це дає можливість ущільнити маски для того, щоб результат виконання перетворення займав менше місця, для цього можна використати відповідний алгоритм стиснення.

У кінці ітерації матриця стану A заповнюється нулями. Після чого стан A міняється зі станом B місцями.

На кожній наступній ітерації виконуються аналогічні дії як у першій ітерації, за винятком того, що під час виконання G -перетворення у допоміжну матрицю B елементи записуються не по рядках, а по стовпцях, при цьому обробка матриці $filter$ залишається такою самою [3]. Також запис у матрицю B починається не з першого рядка для усіх стовпців, а з деяким зсувом p_i :

$$B[j][p] = j_{cur} - j_{prev} \quad (6)$$

$$p_i = i - 1 \quad (7)$$

де, $0 \leq i < K$, $p_i \leq p < K$, $0 < j < 256$, i – номер відповідного рядка матриці $filter$.

Для нульового стовпця запис у допоміжну матрицю стану B починається з нульового рядка, при цьому перший розглянутий індекс, хвостовий елемент, не записується у матриці B , а зберігається у спеціальному списку хвостових елементів.

Ітерації прямого ППП продовжуються доти, доки утворений хвостовий елемент не буде рівним нулю. Узагальнена схема алгоритму прямого ППП з утворенням масок наведено на рис. 3. Алгоритм зворотного ППП виконує перетворення хвостових елементів та матриці масок у початкове зображення, яке було перетворене за допомогою алгоритму прямого ППП з утворенням масок [4]. Зворотне ППП оперує двома матрицями станів A і B , та матрицею $masks$, в якій зберігаються маски для виконання однієї ітерації алгоритму. Маски та хвостові елементи утворені під час прямого ППП опрацьовуються послідовно у зворотному порядку їх створення (рис. 4).

Матриці станів A і B та матриця $masks$ мають розмірність $K \times K$, як і під час прямого ППП з утворенням масок. На початку кожної ітерації відбувається розпакування відповідних ітерацій масок. Алгоритм розпакування залежить від алгоритму ущільнення даних виконаного під час виконання прямого ППП. Після цього виконується операція зворотного G -перетворення матриці стану A , яку разом з матрицею B перед виконанням першої ітерації заповнюють нулями.

$$B[i][j] = \sum_{k=0}^K (A[j][k] : masks[j][k] \leq (i+1)) + \begin{cases} h : j = 0, \\ 0 : j \neq 0; \end{cases} \quad (8)$$

Де $0 \leq i, j < K$, h – відповідний хвостовий елемент.

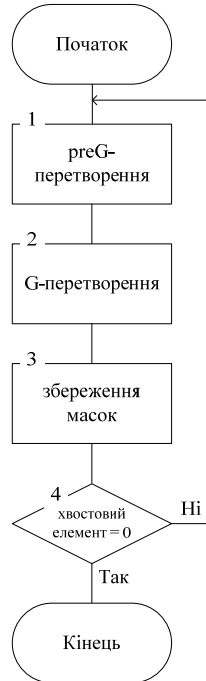


Рис. 3. Узагальнена схема алгоритму прямого ПП з утворенням масок

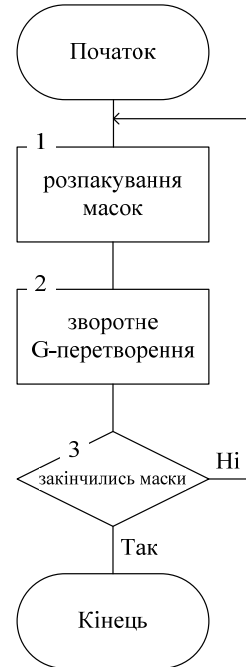


Рис. 4. Узагальнена схема алгоритму зворотного ПП

Після чого матриці станів A і B міняються місцями. Матрицю B заповнюють нулями. Оскільки під час виконання прямого ПП з утворенням масок не відбувається транспонування, зсув матриці стану та не утворюється хвостовий елемент, операція зворотного G -перетворення в останній ітерації зворотного ПП виконується за виразом:

$$B[i][j] = \sum_{k=0}^K (A[i][k] : masks[i][k] \leq (i+1)), \quad \text{де } 0 \leq i, j < K. \quad (9)$$

Відповідно до описаної математичної моделі ПП оброблення зображень, і на основі запропонованого методу оптимізації масок розроблено схему алгоритму, який реалізує пряме та зворотне ПП зображень на основі паралельних GPU-систем. В ході алгоритму виконуються пряме ПП перетворення (рис. 5) [5]:

- модуль 1 – після запуску програми відбувається перевірка наявності необхідного апаратного та програмного забезпечення. Користувач, користуючись графічним інтерфейсом програмного модуля, завантажує вхідні дані. Виділяється та ініціалізується необхідна кількість пам'яті та завантажуються дані;

- модуль 2 – визначається, яким саме алгоритмом потрібно обробляти дані. Якщо це зображення, то виконується пряме ПП (модуль 3), для виконання зворотного ПП потрібно, щоб вхідні дані склалися з хвостових елементів та набору масок (модуль 4);

- модуль 3 – виконується операція *preG*-перетворення;
- модуль 5 – дані обробляються операцією *G*-перетворення;
- модуль 7 – утворені маски ущільнюються, щоб зменшити обсяг зайнятої пам'яті;



Рис. 5. Схема алгоритму роботи програмного модуля ППІ

- модуль 9 – якщо утворений хвостовий елемент рівний нулю, то виконання прямого ППІ припиняється (перехід до модуля 10), інакше виконується ще ітерація;
- модуль 4 – завантажені маски розпаковуюються;
- модуль 6 – на основі масок та хвостового елемента виконується операція зворотного *G*-перетворення;
- модуль 8 – якщо масок більше немає, то виконання зворотного ППІ припиняється (перехід до модуля 10), інакше виконується ще ітерація;
- модуль 10 – результат перетворення вхідних даних зберігається у відповідному форматі і відображається користувачеві, за допомогою графічного інтерфейсу.

Необхідною вимогою також є те, що описані математичні моделі прямого та зворотного ППІ повинні бути організовані у вигляді програмних бібліотек. Для гарантії якості та перевірки роботи потрібно виконати окремо тестування кожного блока. Для зручності роботи з програмою потрібно так спроектувати графічний інтерфейс, щоб розділити логіку алгоритму від його представлення, тому інтерфейс користувача розроблено у окремому блоці. Результатом проектування є система

прямого та зворотного ППП на основі технологій GPGPU. Для досягнення максимальної паралелізації математичну модель модифіковано. Спроековано діаграми варіантів використання, рівнів і класів. Отримана структура системи дає можливість вирішити поставлену задачу. Узагальнену структурну схему спроектованої системи прямого та зворотного ППП наведено на рис. 6.

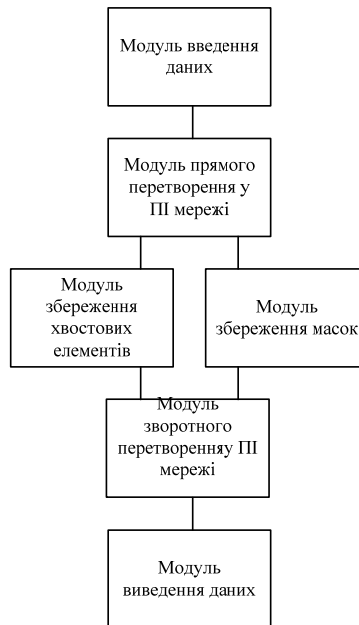


Рис. 6. Узагальнена структурна схема ШОС на основі GPGPU-технологій

Зупинимося на аналізі результатів тестування розробленого нового програмного комплексу ППП інформаційних середовищ на основі маскового методу на базі апаратної платформи GPU, тобто графічних спецпроцесорів відеоадаптера (з використанням технологій GPGPU) [1]. Для написання основного програмного модуля обрано технологію CUDA, оскільки на сьогодні графічний процесор з підтримкою CUDA є потужною програмованою відкритою архітектурою. Для розробки графічного інтерфейсу було обрано декларативну мову програмування Qml, для реалізації внутрішньої логіки програми, та зв'язку з інтелектуальним модулем використано мову програмування високого рівня C++. Qml (Qt Meta-Object Language) є декларативною мовою для розробки та дизайну інтерфейсу програм, яка є частиною фреймворка Qt. Перевагою є те, що програми написані з використанням Qml можуть працювати на мобільних платформах таких як Android, Maemo, Symbian. Синтаксис мови складається з операторів мови програмування C++, JavaScript та CSS [6]. Для роботи із основним програмним модулем, який власне реалізує ППП на GPU потрібно:

- 1) додати вихідні коди до проекту;
- 2) створити один примірник класу `vector<vector<int>>`: заповнити його значеннями пікселів зображення (здійснюється автоматично після процедури завантаження зображення);
- 3) викликати метод PI, параметрами якого потрібно вказати двовимірний масив зображення, змінну типу `int`, в яку буде записано тривалість роботи програми в мілісекундах, та одновимірний масив типу `vector<int>`, в який буде записано результат роботи програми.

В основному програмному модулі визначено тип структури *Array*, який використовується для представлення масиву чисел, що знаходиться в пам'яті відеоадаптера.

Функція *PIsort* – призначена для виконання першої частини операції *G*-перетворення (сортування).

Функція *PIkernel* – виконує другу частину операції *G*-перетворення (нормування).

Функція *PIpreCalculate* – використовується для виконання першої ітерації ППП.

Функція *aPI* – виділяє пам'ять, яка необхідна для роботи алгоритму, контролює виконання перетворення.

Функція *PI* – інтерфейс модуля, саме через цю функцію зовнішні програмні пакети можуть виконувати ППП.

Програмний модуль функціонує, виконуючи такі етапи:

- 1) завантаження зображення – у вигляді двовірного набору чисел;
- 2) виконання прямого ППП з оптимізацією масок.

Результатом роботи програмного модуля є набір хвостових елементів, який відображається у нижній частині вікна програми.

За допомогою спеціалізованого програмного продукту NVIDIA Parallel Nsight (компанії NVIDIA) було здійснено аналіз продуктивності роботи реалізованої програми на графічних процесорах відеоадаптера (GPU) [6]. Для прикладу, в результаті перетворення кольорового зображення розмірністю 878×878 пікселів (2 312 652 елемента вхідної матриці) отримано часову діаграму роботи програми, яка переконливо свідчить про підвищення продуктивності оброблення зображення за рахунок природної розпаралелізації обчислювального процесу ППП в межах окремо призначених потоків [7]. Результати роботи обчислювального комплексу на базі апаратної платформи GPU співпали з результатами математичного та комп'ютерного моделювання, а результати, отримані обчислювальним комплексом, повністю збігаються з результатами роботи розробленого обчислювального комплексу на базі апаратної платформи центрального процесора (CPU), проте час виконання ППП є меншим ніж у CPU-версії.

ЛІТЕРАТУРА

1. GPGPU: General Purpose computations on Graphic Processing Unit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gpgpu.org>.
2. Кожем'яко В. П., Кутаєв Ю. Ф., Свечніков С. В., Тимченко Л. І., Яровий А. А. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту: [монографія]. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с.
3. Яровий А. А., Богомолов Ю. С., Сугак І. М. Методологічні та прикладні аспекти реалізації мережної моделі прямого та зворотного паралельно-ієрархічного перетворення // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали. Міжнародної науково-технічної конференції SAIT. – К., 2011, 23–28 травня / – К.: ННК «ІПСА НТУУ «КПІ», 2011. – С. 518.
4. Кожем'яко В. П., Тимченко Л. І., Кутаєв Ю. Ф., Івасюк І. Д. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейророботичних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Основи теорії пірамідально-сітьового перетворення зображень. – К: УМК ВО, 1994. – 272 с.
5. Тимченко Л. І., Свечніков С. В., Кокряцкая Н. И., Івасюк І. Д., Мельников В. В., Макаренко Р. В. Паралельно-ієрархічні мережі: [монографія]. – К.: ЗАО «Випол», 2010. – 653 с.
6. QML Reference Documentation – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://qt-project.org/>.
7. Яровий А. А. Особливості організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних процесів / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – № 2 (22). – С. 55 – 64.

УДК 656.2

*Г. І. Кириченко
О. Г. Стрелко
Ю. А. Бердніченко
О. О. Макарова*

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ В УМОВАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Проведено аналіз сучасних інформаційних систем та технологій, які використовуються на сортувальних станціях України. Розглянуті функціональні можливості, які були досягнуті при інтеграції АСУ СС в АСКВПУЗ-Є та проаналізовано подальший розвиток автоматизованої підсистеми «Динамічна робота станційного вузла».

Проведен анализ современных информационных систем и технологий, используемых на сортировочных станциях Украины. Рассмотрены функциональные возможности, которые были достигнуты при интеграции АСУ СС в АСКВПУЗ-Е и проанализировано дальнейшее развитие автоматизированной подсистемы «Динамическая работа станционного узла».

Analysis of modern information systems and technologies used in switchyard Ukraine. The functional capabilities that have been made in the integration of management information in the SS-ASKVPUZ are analyzed and further development of automated subsystem "Dynamic work station node."

Ключові слова: сортувальна станція, інформаційні системи, технології, динамічна модель, залізничний транспорт.

Сортувальні станції виконують основну роботу з формування і розформування поїздів, від яких значною мірою залежать потрібний парк вагонів для виконання заданого обсягу перевезень та швидкість доставки вантажів.

Скорочення часу знаходження вагонів на сортувальних станціях значно впливає на прискорення доставки вантажів і задоволення потреб клієнтів у перевезеннях. Наявність непродуктивного простою вагонів в очікуванні виконання операцій на сортувальних станціях погіршує ефективність роботи, що є неприпустимим в умовах ринкової економіки. Тому виникає необхідність в удосконаленні системи автоматизації та інформатизації відповідних технологічних процесів сортувальних станцій.

Для управління процесом формування та розформування составів, приймання та видачі вантажів та виконання інших функцій постала необхідність створення автоматизованої системи станції у єдиному інформаційному середовищі залізниці АСК

© Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердніченко Ю. А., Макарова О. О., 2013

ВП УЗ-Є. Аналогічні за своєю суттю системи типу АСУ СС на різних програмно-апаратних комплексах, з урахуванням різної специфіки роботи, вже функціонували на станціях залізниці.

З метою скорочення часу знаходження вагонів на сортувальних станціях в 70-х роках минулого сторіччя була розроблена та почала впроваджуватися автоматизована система керування сортувальною станцією – АСУ СС. Автором цієї розробки було ПКТБ АСУЗТ Міністерства шляхів сполучення. Але вже в 90-х роках стало зрозуміло, що АСУ СС морально застаріла і вимагала модернізації. Було розроблено українську версію АСУ СС, яка дістала назву Комплексної системи електронного обміну даними – сортувальна станція – КСЕОД-СС. Основним розробником української версії системи були фахівці інформаційно-обчислювального центру Південної залізниці. Крім того, до розробки були залучені спеціалісти Львівської та Південно-Західної залізниць.

Перша версія КСЕОД-СС функціонально не відрізнялася від попередньої розробки, але впровадження персональних комп'ютерів та інтерфейсів автоматизованих робочих місць значно поліпшили якість роботи працівників станції. Нова система суттєво прискорювала обробку інформації. Система КСЕОД-СС була впроваджена на залізницях України і її функціональна складова постійно вдосконалювалась під час експлуатації. Ця система і до теперішнього часу ще працює на деяких станціях, але основним недоліком цієї системи наразі є несумісність із сучасними операційними системами, відсутність можливості графічного відображення інформації.

Система управління перевізним процесом станції потребує ефективного управління багатьма об'єктами, яке неможливе без інформації про стан об'єктів, без наявності прогнозу процесів з об'єктами, які ще не знаходяться безпосередньо під управлінням станції. Така інформація повною мірою присутня в АСК ВП УЗ. При розробці сучасної автоматизованої системи управління станцією вирішувалось подвійне завдання – збереження функцій АСУ СС у комплексі та при взаємодії з підсистемами загального інформаційного середовища (рис. 1)

Архітектурою та функціоналом АСК ВП УЗ-Є встановлено, що інформація про події з об'єктами управління передається з АРМів працівників залізниць до центральної бази даних про перевізний процес, де оброблюється, зберігається та утворюються окремі моделі перевізного процесу. Модель системи, підсистеми – це віртуальне відображення окремої ланки технологічного процесу з об'єктами управління, на підставі інформації про події з цими об'єктами. Сукупність моделей перевізного процесу утворюється з метою виконання цілей та реалізації функції системи АСК-ВПУЗ – Є. Мета системи – повне інформаційне забезпечення всіх технологічних складових процесу перевезень.

Моделі знаходяться у взаємодії і строгій ієрархії по законах логічних контролів та створюються відповідно до чинних законів, нормативів, наказів, інструкцій тощо. Множина моделей перевізного процесу складає логічну базу даних, що забезпечує єдність інформаційного середовища АСКВПУЗ-Є. Моделі зв'язані між собою різними відношеннями. Кожна модель характеризується множиною атрибутів, які поділяються на групи, що не пересікаються між собою – це грані моделі, вони можуть містити внутрішні грані.

Склад граней та атрибутів для кожної моделі специфічний, але можуть існувати типові грані та атрибути, які характерні для базового типу у цілому. Таки чином, всі моделі обов'язково включають так звану головну грань, що містить унікальний

Функціональні можливості, які були досягнуті при інтеграції АСУ СС в АСКВ-ПУЗ-Є дають можливість впроваджувати цю систему не лише на сортувальних, але і на станціях, де є в цьому потреба. Так в АРМі ДСП та АРМі ПКО використовується модель парків і колій. Подальший розвиток автоматизованої підсистеми «Динамічна робота станційного вузла» неможливий без взаємодії з моделлю під'їзних колій, адже на всіх сортувальних станціях виконується великий обсяг роботи при участі під'їзних колій.

Для роботи з динамічною моделлю станції на базі автоматизованого робочого місця працівників господарства перевезень рівня станції був розроблений додатковий профіль СТЦ – автоматизоване робоче місце працівника станційного технологічного центру з обробки поїзної інформації і перевізних документів. Саме в ньому зосередились усі функції по роботі з автоматизованою підсистемою «Динамічна робота станційного вузла».

Наявність бази даних та прикладне програмне забезпечення реалізують такі функції АС:

- складання та видача розміченого натурного листа;
- складання та видача сортувального листа;
- облік накопичення вагонів на коліях сортувальних та приймально-відправних парків;
- автоматичне формування натурного листа поїзда по відправленні;
- поточне планування поїздоформування за періодами доби;
- аналіз вагонопотоків і виявлення порушень потоків планоформування;
- можливість формування поїзда за вимогами терміну доставки;
- можливість формування поїзда за визначеними диспетчерським апаратом умовами;
- облік наявності поїздів та вагонів в парках станцій і роботи з ними;
- складання форм станційної звітності ДО-2 і ДО-6; ДУ -2, 3, 4
- інформаційне обслуговування працівників станції.

Протягом 2013 р. на базі автоматизованого робочого місця працівника станційного технологічного центру з обробки поїзної інформації і перевізних документів з'явилися додаткові функції та можливості. А саме, відображення у головному екрані профілю СТЦ інформації про кількість технічно несправних вагонів на колії з розкриттям пономерного списку у вигляді додаткової розширеної вихідної форми; програмне забезпечення оформлення актів про затримку вагонів форми ГУ-23 та ін. Особливо важливим є реалізація в динамічній моделі станції зв'язку між вагоном і відправкою (перевізним документом).

Сортувальні станції на залізницях відіграють провідну роль в організації перевізного процесу. Застосування новітніх автоматизованих систем на сортувальних станціях з кожним роком постійно розширюється, охоплюючи все нові сфери керування та контролю. На сьогоднішній день сукупність автоматизованих систем є найважливішим елементом управління залізничного транспорту.

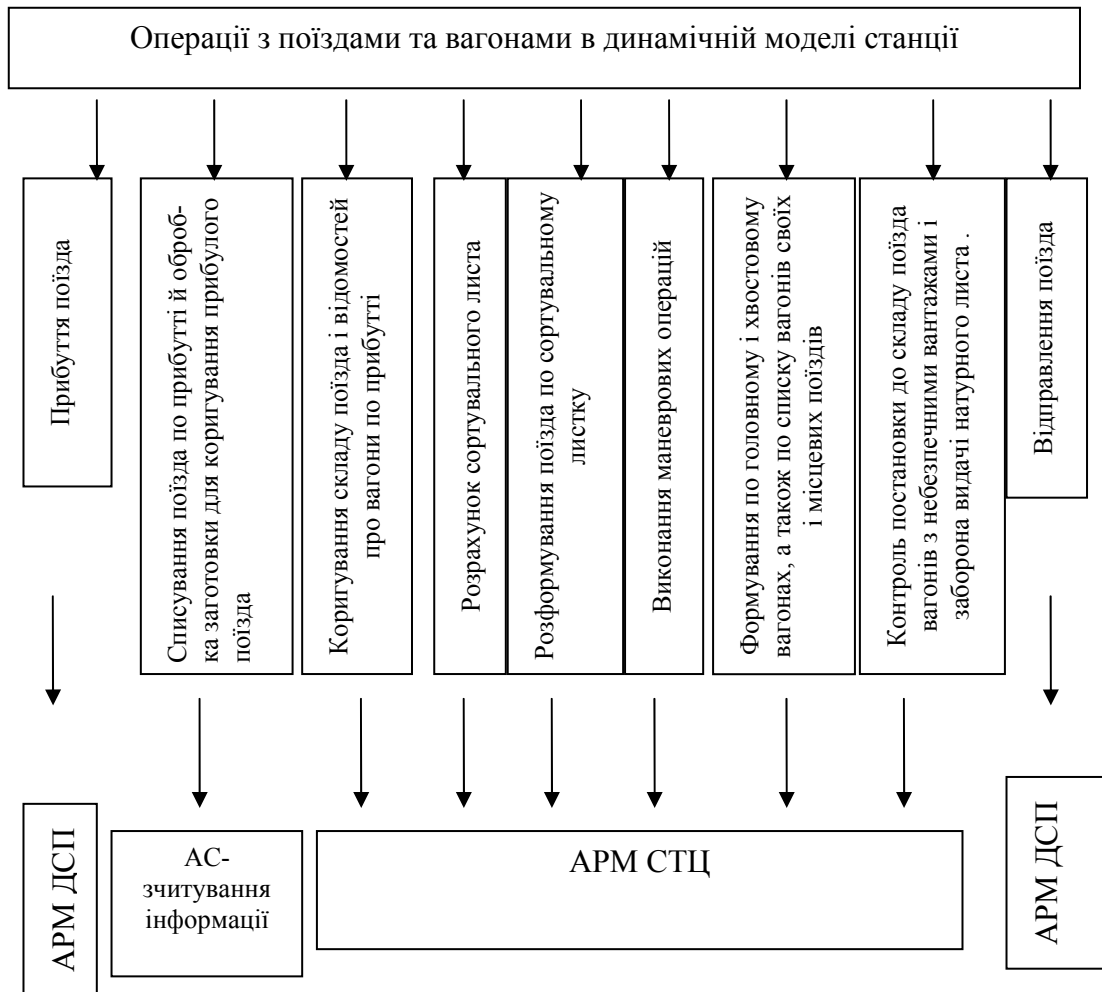


Рис. 2. Операції з поїздами та вагонами в динамічній моделі станції

ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев В. Ф. Автоматика та автоматизація виробничих процесів на залізничному транспорті. – М: Транспорт, 1990. – 279 с.
2. Гапанович В. А. Разработка автоматизированных сортировочных систем / В. А. Гапанович, А. Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 7. – С. 23 – 25.
3. Ададуров, С. Е. Комплексная система автоматизации сортировочных процессов / С. Е. Ададуров, В. Н. Соколов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 6 – С. 37 – 38.
4. Кириченко А. И. Технология автоматизированного учета работы железнодорожной станции и подъездного пути / Г. И. Кириченко // Збірник доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики». – К., 2005. – С. 146 – 148.
5. Динамічна модель сортувальної станції та її роль в подальшій оптимізації процесу перевезень / О. П. Бочаров, Г. О. Міхальов, В. П. Мороз [та ін.] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С. 74 – 76.

УДК 656.2

Ю. А. Бердниченко

О. А. Горецький

О. С. Денисенко

ТРАНЗИТНИЙ ПОТЕНЦІАЛ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО РОЗВИТКУ

У статті подано аналіз чинників, що впливають на динаміку та прогноз транзитних перевезень вантажів залізницями України. Виявлено основні причини зниження транзиту.

В статье представлен анализ факторов, влияющих на динамику и прогноз транзитных перевозок грузов железными дорогами Украины. Выявлены основные причины снижения транзита.

This paper presents an analysis of the factors affecting the dynamics and prediction of transit transport of goods by rail Ukraine. The basic causes for the decline of transit.

Ключові слова: транзит вантажів, залізниці України, інформаційне забезпечення, транспортні коридори, вантажопотік.

Україна за своїм транзитним потенціалом займає перше місце в Європі і третє в Євразії, тому особлива значимість приділяється розробці та проведенню ефективної транспортної політики. Вигідне географічне положення України на шляху міжнародних вантажопотоків, наявність розвинутої транспортної мережі, а також незамерзаючих чорноморських портів визначають транзитний потенціал та формують ключову роль у забезпеченні міждержавних транспортно-економічних зв'язків. Через Україну проходять чотири з десяти міжнародних транспортних коридорів: № 3, № 5, № 7 «Балтійське море – Чорне море», № 10 TRACECA «Європа – Кавказ – Азія». В перевезеннях вантажів серед усіх видів транспорту (крім трубопровідного) залізничний посідає провідне місце і забезпечує понад 80% від загального вантажообігу.

Незважаючи на таке зручне географічне положення, у 2013 р. частка транзиту в загальній структурі перевезень вантажів українськими залізницями становить біля 8%. Структура обсягів перевезень вантажів наведена на рис. 1. Хоча лише за скромними підрахунками залізницями України можна транспортувати до 100 млн тонн транзитних вантажів на рік. При цьому, починаючи з 2012 р., спостерігається суттєве падіння обсягів транзитних вантажопотоків та зміна маршрутів прямування вантажів, спричинені як світовою фінансово-економічною кризою, так і посиленням міжгалузевої та міждержавної конкуренції за транзитні вантажопотоки.

© Бердниченко Ю. А., Горецький О. А., Денисенко О. С., 2013

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

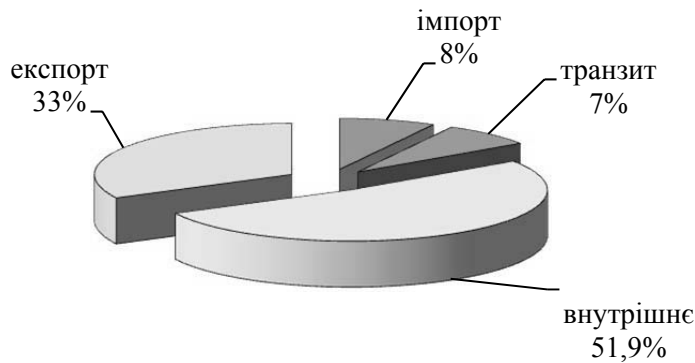


Рис. 1. Структура обсягів перевезень вантажів за видами сполучень

Динаміка обсягів перевезень за 2009-2013 роки наведена на рис. 2.

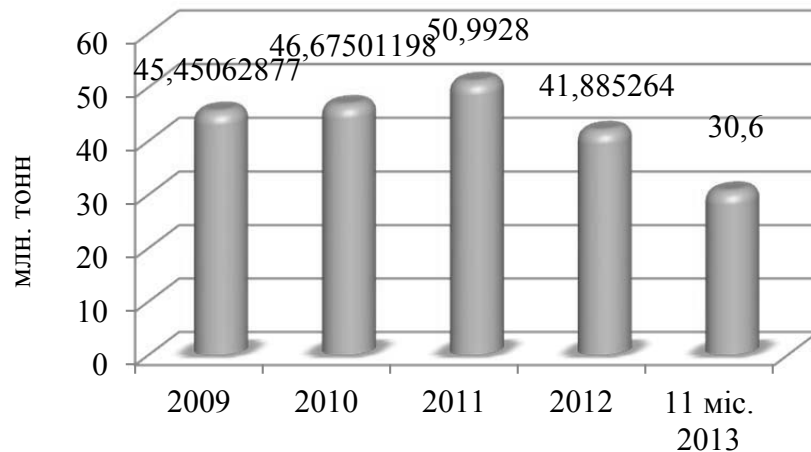


Рис. 2. Динаміка обсягів перевезень транзитних вантажів за 2009 – 2013 роки

Основні причини зниження транзиту є об'єктивними, а саме:

- розвиток транспортної інфраструктури країн-конкурентів (стратегією розвитку морської портової інфраструктури Російської Федерації до 2030 р. передбачено збільшення обсягів перевалки вантажів через російські порти на 84%, а це на сьогоднішній день 65,1% українського транзиту);
- зміна ринкової ситуації для окремих вантажів, яка характеризується стагнацією ринку та невідповідністю попиту та пропозиції (руда, хіміїндобрива, вугілля, чорні метали);
- економічна та політична криза в окремих країнах Європи, Азії та Північної Африки, де знаходяться ринки збуту чорних металів, вугілля, хіміїндобрив, хімікатів;
- надання пріоритетів членам Митного Союзу Росії, Білорусі та Казахстану (біля 90% транзитного вантажопотоку формується у цих країнах).

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

З огляду на викладене, важливим є питання розробки заходів щодо запобігання подальшому падінню транзиту та можливості залучення додаткових вантажопотоків шляхом встановлення конкурентоспроможної тарифної політики, удосконалення нормативної бази, зокрема у частині спрощення процедури прийняття вантажів до перевезення та перетину кордону, покращення транспортного сервісу, прискорення термінів доставки вантажів тощо.

Також треба враховувати сучасні технології обробки інформації при перетині кордону та впровадження електронних документів. На прикордонних передавальних станціях впроваджено комплекс автоматизованих систем для обробки даних перевізних документів, обміну інформацією між робочими місцями працівників залізниці. Структура системи наведена на рис. 3.

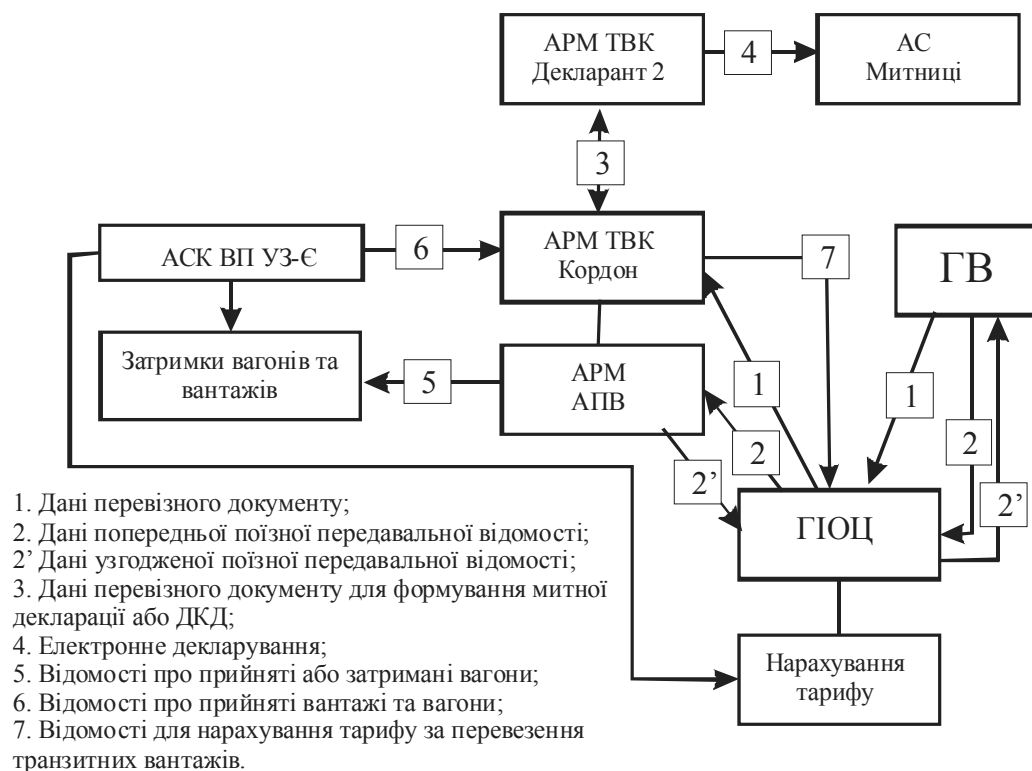


Рис. 3. Структура функціонування прикордонної системи

Наразі актуальні питання взаємодії автоматизованих систем митниці та залізниці, а це потребує внесення змін в нормативну базу та існуючу технологію обробки документів, вагонів та вантажів. Залишається необхідним створення комплексного інформаційного забезпечення транзитних перевезень шляхом створення інформаційної взаємодії з митними органами. Це і спрощення процедур митного оформлення за електронною накладною, і надання дозволу в електронному вигляді митниці на видачу вантажів у портах тощо.

Проведення технологічних заходів, створення спільних інформаційних баз суттєво вплине на якість обробки транзитних перевезень. Однак визначальною для збільшення транзиту, крім залучення нових потоків, є ефективна тарифна політика. Тому основну увагу слід приділити запровадженню ефективної виваженої тарифної політики залізниць на ринку міжнародних вантажних перевезень, від якої великою мірою залежать як обсяги перевезення вантажів у міжнародному сполученні, так і доходи залізничного транспорту від транзитних вантажних перевезень. Під виваженою тарифною політикою мають на увазі необхідність встановлення на транспортні послуги конкурентоспроможних тарифів, які здатні контролювати частину транспортного ринку та забезпечувати одержання запланованого прибутку для вирішення оперативних та стратегічних завдань.

Особливості формування та проведення тарифної політики залізниць на ринку міжнародних вантажних перевезень в сучасних умовах господарювання полягають у необхідності забезпечення відтворювального процесу суб'єктів транспортного ринку, формування конкурентних переваг залізничного транспорту України, стимулювання ефективного попиту на транспортні послуги, забезпечення інвестиційної привабливості залізничної галузі, створення конкурентного середовища в сфері перевезень тощо, тобто вимагають сучасних підходів до ціноутворення на перевезення вантажів залізничним транспортом у міжнародному сполученні.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Мініна О. В.* Сучасний стан транзитної спроможності України в контексті євразійської інтеграції / О. В. Мініна // Вісник Чернігівського державного університету. Збірник. – Чернігів: ЦНТЕІ, 2010. – № 44. – С. 53 – 65.
2. *Петренко Е. А.* Проблемы развития международных железнодорожных коридоров Украины / Е. А. Петренко // Теоретичні та прикладні питання економіки. – 2010. – Вип. 22. – С. 142 – 149.
3. *Бойко О. В.* Сучасні тенденції розвитку ринку транзитних перевезень в Україні / О. В. Бойко // Держава та регіони. Серія «Економіка та підприємництво». – 2012. – № 2. – С. 17 – 23.

УДК 656.07

*О. І. Мельниченко
С. П. Кішка*

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ДЕКОМПОЗИЦІЇ В СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

У статті розглянуто систему забезпечення безпеки руху та на підставі сучасних засобів і методів дослідження проведена декомпозиція даної системи на деяку множину задач, та запропоновані методи вирішення цих задач.

В статье рассмотрена система обеспечения безопасности движения и на основе современных средств и методов исследования проведена декомпозиция данной системы на некоторое множество задач, и предложены методы решения этих задач.

The paper considers a system to ensure the safety and using modern tools and techniques of research done decomposition of the system into some set of objectives and the methods of solving these problems.

Ключові слова: декомпозиція, система забезпечення безпеки руху, методологічний підхід, дорожньо-транспортна пригода.

Постановка проблеми. Безпека руху – це стан даного процесу, що відбиває ступінь захищеності його учасників від транспортних подій і їх наслідків. Порушеннями безпеки руху варто вважати відхилення від норм роботи транспортної системи, у результаті яких створюється загроза для життя пасажирів, збереження транспортних об'єктів і вантажів або відбувається збій у роботі, що полягає в невиконанні встановленого графіка руху. Суттєве поліпшення безпеки дорожнього руху за сучасних умов може бути досягнуте за умов комплексного розгляду усіх елементів дорожньо-транспортної мережі.

Метою роботи є проведення декомпозиції системи безпеки дорожнього руху для формування завдань та методів їх вирішення.

Основна частина. Забезпечення ефективного існування дорожньо-транспортної мережі, залежить від трьох компонентів системи «водій – автомобіль – дорога». Кожний з цих компонентів містить велику кількість факторів, які мають вагомий вплив на безпеку дорожнього руху. Взаємозв'язок і вдосконалення кожного з цих факторів, позитивно змінюють обставини при яких трапляються дорожньо-транспортні пригоди. Своєчасне використання змін і взаємозв'язків елементів системи вимагає системної постановки та розв'язання множини завдань, включаючи всі фактори, які належать до цієї системи.

© Мельниченко О. І., Кішка С. П., 2013

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Система безпеки дорожнього руху вже умовно розділена на три групи:

- водій і всі процеси пов'язані з сприйняттям дорожньої ситуації і вмінням керувати транспортним засобом;
- транспортний засіб як засіб підвищеної небезпеки та усі його характеристики;
- середовище, яке містить великий аспект факторів, починаючи від дорожніх умов, розміщення будівель, і закінчуючи пересуванням інших учасників дорожнього руху.

Провівши паралелі слід зазначити, що багатofакторність цієї системи не дає можливості одразу розглянути і вплинути на кожний параметр. Тому основні завдання впровадження системного підходу щодо їх вирішення, буде умовно розділено на три групи.

До першої групи належать фактори елемента «водій» – вдосконалення підготовки водіїв, а також сертифікація обслуговуючого персоналу всіх елементів системи безпеки дорожнього руху, які включають в себе водіїв, працівників освіти, контролюючий персонал.

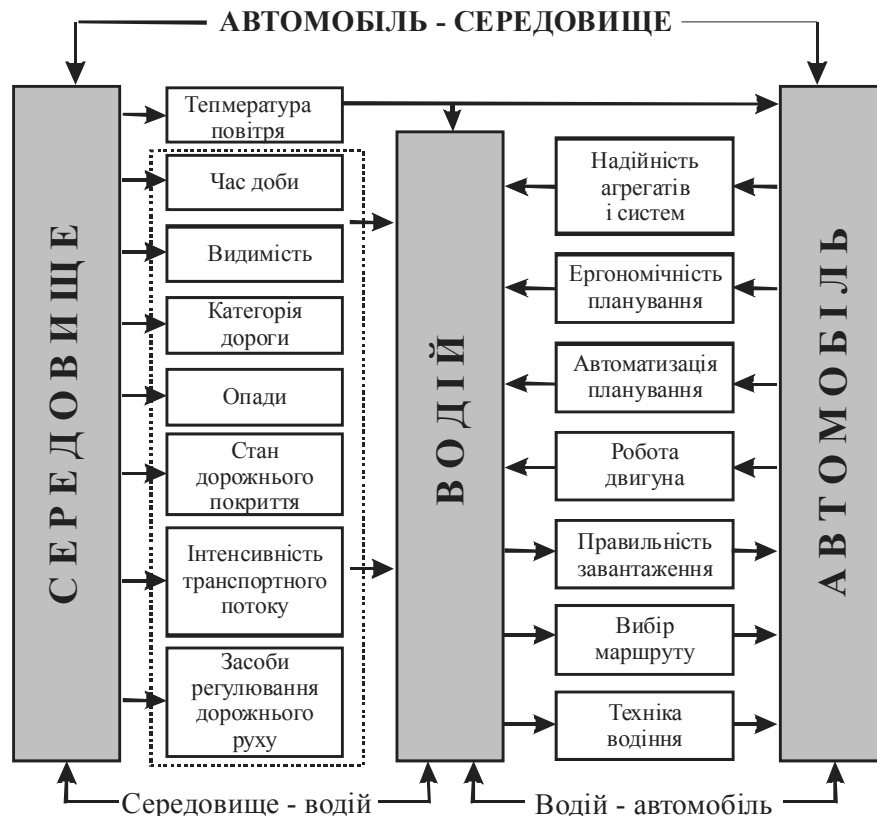


Рис. 1. Схема взаємозв'язків у системі «В-ТЗ-С»

До другої групи належить такий елемент як «середовище», ним було визначено складність дорожньої ситуації.

До третьої групи факторів будуть належати фактори, які впливають на елемент «середовище», а саме: вдосконалення інформативності учасників дорожнього руху через засоби масової інформації.

Таким чином, розробка моделей і методів вдосконалення системи «В-ТЗ-С» дозволяє ставити нові завдання, постановка яких визначає напрями поліпшення роботи окремих ланок системи. Забезпечення ефективності функціонування безпеки дорожнього руху вимагає системної постановки та розв'язання множин науково-методичних і прикладних завдань.

Системною метою функціонування системи безпеки дорожнього руху є зменшення кількості ДТП, кількості загиблих і поранених, а також зменшення збитків від ДТП. Якщо звести локальні цілі до єдиної мети, то зменшення кількості ДТП – це головний критерій в розв'язанні завдань забезпечення безпеки дорожнього руху.

Системна мета M_c шляхом декомпозиції розділена на локальні M_{jk} (технологічні, технічні, організаційні та ін.), які враховують специфічні властивості функціонування окремих ланок системи.

Постановка задачі дослідження даної системи може бути описана за допомогою формули системного аналізу:

$$M_c \rightarrow M_{jk} \{ M_{jk}^- : M_{jk}^- \in M_{jk} ; j=1,2,..., N; j=1,2,..., K \};$$

$$M_{jk} \rightarrow Z_{jk} \{ Z_{jk} : Z_{jk} \in Z_{jk} ; j=1,2,..., N; j=1,2,..., K \};$$

$$Z_{jk} \rightarrow R_{jk} \{ R_{jk} : R_{jk} \in R_{jk} ; j=1,2,..., N; j=1,2,..., K \};$$

$$R_{jk} \rightarrow K_{jk} \{ K_{jk}^- : K_{jk}^- \in K_{jk} ; j=1,2,..., N; j=1,2,..., K \};$$

де M_c , M_{jk} – відповідно система і локальні цілі безпечного функціонування СБДР;

Z_{jk} – множина задач забезпечення раціонального функціонування СБДР;

R_{jk} – Значення матеріальних, трудових, фінансових та інших ресурсів;

K_{jk} – значення показників безпечного функціонування СБДР.

Загальна схема взаємозв'язку задач наукового супроводження функціонування процесів і об'єктів системи забезпечення безпеки дорожнього руху подана на рис. 2. З нього видно, що реалізація групи задач одного етапу забезпечує створення засобів розв'язання задач іншої групи та іншого етапу по усьому життєвому циклу системи.

При такому підході є можливість, використовуючи сучасні інформаційно-технічні засоби і методи, декомпозиції загальної задачі забезпечення безпечного функціонування системи на деяку множину задач, а також розробки схеми і послідовності їх вирішення.

До множини задач аналізу та дослідження об'єкта управління системою належать:

- визначення причин ДТП, їх взаємозв'язок з елементами системи безпеки дорожнього руху, вивчення закономірностей функціонування системи в безпечному стані;
 - визначення основних показників які впливають на водія;
 - визначення параметрів, які впливають на складність дорожньої ситуації, а також розробка критеріїв за якими ситуація оцінюється;
 - формування основних напрямків вдосконалення та розвитку кожного елементу системи;
 - розробка оцінки ефективності та оптимізації основних показників системи «В-ТЗ-С»;
-

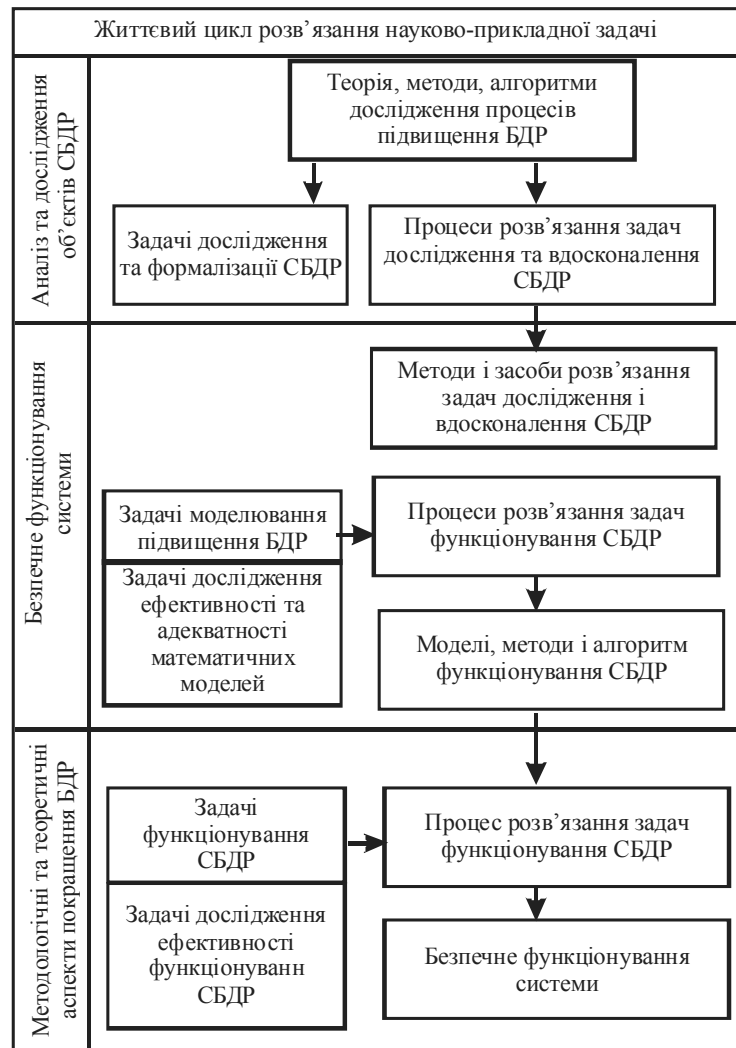


Рис. 2. Модель дослідження процесів забезпечення безпеки дорожнього руху на вулично-дорожній мережі

– формування системної і локальної цілей функціонування системи та її складових ланок.

Ця група задач вирішується методами теорії систем, математичної статистики, дослідження управління дорожнім рухом.

Задачі методологічного підходу та теоретичного супроводження процесів вдосконалення безпеки дорожнього руху містять:

- побудову математичних моделей головних ланок системи безпеки дорожнього руху (СБДР);
- оцінку адекватності моделей та доцільність їх використання для розв'язання нових оптимізаційних задач координації;
- розробка алгоритмів впливу на головні критерії, які сприяють безпечному функціонуванню системи безпеки дорожнього руху.

Розв'язання даної групи задач може бути здійснене методами системного аналізу, теорії диференціальних рівнянь, оптимізації, прийняття рішень, моделювання систем, пов'язаних з безпекою дорожнього руху.

Висновки. До завдань дослідження СБДР належать: прогнозування кількості ДТП на конкретних ділянках дороги і в цілому на дорозі, розробка системної організації і управління процесами підготовки учасників дорожнього руху, постановка і реалізація алгоритмів нових оптимізаційних завдань функціонування СБДР.

Розробка та оптимізація механізмів взаємодії окремих ланок СБДР передбачає: формування інформаційної бази щодо вивчення причин ДТП; взаємодію окремих ланок СБДР, потрібних для нормального їх функціонування; розробку програмних продуктів, як засобів ефективного впливу на процеси навчання на сучасному етапі.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гончаренко Ф. П.* Теоретичні основи та практичні методи підвищення безпеки руху при експлуатації автомобільних доріг. – К., 2000. – 350 с.
2. *Левковець П. Р., Гедз Ю. М., Канарчук О. В.* Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії. – К.: НТУ, 2002. – 216 с.
3. *Горбачев П. Ф., Дмитриев И. А.* Основы теории транспортных систем: Учеб. пособие для студ. вузов направления. «Транспортные технологии». – Харьков: ХНАДУ, 2002. – 202 с.

УДК 658.286

Т. Ф. Демченко

СТАНОВЛЕННЯ ТА ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В УКРАЇНІ

У статті наведений короткий аналіз та основні етапи формування цивільного захисту населення від надзвичайних ситуацій. Основний принцип ЦЗ – це підготовка населення до можливих небезпек та їх ліквідація. ЦЗ спрямований на захист населення, зменшення матеріальних витрат і недопущення шкоди об'єктам, матеріальним і культурним цінностям.

В статье приведен краткий анализ и основные этапы формирования гражданской обороны населения от чрезвычайных ситуаций. Основной принцип ГО – это подготовка населения к возможным опасностям и их ликвидация. ГО направлена на защиту населения, уменьшение материальных затрат и недопущения вреда объектам материальным и культурным ценностям.

The article is a short analysis and fundamental stages of civil protection in case of emergency. The basic principle is training people to potential hazards and eliminate them. Civil protection is aimed at protecting the population decrease material costs and prevent damage to the objects of material and cultural values.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, техногенні небезпеки, цивільний захист.

Найважливішими складовими інтересів нашої держави є захист людини суспільства і держави в цілому від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру та їх наслідків. Згідно із Законом України № 1859-15 від 24.06.2004 р. «Про правові засади цивільного захисту», вирішення основних проблем цивільного захисту (ЦЗ) населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного й військового характеру в сучасності є одним із найважливіших завдань держави [1]. Та перш ніж запроваджувати будь-які напрямки діяльності ЦЗ, треба спиратися на певні історичні умови, які б дозволили простежити процес становлення ЦЗ від початку і до сьогодення.

Аналізуючи дане питання, із робіт як вітчизняних, так і закордонних вчених можна виділити чотири основні етапи формування системи захисту населення і територій від НС.

Слід звернути увагу, що вперше проблема захисту населення виникла на початку ХХ ст. у роки світової війни 1914–1918 рр., коли в ході воєнних операцій почали застосовувати бойову авіацію. Вона наносила удари по населених пунктах у тилу противника.

© Демченко Т. Ф., 2013

Ця можливість і викликала необхідність щодо організації захисту великих міст від ударів з повітря. До заходів протиповітряної оборони, що здійснювалась військами, також почали залучати населення. У подальшому ця обставина і стала первинним тягачем створення системи місцевої протиповітряної оборони (МППО), яка спиралася на мирне населення міст.

У Радянському Союзі фундамент цивільної оборони – до 1961 р. вона називалася місцевою протиповітряною обороною (МППО) – почав закладатися в перші ж роки встановлення радянської влади. Перші заходи з МППО були здійснені в Петрограді в березні 1918 р. після першого повітряного бомбардування міста німецькою авіацією. До участі в заходах МППО в роки громадянської війни залучалися жителі інших великих міст, коли виникала загроза повітряних нальотів [2].

Беручи за основу досвід громадянської війни і зростання військового значення авіації, Радянський уряд з 1925 р. починає видавати низку постанов, спрямованих на створення і зміцнення протиповітряної оборони (ППО) країни. Так, наприклад, у 1926 р. Рада Праці й Оборони СРСР (РПО СРСР) уклала постанову, що зобов'язувала проведення заходів з протиповітряної оборони на залізницях у межах загрозової зони. Зокрема, при залізничних станціях повинні були будуватися пункти і створюватися спеціальні формування протиповітряного і протихімічного захисту. А 1927 р. була видана постанова «Про організацію повітряно-хімічної оборони території Союзу РСР» відповідно до якої, територія країни була розділена на прикордонну зону і тил. Усі міста стали іменуватися містами-пунктами ППО. Загальне керівництво заходами з ППО було покладено на Наркомат у військових і морських справах. Того ж року РПО СРСР доручив Наркомату у військових і морських справах створити спеціальні курси з підготовки керівних кадрів з повітряно-хімічної оборони для цивільних наркоматів. Такі курси були створені в Москві, Ленінграді, Баку, Києві та Мінську.

У затвердженому в 1928 р. Наркомом у військових і морських справах першому Положенні про протиповітряну оборону СРСР було записано, що призначенням ППО є захист Союзу РСР від повітряних нападів з використанням сил і засобів, що належать як військовому, так і цивільним відомствам і відповідним суспільним оборонним організаціям. Як наслідок, виникла необхідність організації навчання населення захисту від повітряного і хімічного нападу. Виконанням цього завдання займалися головним чином Осавіахім і Товариство Червоного Хреста і Червоного Півмісяця (ССЧХ і ЧП), які охопили навчанням сотні тисяч активістів місцевої ППО [3].

Масова підготовка населення з ППО і протихімічного захисту дозволила створити до 1932 р. понад 3 тис. добровільних формувань МППО. Більше 3,5 млн осіб було забезпечено протигазами; для укриття населення в загрозовій зоні було підготовлено кілька тисяч бомбосховищ і газосховищ. Проводилися заходи щодо світломаскування міст і створення швидкодійної системи оповіщення населення про загрозу нападу.

Таким чином, необхідні організаційні й матеріальні передумови для створення єдиної загальнодержавної системи місцевої ППО в країні до 1932 р., були створені. Проте, швидке зростання можливостей бойової авіації щодо нанесення ударів по об'єктах глибокого тилу потребувало подальшого удосконалення організації захисту населення і народного господарства.

4 жовтня 1932р. Рада Народних Комісарів видала і затвердила Положення про протиповітряну оборону СРСР, відповідно до якого загальносоюзна місцева протиповітряна оборона (МППО) була виділена в самостійну складову частину всієї сис-

теми ППО Радянської держави. Цю дату прийнято вважати початком існування все-союзної МППО, що в подальшому стала основою цивільної оборони (ЦО) СРСР [4].

Основними завданнями МППО були: попередження населення про загрозу нападу з повітря й оповіщення про відсутність загрози; маскування населених пунктів та об'єктів народного господарства від нападу з повітря (особливо світломаскування); ліквідація наслідків нападу з повітря (зокрема із застосуванням отруйних речовин); підготовка бомбосховищ і газосховищ для населення; організація першої медичної та лікарської допомоги потерпілим у результаті нападу з повітря; надання ветеринарної допомоги постраждалим тваринам; підтримка суспільного порядку і забезпечення дотримання режиму, встановленого органами влади і МППО в місцях загрози. Виконання всіх цих завдань передбачалося силами й засобами місцевих органів влади й об'єктів народного господарства. Безсумнівно, цим і визначалася назва системи протиповітряної оборони.

Слід звернути увагу, що саме ці завдання і визначали організаційну структуру МППО, загальне керівництво якої здійснювалося Наркоматом з військових та морських справ (з 1934 р. – Наркомат оборони СРСР), а в межах військових округів – їхнім командуванням.

Для вирішення завдань МППО організовувалися відповідні сили: військові частини МППО, що підпорядковувалися командуванню військових округів, і добровільні формування МППО: у міських районах – дільничні команди, на підприємствах – об'єктові команди, при домоуправліннях – групи самозахисту. Формування МППО створювалися з розрахунку: 15 осіб від 100 – 300 робітників і службовців – на підприємствах і в установах та від 200 – 500 осіб жителів – при домоуправліннях. Дільничні команди складалися з різних спеціальних формувань, а групи самозахисту, як правило, із шести підрозділів: медичного, аварійно-відбудовного, протипожежного захисту, охорони порядку і спостереження, дегазаційного й обслуговування об'єктів. Дільничні команди і групи самозахисту підпорядковувалися начальнику відділення міліції. Підготовка кадрів для МППО здійснювалася на спеціальних курсах МППО, а навчання населення – через мережу суспільних оборонних організацій.

З 1935 р. підготовка населення з ППО і протихімічного захисту здобуває ще більшого розмаху, зокрема були встановлені нормативи здачі на значок «Готовий до ППХО» (протиповітряної і протихімічної оборони). Підготовка населення удосконалювалася у складі добровільних формувань МППО [5]. Постановою ЦК ВКП(б) і РНК СРСР від 8 серпня 1935 р. підготовка населення до здачі нормативів на значок «Готовий до ППХО» і організація формувань МППО були оголошені завданнями Осавіахіму.

З метою удосконалення форм поширення санітарно-оборонних знань і навичок були введені нормативи комплексу «Готовий до санітарної оборони» (ГСО) – для дорослих і «Будь готовий до санітарної оборони» (БГСО) для школярів. Упровадження цих нормативів покладалося на комітети Товариства Червоного Хреста і Червоного Півмісяця.

20 червня 1937 р. вийшла постанова РНК СРСР «Про місцеву (цивільну) протиповітряну оборону Москви, Ленінграда, Баку і Києва», яка стала важливою складовою на шляху зміцнення МППО. У ній зазначалась низка нових заходів для посилення місцевої ППО в зазначених містах, зокрема керівництво МППО було покладено на місцеві органи влади – Ради депутатів трудящих, а до складу виконкомів міських Рад цих міст були введені посади заступників голів виконкомів Рад депута-

тів трудящих з МППО. Тож за порівняно незначний час МППО країни перетворилася на ефективну систему захисту населення та об'єктів економіки від ударів супротивника з повітря.

До початку Великої Вітчизняної війни МППО була вже досить чіткою, організаційною, сучасною на той період системою і цілком готовою до виконання поставлених на неї завдань. У зв'язку з місцевим характером діяльності органів і сил МППО та необхідністю зосередити зусилля Наркомату оборони СРСР на підготовці Збройних Сил до війни, що наближалася до кордонів країни, постановою РНК СРСР від 7 жовтня 1940 р. керівництво МППО передали Наркомату внутрішніх справ СРСР, у складі якого створили Головне управління МППО. 22 червня 1941 р. усі штаби, служби і сили МППО були приведені в бойову готовність. Перші дні війни довели високу готовність й одночасно незначні недоліки системи, які в процесі швидко усувалися.

Важливу роль у мобілізації МППО на успішне вирішення завдань, що постали у зв'язку з нападом фашистської Німеччини на Радянський Союз, зіграла постанова РНК СРСР від 2 липня 1941 р. «Про загальну обов'язкову підготовку населення до протиповітряної оборони» [6]. Відповідно до неї всі громадяни від 16 до 60 років повинні були володіти необхідними знаннями з МППО. Крім того, чоловіки від 16 до 60 років і жінки від 18 до 50 років зобов'язувалися входити в групи самозахисту. Виконуючи вимоги партії й уряду, Міністерство внутрішніх справ СРСР 3 липня 1941 р. затвердило Положення про групи самозахисту житлових будинків, установ і підприємств. Важливу роль в активізації МППО зіграла промова І. В. Сталіна 3 липня 1941 р., в якій вказувалося на необхідність негайно «... налагодити місцеву протиповітряну оборону» [7]. МППО в роки війни стрімко набирала силу. Чисельність її формувань перевищила 6 млн осіб; дільничні формування були реорганізовані в міські військові частини МППО, кількість інженерно-протихімічних військових частин значно зросло.

Сили МППО успішно справилися зі своїм завданням в роки війни. Вони ліквідували наслідки більше 30 тис. нальотів фашистської авіації, запобігли в містах понад 32 тис. серйозних аварій на об'єктах народного господарства, знешкодили понад 430 тис. авіабомб і майже 2,5 млн снарядів і мін. Зусиллями формувань і частин МППО було ліквідовано 90 тис. загорянь і пожеж. Отже, у взаємодії з частинами Збройних Сил МППО зробила в роки війни істотний внесок у справу захисту населення і народного господарства від нальотів фашистської авіації, у ряді випадків МППО брала участь у відбитті атак сухопутних частин супротивника на міста.

У післявоєнний період, опираючись на багатий досвід Великої Вітчизняної війни, МППО продовжувала удосконалюватися. Було введено в дію нове положення про місцеву ППО, в якому знайшов відображення весь позитивний досвід попередньої діяльності МППО. Були уточнені завдання й організаційна структура МППО.

У 1956 р. організацію МППО вирішили переглянути у зв'язку з появою в арсеналі збройних сил США ядерної зброї та швидким його нарощуванням. МППО назвали системою загальнодержавних заходів, здійснюваних з метою захисту населення від сучасних засобів ураження, створення умов, що забезпечують надійність роботи об'єктів народного господарства в умовах нападу з повітря, проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відбудовних робіт. Хоча ядерна зброя не згадувалася, але основні зусилля системи були націлені на захист саме від неї. На МППО покладалася відповідальність за організацію підготовки населення країни до протиповітряного, протиатомного, протихімічного і протибактеріологічного

захисту. Начальником МППО став Міністр внутрішніх справ СРСР. Начальниками МППО в союзних і автономних республіках були міністри внутрішніх справ, загальне керівництво проведенням заходів МППО поклали на Ради міністрів союзних і автономних республік, а в областях, краях, містах і районах, у міністерствах і відомствах – на виконкоми Рад депутатів трудящих, міністерства і відомства [8]. Наймасовішими силами МППО стали формування республіканських, крайових, обласних і районних служб МППО – загони, бригади, команди тощо. У житлових масивах міст і селищ, як і раніше, передбачалося створення груп самозахисту.

Початок другого етапу ознаменувався тим, що у липні 1961 р. МППО перетворили на Цивільну оборону (ЦО) СРСР, яка стала складовою системи загальнодержавних оборонних заходів у мирний і воєнний часи з метою захисту населення і народного господарства країни від зброї масового ураження; проведення рятувальних та аварійно-відновлювальних робіт в районах ураження, можливих затоплень. Для організації вище зазначених робіт створюються Державна комісія Кабінету Міністрів СРСР з НС, комісії з надзвичайних ситуацій (КНС) при радміністрах союзних республік, виконкомах крайових, обласних і міських Рад народних депутатів.

Робота КНС організовувалася у взаємодії з органами ЦО, МВС, КДБ, військового командування й організаціями державного нагляду і контролю. Рішення КНС під час НС стали обов'язковими для виконання всіма організаціями та підприємствами, розташованими на відповідній території.

У 1970-80-х рр. штаби, частини і формування ЦО залучалися до боротьби з великими стихійними лихами, брали участь у розробці й організації профілактичних заходів, спрямованих на зменшення збитків при можливих стихійних лихах, аваріях, катастрофах. Але аварія 26 квітня 1986 р. на Чорнобильській АЕС стала серйозним випробуванням як для населення України, так і для всієї системи захисту населення і території від НС. Вона дала хороший урок, виявила недоліки й вузькі місця у готовності ЦО.

У 1991 р. стався розпад Радянського союзу і утворення нової незалежної України, що в подальшому вимагало нової цілісної політики у сфері безпеки життєдіяльності із визначенням досконалих механізмів її реалізації.

3 лютого 1993 р. прийняли Закон України № 2974-12 «Про цивільну оборону України», згідно з яким у країні створювалася державна система органів управління і засобів захисту населення від наслідків НС техногенного, природного й воєнного характеру [9].

28 жовтня 1996 р. Указом Президента України було розпочато нову сторінку в розвитку Цивільної оборони України – створено Міністерство України з питань НС і у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи.

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 серпня 1997 р. на МНС покладено координацію діяльності міністерств, інших центральних і місцевих органів виконавчої влади з питань ліквідації наслідків стихійного лиха, аварій, катастроф. У зв'язку з розширенням переліку завдань починається здійснювання відповідне організаційно-функціональне забезпечення, створення, реорганізація і перепідпорядкування інституцій, які пов'язані з попередженням і ліквідацією НС.

Враховуючи досвід попередніх років, з метою централізації міжвідомчих функцій управління, особливо при великомасштабних надзвичайних ситуаціях, 16 лютого 1998 р. Кабінетом Міністрів України ухвалено постанову «Про Державну комісію з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій».

2 вересня 1997 р. Президентом України видано Указ «Про заходи щодо впровадження в Україні єдиної системи проведення авіаційних робіт з пошуку і рятування». 19 січня 1998 р. Кабінетом Міністрів України ухвалено постанову «Про Головний центр координації авіаційних робіт з пошуку і рятування Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи».

3 серпня 1998 р. постановою Кабінету Міністрів України № 1198 затверджено Положення про Єдину державну систему запобігання і реагування на НС техногенного й природного характеру (ЄДС НС), яка мала завдання щодо запобігання і реагування НС мирного часу, але без залучення цивільного населення для захисту від наслідків НС. Це і стало третім етапом у формуванні цивільного захисту як системи. 26 березня 1999 р. Президентом України видано Указ «Про Концепцію захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій».

16 березня 2000 р. Верховною Радою України прийнято Закон України «Про правовий режим надзвичайного стану»; 8 червня 2000 р. Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру»; 13 липня 2000 р. Верховною Радою України прийнято Закон України «Про зону надзвичайної екологічної ситуації»; 4 серпня 2000 р. Президентом України видано Указ «Про заходи щодо підвищення рівня захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру»; Кабінетом Міністрів України ухвалено постанову «Про затвердження переліку об'єктів та окремих територій, які підлягають постійному та обов'язковому обслуговуванню державними аварійно-рятувальними службами».

У серпні 2000 р. починають прийматися програмні документи, зокрема Кабінетом Міністрів України ухвалено постанову «Про затвердження Програми запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру на 2000–2005 роки» [10].

9 лютого 2001 р. Президентом України видано Указ «Про заходи щодо підвищення рівня захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру», яким на МНС покладено питання контролю за створенням, зберіганням, поповненням і використанням центральними та місцевими органами виконавчої влади, підприємствами, установами та організаціями незалежно від форм власності матеріальних резервів для попередження і ліквідації наслідків НС.

7 березня 2001 р. Кабінетом Міністрів України ухвалено постанову «Про утворення Координаційної ради зі створення та функціонування Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій».

Однією зі складових державної політики у сфері ЦЗ є політика соціального захисту постраждалих і подолання наслідків Чорнобильської катастрофи. Так, уже в лютому 1991 р. Верховною Радою України приймається Закон України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи», постановою Верховної Ради України від 2 вересня 1993 р. затверджується Концепція Національної програми ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи і соціального захисту громадян на 1994 – 1995 роки та період до 2000 р., а в березні 2006 р. приймається Закон України «Про Загальнодержавну програму подолання наслідків Чорнобильської катастрофи на 2006 – 2010 роки» [11].

Остаточною завершальною подією формування ЦЗ стало підписання 15 вересня 2003 р. Указу Президента України «Про питання щодо перетворення військ Цивільної оборони України і державної пожежної охорони в окрему невійськову службу».

Саме в цей період відбувається злиття системи ЦО, ЄДСНС та державної пожежної охорони МВС України в єдину службу боротьби з НС, починають створюватися основні засади побудови єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ) в Україні.

З цією подією пов'язане подальше прийняття таких інших законодавчих і підзаконних актів, як Указ Президента України «Про вдосконалення управління у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» від 21 листопада 2003 р., Указ Президента України «Про Державну програму перетворення військ ЦО України, органів і підрозділів державної пожежної охорони в Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту на період до 2005 року» від 19 грудня 2003 р.

Але основою подальшої розбудови системи ЦЗ в Україні став прийнятий 24 червня 2004 р. Закон України «Про правові засади цивільного захисту», який визначає правові та організаційні засади у сфері ЦЗ населення і територій від НС техногенного, природного та військового характеру, повноваження органів виконавчої влади та інших органів управління, порядок створення і застосування сил, їх комплектування, проходження служби, а також гарантії соціального і правового захисту особового складу органів та підрозділів ЦЗ. Прийняття цього документа надало правову основу побудови ЄДСЦЗ України, тобто об'єднання ЄДСНС, що виконує функції захисту населення і територій від природно-техногенних небезпек у мирний час, і ЦО, що забезпечує захист населення у воєнний час в єдине ціле [12].

Таким чином можна наголосити на тому, що майже вісімдесят років існували дві основні системи захисту населення від нападу з повітря – МППО та ЦО. На мою думку вони продемонстрували необхідність, відповідальність, оперативність, вірну організацію заходів, і тому набули всенародного характеру.

Саме тому майбутні фахівці у відповідних напрямках підготовки, засвоївши програму навчальної дисципліни «Цивільний захист», повинні бути здатними вирішувати професійні завдання з урахуванням вимог ЦЗ та володіти такими головними професійними компетенціями для забезпечення реалізації вказаних завдань:

- вміти визначити коло своїх обов'язків за напрямом професійної діяльності з урахуванням завдань з ЦЗ;
- знати методи та інструментарій моніторингу НС, побудови моделей (сценаріїв) їх розвитку та оцінки їх соціально-економічних наслідків;
- приймати рішення з питань ЦЗ в межах своїх повноважень.
- проводити ідентифікації, дослідження умов виникнення і розвитку НС та забезпечити скоординовані дії щодо їх попередження на ОГ відповідно до своїх професійних обов'язків;
- обирати і застосовувати методики з прогнозування та оцінки обстановки в зоні НС, розрахунку параметрів уражаючих чинників джерел НС, що контролюються і використовуються для прогнозування, визначення складу сил, засобів і ресурсів для подолання наслідків НС;
- розуміти, розробляти і впроваджувати оперативні (аварійні) заходи цивільного захисту;
- забезпечити якісне навчання працівників ОГ з питань ЦЗ, надання допомоги та консультацій працівникам організації (підрозділу) з практичних питань захисту у НС;
- оцінювати стан готовності підрозділу до роботи в умовах загрози і виникнення НС за встановленими критеріями та показниками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України № 1859-15 від 24.06.2004 р. «Про правові засади цивільного захисту».
2. Михайлюк В. О. Цивільний захист: Навчальний посібник. Ч.3: Цивільна оборона. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 155 с.
3. Осипенко С. І., Іванов А. В. Організація функціонального навчання у сфері цивільного захисту: Навчальний посібник. – К., 2008. – 286 с.
4. Гончарук В. Є., Качан С. І., Орел С. М., Пуцило В. І. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. – 136 с.
5. Козяр М. М., Бедрій Я. І. Основи охорони праці, БЖД та Цивільний захист населення: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2012. – 458 с.
6. Положення про цивільну оборону України. /Постанова Кабміну України від 10.05.1994, № 299.
7. Закон України «Про захист населення і території від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру». // Урядовий кур'єр. – 16.09.2000. – №149.
8. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – К: Знання-Прес, 2007. – 487 с.
9. Постанова Кабміну України «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» від 03.08.1998 р., №1198.
10. Лапін В. М. Безпека життєдіяльності людини.: Навчальний посібник. – Львів, 1999.
11. Закон України «Про правовий режим території, що зазнала радіактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» // Відомості Верховної Ради. – 1991.– № 16, ст. 198; 1992. – № 13.– ст. 177.
12. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення: Закон України // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – №27.

АВТОРИ СТАТЕЙ ВИПУСКУ

Азарков Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-техно-логічного університету транспорту.

Андрейцев Андрій Юрійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Бердніченко Юлія Анатоліївна – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-техно-логічного університету транспорту.

Близнюк Катерина Пантеліївна – старший викладач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Вербицький Володимир Григорович – доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри «Основи проектування машин» Донецької академії автомобільного транспорту.

Вербовський Валерій Степанович – старший науковий співробітник Інституту газу Національної академії наук України.

Водянішков Юрій Якович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук.

Гаюр Андрій Віталійович – здобувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Голуб Галина Михайлівна – аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Горецький Олексій Анатолійович – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Гришко Валентин Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Гулак Сергій Олександрович – старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Демченко Володимир Олексійович – доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Демченко Тетяна Федорівна – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Денисенко Олександр Сергійович – магістр кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Долгов Микола Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник лабораторії поверхневого зміцнення елементів конструкцій Інституту проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України.

Долинський Станіслав Віталійович – заступник головного конструктора ПАТ «Дніпровагонмаш».

Донченко Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Дорошенко Олександра Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дубравін Юрій Федорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Жерновий Анатолій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» Національного транспортного університету.

Іванов Вадим Борисович – кандидат технічних наук, доцент Національного транспортного університету.

Катерищук Василь Олександрович – заступник начальника відділу розвитку технологічних процесів Головного управління планування та контролю за закупівлями матеріально-технічних ресурсів, Державна адміністрація залізничного транспорту України.

Каращук Сергій Володимирович – магістр кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кириченко Ганна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника Головного комерційного управління «Укрзалізниця».

Кішка Світлана Петрівна – аспірант кафедри «Транспортного права і логістики» Національного транспортного університету.

Клецька Тетяна Сергіївна – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косенко Віталій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косарчук Валерій Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Краснокутська Зоя Ігорівна – старший науковий співробітник кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» Національного транспортного університету.

Крюков Микола Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кульбовський Іван Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Ломонос Андрій Іванович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Системи автоматичного управління і електропривід» Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського.

Макарова Ольга Олегівна – магістр кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Мельниченко Олександр Іванович – кандидат технічних наук, професор Національного транспортного університету.

Музашвілі Андрій Нодарович – магістр кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Наконечна Світлана Вячеславівна – аспірант кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Ніщенко Олександр Євгенович – науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук.

Онищенко Артур Миколайович – кандидат технічних наук, доцент Національного транспортного університету.

Орлов Олег Васильович – науковий співробітник лабораторії статичних та динамічних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Пилипенко Антон Євгенович – магістр кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Приданников Юрій Олександрович – інженер кафедри менеджменту Національного транспортного університету.

Пугачов Геннадій Семенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Рафальський Олег Юрійович – студент, спеціальність «Залізничні споруди та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту.

Ревчук Михайло Олександрович – здобувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Романюк Андрій Сергійович – магістр кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Смирнов Ігор Володимирович – доктор технічних наук, доцент кафедри «Інженерія поверхонь» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Соляник Михайло Іванович – провідний інженер лабораторії статичних та динамічних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Стрелко Олег Григорович – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету «Управління залізничним транспортом» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Стукало Аліна Вікторівна – кандидат економічних наук, викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сулим Андрій Олександрович – молодший науковий співробітник лабораторії досліджень мікропроцесорних систем управління, тягово-електричного обладнання, електричного обладнання та комфорту рухомого складу № 6.5 ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Тарасюк Василь Миколайович – заступник головного технолога ВАТ «Київський електровагоноремонтний завод».

Тимченко Леонід Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Усиченко Олена Юрійвна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівництво та експлуатація доріг» Національного транспортного університету.

Федосов-Ніконов Дмитро Вячеславович – старший науковий співробітник лабораторії статичних та динамічних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Черних Юрій Максимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Черняк Юрій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Шелейко Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук.

Яковенко Олеся Леонідівна – асистент кафедри «Комп'ютеризовані системи захисту інформації» Національного авіаційного університету.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ЗБІРНИКА

1. До друку в «Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту» (далі – Збірник) приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: анотацію та ключові слова трьома мовами (українська, російська, англійська), постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми й на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальшої роботи у даному напрямі.

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню Збірника. Відповідальність за матеріали, наведені в статті, несуть автори.

Структура статті повинна складатися з таких елементів:

- Анотація і ключові слова (трьома мовами);
- Постановка проблеми;
- Аналіз останніх досліджень і публікацій;
- Мета статті;
- Виклад основного матеріалу;
- Висновки і пропозиції.

Статті, що не відповідають вимогам, розглядатися та друкуватися не будуть.

До редколегії Збірника подаються:

- один примірник статті, підписаний авторами, з позначкою про те, що ця стаття не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- текст статті в електронному вигляді на диску CD-R або CD-RW;
- рецензія на статтю, надана доктором наук;
- довідка про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи, номери телефонів).

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Обсяг статті має бути не менше трьох сторінок та не перевищувати 12 сторінок. Винятки допускаються лише за рішенням редакційної колегії Збірника. Остання сторінка статті має бути заповнена текстом не менше, ніж на половину. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсягом 3 – 5 рядків). Ключові слова визначеною мовою наводять після відповідної анотації. Терміни та позначення мають відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей. Одиниці вимірювання слід подавати за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень обґрунтованості аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несуть автори.

5. Текстові матеріали готують і друкують на аркушах білого одностороннього паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів Microsoft Word, для набору формул використовують вбудовані редактори формул. При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

Рекомендується при підготовці рукопису використовувати шаблон, який можна скачати в електронному вигляді на офіційному веб-сайті Університету у відповідному розділі.

Параметри сторінки Збірника встановлені такі:

- поля верхнє та бокові – 35 мм;
- поле нижнє – 45 мм.

В розділі «Параметры страницы» обрати вкладку «Источник бумаги» – встановити «От края до верхнего колонтитула» 1,2 см; «От края до нижнего колонтитула» 2 см.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Відступ першого рядка абзацу – 5 мм, інтервал між рядками – одинарний.

6. Матеріали набирають такими шрифтами:

- УДК – 11 пунктів, курсив;
- автори – 12 пунктів, напівжирний курсив;
- **НАЗВА СТАТТІ – ВЕЛИКІ ЛІТЕРИ, 12 ПУНКТИВ, НАПІВЖИРНИЙ;**
- *анотація – 11 пунктів, напівжирний курсив;*
- *ключові слова – 11 пунктів, курсив;*
- основний текст – 11 пунктів, звичайний;
- *знак авторського права (© Іванов І. І., 2011) – 12 пунктів, напівжирний курсив, знак авторського права розміщується на першій сторінці статті;*
- **СЛОВО «ЛІТЕРАТУРА» – ВЕЛИКІ ЛІТЕРИ, 11 ПУНКТИВ, НАПІВЖИРНИЙ;**

– назви джерел в списку літератури – 9 пунктів, звичайний, *прізвища авторів або перше слово назви джерела наводять курсивом.*

7. Інтервали між елементами статті такі:

- УДК – автори – 2;
- автори – назва статті – 3;
- назва статті – анотація та ключові слова – 2;
- анотація та ключові слова – основний текст – 1;
- основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 2;
- назва таблиці – її верхній край – 1;
- нижній край рисунка, схеми, діаграми – їх назви – 1;
- нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 2;
- основний текст – знак авторського права – 1;
- основний текст – **ЛІТЕРАТУРА** – 1;
- **ЛІТЕРАТУРА** – список літератури – 1.

8. Усі рисунки й таблиці повинні мати назви та номери (у разі, коли в одному матеріалі міститься два і більше названих елементів), наприклад, «*Рис. 1. Розрахункова схема...*» або «*Таблиця 1. Показники...*»

Слова *Рис.*, *Таблиця* та їх номери набираються курсивом, 11 пунктів, назви – напівжирним шрифтом, 11 пунктів, назви та номери таблиць розміщують над таблицями, а рисунків – під ними **по центру**. Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа зазначають: «*Продовження табл.*» із зазначенням номера таблиці.

9. Формули розташовуються на сторінці по центру. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Літери та позначення величин (символи) набирають курсивом.

10. Бібліографічний опис літературних (інформаційних) джерел складається за стандартом «Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання» (ДСТУ 7.1:2006).

Науково-виробниче видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 23

Відповідальний за випуск Ю. В. Черняк
Головний редактор О. В. Ємець
Редактор Н. В. Щербак
Макет і верстка В. О. Андрієнка
Комп'ютерна верстка І. І. Колбасовської

Підписано до друку 28.11.2013. Формат 60х90 1/8.
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі.
Ум. друк. арк. 20,46. Обл.-вид. арк. 9,08.
Наклад 150 прим. Зам. № 312/13.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ.
Свідомство про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.