

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ і НАУКИ,
МОЛОДІ та СПОРТУ УКРАЇНИ**
**ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**
**ДЕРЖАВНОГО
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

СЕРІЯ

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

ВИПУСК 20

Київ·ДЕТУТ·2012

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕДУТ, 2012. – 294 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 та працівників транспорту та зв'язку.

Редакційна колегія:

В. К. Мироненко, доктор технічних наук, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень», академік Транспортної академії України, академік Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності (*головний редактор*);

В. І. Данилевський, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», проректор з наукової роботи;

М. М. Алексюк, доктор технічних наук, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць»;

Е. І. Даниленко, 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»;

Л. Г. Лобас, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри «Теоретична і прикладна механіка», заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Транспортної академії України, дійсний член Нью-Йоркської академії наук;

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

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»;

Н. Г. Книш, фахівець I категорії Науково-дослідного відділу (*технічний секретар*).

Статті збірника рецензували члени редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕДУТ (протокол № 9 від 07 жовтня 2012 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту

Свідцтво про державну реєстрацію КВ 13946-2919ПР від 22.04.2008 р.

Збірник входить до Переліку № 10 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Бюлетень ВАК України № 36 від 18.11.2009 р.).

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Білухін Д. С. Аналіз системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електровоза ВЛ8 з лінійним регулятором.....	6
Водяников Ю. Я., Шелейко Т. В., Свистун С. М. Особенности кинематики движения колесной пары по рельсовому пути при торможении пассажирского вагона с дисковым тормозом	14
Грушевська Т. М. Стан рухомого складу як фактор і обмеження розвитку систем залізничних перевезень	20
Даніленко Т. П. Аналіз сучасних стандартів на металеві матеріали для залізничної техніки	29
Дубравін Ю. Ф. Дослідження факторів, що впливають на рівень коефіцієнта потужності електровоза змінного струму	38
Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Проблеми довговічності бетонів транспортного будівництва	45
Забудняк Т. В., Ширченко К. В. Класифікація транспортерів та їх технічні характеристики	50
Заїченко В. В., Дорошенко О. Ю. Дослідження впливу неорганічних в'язучих на фізико-механічні властивості укріплених ґрунтів	55
Карпінський С. Л., Йосифович Р. М., Даніленко Е. І. Нові методи виготовлення довгих рейкових плітей для безстикової колії із застосуванням сучасних рейкозварювальних машин	63
Кельріх М. Б., Іценко В. М., Брайковська Н. С., Осьмак В. Є. Оцінка теплостійкості якостей локальних ділянок в огороженні кузова критих вагонів з теплоізоляцією	71
Косарчук В. В., Азарков А. В. Прогнозирование долговечности рельсов по критерию возникновения трещин контактной усталости ...	77
Куліченко А. Я. Аналіз механізму тріщиноутворення у навантажених деталях рухомого складу залізничного транспорту	90
Панченко С. В., Панченко Н. Г., Пархоменко С. Л. До питання динамічної фільтрації сигналів та напрямки удосконалення систем автоведення поїздів	96
Пугачов Г. С., Приходько В.М. Розрахунок сил при вписуванні двовісного візка в кривих	110
Талавіра Г. М., Резник Т. С., Новак Д. П. Можливості технології вібродіагностики мостових конструкцій залізничних мостів	118
Талавіра Г. М., Сахнік С. В. Застосування безстикових стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах у складі безстикової колії без використання зрівнювальних приладів	124
Черных Ю. М. Обоснование схемы ремонтного цикла электровоза с асинхронным приводом	130

Черных Ю. М. Анализ отказов и исследование динамической нагруженности пружин рессорного подвешивания промышленных электропоездов	138
Черняк Ю. В., Гаюр А. В., Ревчук М. О. Анализ повышения эффективности потребления электроэнергии на электропоездах путем установки накопителей энергии	142

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

Белевцова Н. Л. Исследование траекторий деформирования оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях при неосесимметричных неизометрических процессах нагружения с учетом истории их протекания	145
Кільчинський О. О. До ролі моделювання та чисельних методів, задача про найкоротшу відстань	154
Крижановский А. В., Крижановская Т. В. Генетический алгоритм решения задач поиска оптимальных путей	158
Ковальчук В. В., Сипливий М. В. Про криві стаціонарних станів перевернутого маятника	162
Рисцова К. І., Рисцова А. Ю. Математична модель страхування на основі узагальненої лінійної регресії з урахуванням ризикових компонентів	167
Семененко В. Н., Семененко Т. Н. Численное исследование динамической системы с переменным запаздыванием	170
Тюнін В. Д. До питання визначення ліній взаємного перетину двох тригранних фігур призми і піраміди загального положення способом почергового послідовного перетину кожним з трьох ребер піраміди граней призми	179

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Воронко І. О. Класифікація видів коротких замикань в лініях електропередач та їх моніторинг	183
Габчак М. К. Методологія обробки діагностичних даних в бортовій комп'ютерній системі моніторингу стану рухомого складу	187
Герцій О. А., Гребінь Р. О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж	191
Мараховский Л. Ф., Москвин М. В. Общие черты и различия искусственных и биологических нейронов, как элементов нейронной сети	197
Міхно Н. Л. Аналіз на надійність схем пам'яті	207
Наконечна С. В., Семенюк М. С. Оцінка продуктивності систем паралельно-ієрархічної пам'яті	216

Пецьков Р. О. Сучасні тенденції розвитку моніторингу станів трансформаторів	222
--	-----

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Алексійчук Н. М., Мироненко В. К. Методологічний підхід до розвитку провайдерів логістичних послуг на транспортному ринку України	228
Висоцька Г. С. Визначення імовірнісних характеристик процесу доставки вантажів	240
Мироненко В. К., Мацюк В. І. Визначення оптимального місця концентрації технічної переробки місцевого вагонопотоку в розвинених залізничних вузлах за критерієм мінімізації часу	246
Овчаренко С. М. Визначення та формалізація функцій контролю за виконанням графіків доставки вантажів на залізничному транспорті ..	254
Петриковець О. В., Кириченко А. І., Стрелко О. Г., Горецький О. А. Скорочення витрат на складську логістику в системі «cross-docking»	262
Родкевич О. Г. Визначення статистичних характеристик для оцінки та вдосконалення системи перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом	266
Сорочинська О. Л. Вдосконалення системи охорони праці	273
Тимошенко Є. В. Удосконалення технології організації вагонопотоків шляхом використання моделей мережі Петрі	282
Автори статей випуску	287
Вимоги до оформлення статей	291

УДК 629.423.32

Дмитро Білухін

**АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ8
З ЛІНІЙНИМ РЕГУЛЯТОРОМ**

Проаналізовано структурну схему системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електровоза ВЛ8 з лінійним регулятором та на її основі запропоновано функціональну схему.

Выполнен анализ структурной схемы системы автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей электровоза ВЛ8 с линейным регулятором и на ее основе предложена функциональная схема.

The analysis of flow diagram of the system of automatic control of tension of low-voltage chains of electric locomotive of ВЛ8 is executed with a linear regulator. A functional diagram is offered.

Ключові слова: *структурна схема, регулятор, моделювання.*

Вступ. Сучасний стан залізничного комплексу України характеризується помітним спрацюванням основних фондів, що істотно зменшує техніко-технологічні, економіко-організаційні та інші можливості залізниць. Тому оновлення цих фондів, їх технічне переоснащення сьогодні є одним із найважливіших завдань вітчизняного залізничного транспорту відповідно до сучасних вимог. Одним із найбільш фондомістких підрозділів галузі є локомотивне господарство, а головна складова частина його фондів – це вартість тягового рухомого складу. На залізницях України гострою залишається проблема критичного стану електрорухомого складу, термін служби 70 % якого складає 30 років та більше. Утримання такого рухомого складу приводить до перевищення нормативних ремонтних витрат і негативно позначається на рентабельності залізничних перевезень. Критичний стан склався з вантажним парком електровозів постійного струму, основою якого є електровози ВЛ8. Для вирішення проблеми тягового забезпечення підприємства Укрзалізниці виконують капітально-відновлювальні ремонти електрорухомого складу для продовження їх терміну служби до 15–20 років. Щоб отримати найбільший ефект від витрат на капітально-відновлювальні ремонти, до них доцільно приурочити модернізацію деталей і вузлів електрорухомого складу, перш за все таких, модернізація яких не вимагає великих капітальних вкладень, але дозволяє знизити експлуатаційні витрати на утримання електрорухомого складу. Одним з таких вузлів є морально і фізично застаріла система автоматичного регу

© Білухін Д. С., 2012

лювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму, зокрема електровозів ВЛ8.

Основними елементами систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу постійного струму, який знаходиться в експлуатації є акумуляторна батарея, генератор постійного струму та вузол управління джерелом живлення, який впливає на струм збудження генератора. Вихід з ладу будь-якого з вказаних елементів може привести до відмови системи керування одиницею електрорухомого складу в цілому. Це може привести до порушення графіка руху поїздів або до аварійної ситуації. Найменш надійними з вказаних вузлів на ЕРС, який знаходиться в експлуатації, зокрема електровозів ВЛ8 та електропоїздів ЕР1, ЕР2 є вузли регулювання напруги низьковольтних кіл на які припадає 54 % відмов. Останні мають низькі експлуатаційні показники: рівень надійності, підтримання напруги в заданих межах, знос механічних частин, значні витрати на утримання.

В роботі [1] пропонується альтернативне рішення проблеми, яке полягає в заміні існуючих в експлуатації електромеханічних регуляторів типу СРН-7У на сучасні. За основу сучасних вузлів управління напругою низьковольтних кіл пропонується використовувати схемні рішення на основі сучасних мікроконтролерів та ключових елементах з польовим управлінням (польові транзистори та біполярні транзистори з ізолюваним затвором). Доказана можливість створення імпульсної автоколивальної системи. Однак в роботі зовсім не розглядається можливість використання сучасних напівпровідникових елементів для побудови лінійного вузла управління напругою низьковольтних кіл.

Матеріали дослідів. В роботі [1] пропонується структурна схема системи автоматичного регулювання напруги (САРН) низьковольтних кіл ЕРС, яка показана на рис. 1. В схемі: K_{ϕ} – коефіцієнт передачі обмотки збудження генератора; T_{ϕ} – стала часу обмотки збудження; K_y – коефіцієнт передачі обмотки якоря; T_y – стала часу кола обмотки якоря; U_{Π} – опорна напруга; U_{δ} – напруга розузгодження; U_{ϕ} – напруга збудження; I_{ϕ} – струм збудження; U_i – напруга на навантаженні; E – е.р.с. генератора; I_y – струм якоря; ΔU_y – падіння напруги в обмотках якоря.

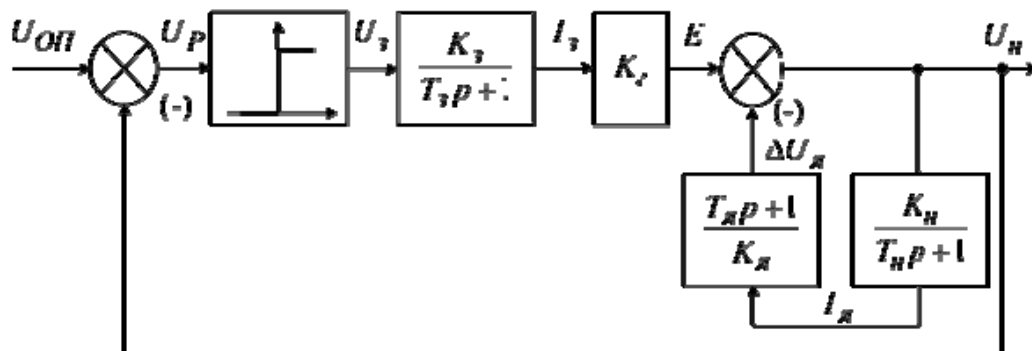


Рис. 1. Структурна схема САРН з релейним регулятором

Суттєвою перевагою принципових схем [2], які розроблювалися на основі показної структури є значне підвищення надійності вузла управління за рахунок використання малої кількості елементів на платі управління завдяки використанню мікроконтролера. До недоліків схеми на основі мікроконтролера належить необхідність складання програми по якій працює пристрій. За рахунок використання специфічних мікроконтролерів та необхідності залучати до програмування і подальшого обслуговування спеціалістів з інших галузей промисловості вартість такого пристрою значно підвищується.

Шлях створення імпульсних систем управління дійсно виправдано за рахунок зменшення втрат потужності на напівпровідникових елементах [3], але ж, в даному випадку, середнє значення струму обмотки збудження генератора управління електровоза ВЛ8 типу ДК-405К знаходиться в межах 2–3 А та не може розглядатися як суттєвий фактор до економії електричної енергії в напівпровідникових приладах, що працюють в лінійному режимі. Сучасна промисловість випускає достатню кількість біполярних транзисторів зі струмом колектора до 10 А, напругою колектор-емітер більш 50 В і потужністю, що розсіюється колом колектора до 300 Вт [4]. Це дозволяє виконати розробку вузла управління з біполярним виходом та який мав би лінійну характеристику регулятора. В такому випадку робота системи регулювання якісно оцінюється відомими з теорії автоматичного керування методами [5].

Виконуємо необхідну заміну в структурі системи автоматичного регулювання, яка пропонується на рис. 1. Заміні підлягає суттєво нелінійна релейна характеристика. Цю характеристику замінюємо пропорційною ланкою, тобто типовим П-регулятором. Передатна характеристика типового П-регулятора має вигляд

$$W_1(p) = k_1, \quad (1)$$

де k_1 – коефіцієнт передачі П-регулятора, або коефіцієнт підсилення біполярного транзисторного вузла в даному випадку.

Нова структурна схема представлена на рис. 2. Дослідження лінійних систем проводимо за типовими методиками, які полягають в визначенні частотної стійкості та якості перехідних процесів в системі.

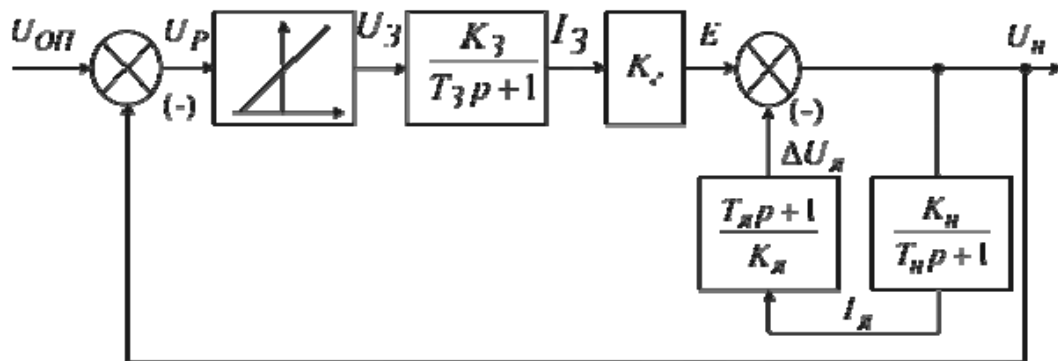


Рис. 2. Структурна схема САРН з П-регулятором

Передатна функція розімкненої системи автоматичного регулювання з лінійним регулятором:

$$W_p(p) = \frac{k_{\Pi} K_{\Gamma} K_{\text{я}} K_3 (T_{\text{н}} p + 1)}{(T_3 p + 1) [K_{\text{я}} (T_{\text{н}} p + 1) + K_{\text{н}} (T_{\text{я}} p + 1)]}. \quad (2)$$

Позначимо:

$$\begin{aligned} K &= k_{\Pi} K_{\Gamma} K_{\text{я}} K_3, \\ a_0 &= T_3 (K_{\text{я}} T_{\text{н}} + K_{\text{н}} T_{\text{я}}), \\ a_1 &= K_{\text{я}} T_{\text{н}} + K_{\text{н}} T_{\text{я}} + T_3 (K_{\text{я}} + K_{\text{н}}), \\ a_2 &= K_{\text{я}} + K_{\text{н}}. \end{aligned}$$

Зробивши підстановку, одержимо кінцеве рівняння для розімкненої лінійної САРН

$$W_p(p) = \frac{K(T_{\text{н}} p + 1)}{a_0 p^2 + a_1 p + a_2}. \quad (3)$$

Комплексний коефіцієнт передачі розімкненої системи.

$$W_p(j\omega) = \frac{K(T_{\text{н}} j\omega + 1)}{a_0 j^2 \omega^2 + a_1 j\omega + a_2} = \frac{K + j\omega K T_{\text{н}}}{a_2 - a_0 \omega^2 + j a_1 \omega}. \quad (4)$$

Відповідно до критерію Найквіста система вважається стійкою, якщо амплітудно-фазова характеристика (годограф) не огинає точку, яка має координати $(-1; j0)$. Результати побудови (годограф в статті не показано) вказують на стійкість системи при будь-якому співвідношенні параметрів кола навантаження. Однак стійкість системи не означає, що система має якісні показники перехідних процесів. Якість перехідного процесу прийнято оцінювати по перехідній характеристиці системи. Побудову кривої перехідного процесу при впливі одиничного імпульсу по заданій дійсній частотній характеристиці замкненої системи, можна виконувати за допомогою наближеного методу В. В. Солодовнікова (метод h -функцій) та іншими. На цей час існує безліч програмного забезпечення для ЕОМ за допомогою якого можна побудувати криву перехідного процесу без виконання складних обчислень [5]. Для побудови перехідної характеристики системи застосовуємо програму Simulinc 5/6. Математична модель у вікні цієї програми подана на рис. 3, а графік перехідного процесу подано на рис. 4.

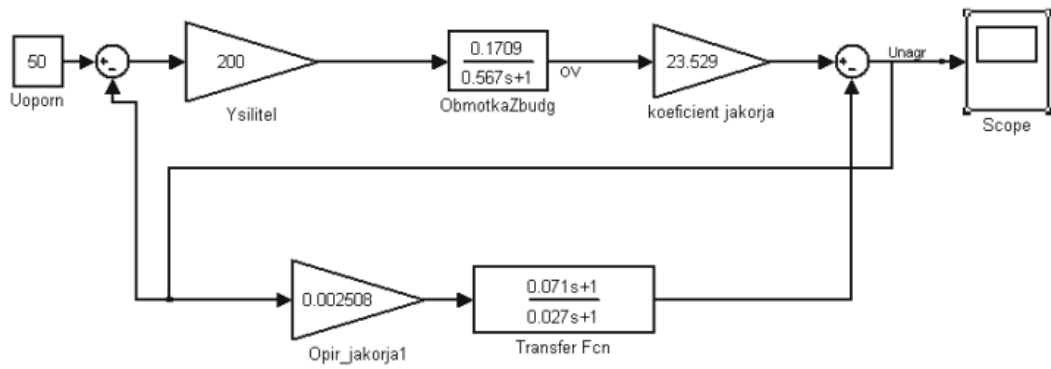


Рис. 3. Структурна схема САРН з П-регулятором в середовищі програми Simulink 5/6

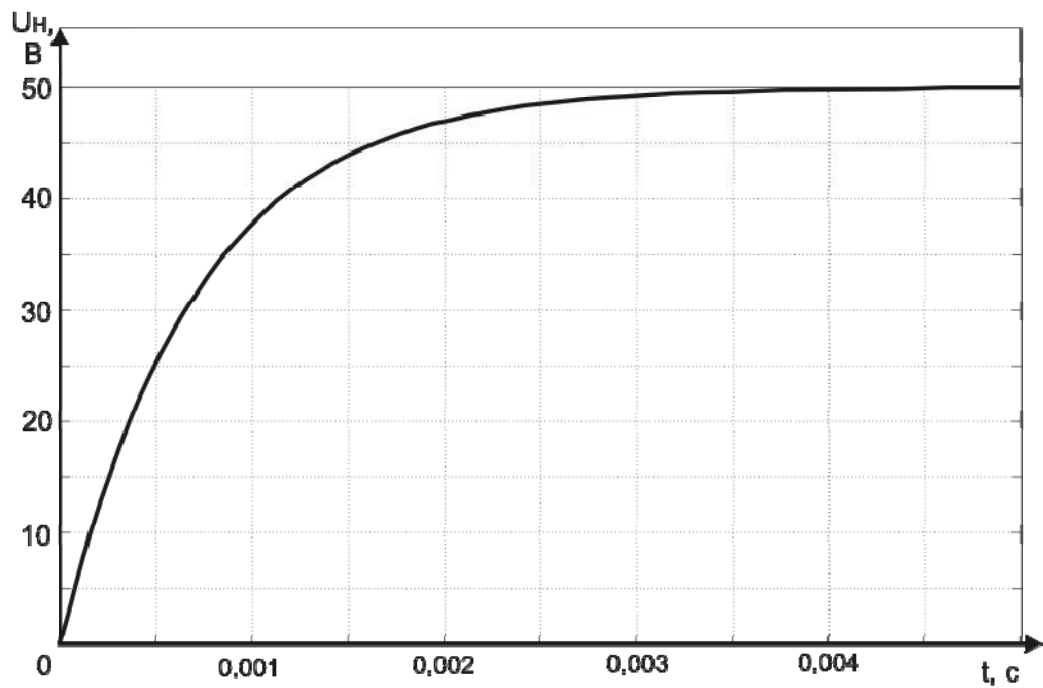


Рис. 4. Результати моделювання САРН з П-регулятором в середовищі програми Simulink 5/6

Система що запропонована, на перший погляд, дає достатньо якісні показники частотної стійкості та перехідного процесу. Крім того, досить просто виконати проектування такої системи. Це може бути звичайний операційний підсилювач, ввімкнений за інвертуючою або неінвертуючою схемою. Тому можна було б і зупинитися на досягнутому результаті. Але ж з теорії автоматичного керування відомі деякі недоліки системи з використанням пропорційного регулятора, які слід враховувати при подальшому аналізі. При використанні пропорційного регулятора величини що регулюється не стабілізуються на заданому значенні. Завжди існує статична помилка, яка дорівнює такому значенню керованої величини, що забезпечує вихідний сигнал необхідний для стабілізації вихідної величини при конкретному значенні інших параметрів системи. Збільшення коефіцієнта підсилення зменшує статичну помилку, але ж при значному коефіцієнті підсилення починаються автоколивання, а при подальшому збільшенні система втрачає стійкість. Для виключення статичної помилки використовується інтегральна складова. Система з інтегральною складовою враховує попередній стан. Якщо до системи не прикладені зовнішні збурення, то через деякий час керована величина стабілізується на заданому значенні, сигнал пропорційної складової буде дорівнювати нулю, а вихідний сигнал буде повністю забезпечувати інтегральна складова. Вказаний алгоритм забезпечується пропорційно-інтегральними регуляторами або ПІ-регуляторами.

ПІ-регулятор – це паралельно поєднані пропорційний П-регулятор та інтегральний І-регулятор. Сигнал ПІ-регулятора залежить від помилки регулювання та інтеграла цієї помилки. Передатна функція ПІ-регулятора:

$$W_{\text{PI}} = k_{\text{I}} + \frac{1}{T_z p} = \frac{k_{\text{I}} T_z p + 1}{T_z p}, \quad (5)$$

де k_{I} – коефіцієнт підсилення пропорційної частини ПІ-регулятора;

T_z – стала часу або час ізодрому.

Розімкнена передатна функція САПР з ПІ-регулятором:

$$W_{\delta}^{\text{PI}}(p) = \frac{b_{01}p + b_{11}}{a_{01}p^3 + a_{11}p^2 + a_{21}p}, \quad (6)$$

де:

$$\begin{aligned} b_{01} &= K_{\text{a}} K_{\text{y}} K_{\text{c}} (T_{\text{i}} T_z k_{\text{I}} + T_z k_{\text{I}} + T_{\text{i}}), \\ b_{11} &= K_{\text{a}} K_{\text{y}} K_{\text{c}}, \\ a_{01} &= T_z T_{\text{c}} (K_{\text{y}} T_{\text{i}} + K_{\text{i}} T_{\text{y}}), \\ a_{11} &= T_z (K_{\text{y}} T_{\text{i}} + K_{\text{i}} T_{\text{y}} + T_{\text{c}} (K_{\text{y}} + K_{\text{i}})), \\ a_{21} &= T_z (K_{\text{y}} + K_{\text{i}}). \end{aligned} \quad (7)$$

Комплексний коефіцієнт передачі системи з ПІ-регулятором:

$$W_{\delta}^{\text{P}}(j\omega) = \frac{b_{11} + j\omega b_{01}}{-a_{11}\omega^2 + j(a_{21}\omega - a_{01}\omega^3)} \quad (8)$$

Аналіз годографа (в статті не показано) при $k_I = 50$ та $T_z = 0,01$ с для САРН з ПІ-регулятором вказує на її стійкість. Результати моделювання САРН з ПІ-регулятором в середовищі програми Simulink 5/6 вказують на відсутність перерегулювання в системі. Тому, в подальшому рекомендовано розрахункові параметри регулятора САРН такі: ПІ-регулятор з коефіцієнтом підсилення 50 ± 5 та сталою часу $0,01 \pm 0,005$ с.

Проектування та розрахунок схем вузлів на основі напівпровідникових елементів звичайно починають з вибору або розробки його функціональної схеми [6]. На рис. 5 показана функціональна схема САРН з вузлом управління на основі напівпровідникової елементної бази, яка за призначенням своїх функціональних елементів відповідає структурній схемі САРН з лінійним ПІ-регулятором. Як елементна база рекомендуються операційні підсилювачі. Це висуває при проектуванні схемних рішень додаткові вимоги. Так для використання в схемі зручніше було б вибрати єдиний тип операційного підсилювача, що дозволяє використовувати єдиний пристрій живлення та видалити зі схеми елементи погодження деяких характерних параметрів (наприклад, внутрішнього входного та вихідного опору підсилювачів, рівня входних-вихідних напруг та ін.).

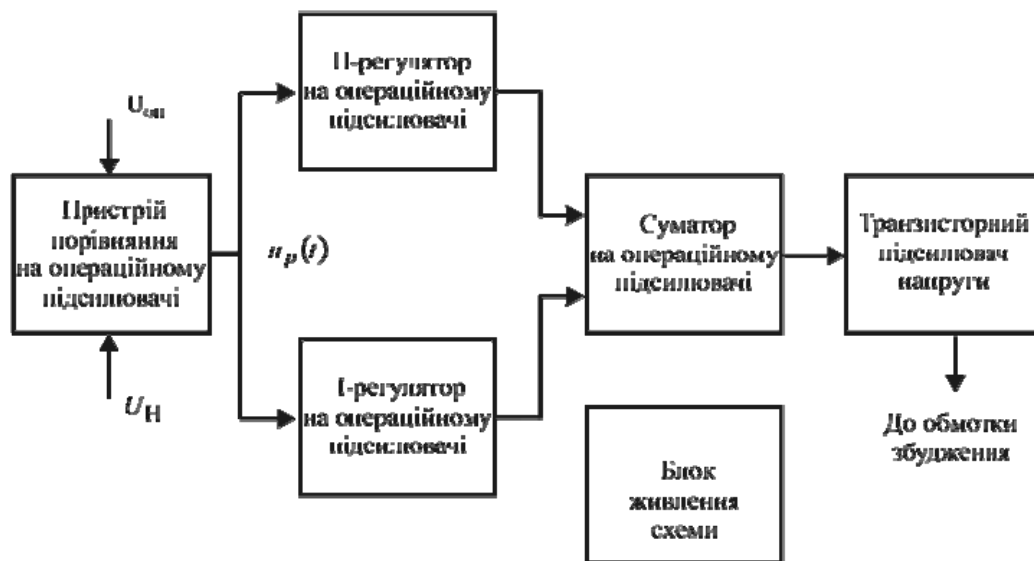


Рис. 5. Функціональна схема вузла керування системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електровоза ВЛ8 з лінійним регулятором

Висновок. Досліди структурної схеми системи автоматичного регулювання напруги з лінійним регулятором підтвердили можливість забезпечення цією системою динамічної стійкості при можливих збуреннях та її побудову на основі зручних в експлуатації напівпровідникових елементів. Перехідні процеси в системі мають аперіодичний характер. Як вузол регулятора слід застосовувати пропорційно-інтегральний регулятор, який виключає статичну помилку. По функціональній схемі, що пропонується в роботі може бути розроблена принципова електрична схема з ввімкненням операційних підсилювачів по відомих на практиці [6] схемних рішеннях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белухин Д. С. Повышение эксплуатационных показателей систем автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей электроподвижного состава: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.09 / Д. С. Белухин – Дн-к, 2010. – 202 с. – (ДИИТ).
2. Білухін Д. С. Патент на корисну модель 33080 України, МПК (2006) H02P9/14. Вузол керування автономною електроенергетичною установкою / Білухін Д. С.; заявник та утримувач патенту Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № u200801407; подано 04.02.2008, опубл. 10.06.2008. Бюл. №11.
3. Сосков А. Г., Соскова И. А. Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита. – К.: Каравелла, 2005. – 344 с.
4. Партала О. Н. Радиокомпоненты и материалы: справочник / Партала О. Н. – К.: Радиоаматор, М.: КУБК-а, 1998, – 720 с.
5. Филипп Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.

УДК 629.4

Юрий Водяников
Татьяна Шелейко
Сергей Свистун

ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПО РЕЛЬСОВОМУ ПУТИ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С ДИСКОВЫМ ТОРМОЗОМ

Представлены результаты экспериментальных исследований особенности кинематики вращения колесных пар при торможении пассажирского вагона с дисковым тормозом. Показано, что вращение колес при торможении происходит с проскальзыванием. Установлено два временных участка, характеризующихся максимальной величиной скольжения колес относительно рельса – период неустановившегося торможения (нарастание тормозной силы) и период малых скоростей (менее 40 км/ч).

Представлені результати експериментальних досліджень особливості кінематики обертання колісних пар під час гальмування пасажирського вагона з дисковим гальмом. Показано, що обертання коліс під час гальмування відбувається з проковзуванням. Встановлено два часових відрізки, що характеризуються максимальною величиною проковзування коліс відносно рейки – період несталого гальмування (наростання гальмівної сили) і період малих швидкостей (менше 40 км/год).

The results of experimental research of features of the kinematics of rotation of the wheel pairs when braking of passenger carriage with the disk brake are present. It is shown that rotation of the wheels when braking is happening with the slippage. There are two temporary areas, characterized by a maximum value of slip of the wheel relative to the rail – period unsteady braking (increase brake force) and the period of low speeds (less than 40 km/h).

Ключевые слова: *безопасность, термотрещины, скорость, давление, проскальзывание.*

Взаимодействие колеса и рельса является физической основой движения поездов по железным дорогам. Именно оно во многом определяет безопасность, а также такие технико-экономические показатели, как масса поездов, скорость их движения и уровень эксплуатационных расходов. При этом требования к показателям взаимодействия колес и рельсов в зонах их контакта противоречивы. С одной стороны,

© Водяников Ю.Я., Шелейко Т.В., Свистун С.М., 2012

сцепление колес с рельсами должно быть таким, чтобы обеспечивалось малое сопротивление движению поезда. С другой стороны – для реализации требуемой силы тяги необходимо обеспечивать высокий и стабильный уровень сцепления колес с той же поверхностью. При этом контактная усталость и износ являются конкурирующими механизмами повреждаемости и при сочетании определенных условий поочередно возникают на железных дорогах, приводя к повышенной сменяемости колес и рельсов [1-3].

На современном этапе перехода пассажирских поездов к высоким скоростям движения для обеспечения экономически целесообразной эксплуатации колес и рельсов при обязательном соблюдении условий безопасности движения, одной из основных задач в области взаимодействия колес и рельсов является снижение теплового воздействия в процессе проскальзывания (юза) колеса как в процессе движения вагона, так и при его торможении [2, 4]. Актуальность задачи обусловлена возникновением дефектов термического происхождения вследствие циклического нагрева и охлаждения поверхностных слоев металла поверхности катания колеса (термоциклирование) с последующим нарастанием усталости металла, зарождением и ростом трещин, несвоевременное обнаружение которых может иметь непредсказуемые последствия для железнодорожного подвижного состава [3, 5, 6].

Как показывает опыт эксплуатации, наибольшим температурным воздействиям подвергаются колесные пары в процессе торможения, когда к влиянию динамических сил добавляется влияние сил торможения. Для исследования влияния тормозных сил на кинематику вращения колеса при торможении были проведены тормозные испытания пассажирского вагона с дисковыми тормозами. Испытания проводились методом «бросания», при котором исследуемый вагон автоматически отцепляется от опытного поезда и тормозится только под действием собственной тормозной системы. Сигналы от датчиков оборотов каждой колесной пары, а также давления в тормозных цилиндрах и питательном резервуаре записывались на компьютер.

Сигналы от датчиков оборотов и давлений подвергались обработке на ЭВМ по специально разработанной программе, написанной на языке «FORTRAN», выбор которого был обусловлен значительным объемом информации (более 3 миллионов записей). Число информационных каналов составляло 9, длительность записываемых процессов до 60 с, частота опроса, задаваемых АЦП (аналого-цифровой преобразователь), принималась равной 10 кГц. Скорость движения пассажирского вагона в начале торможения составляла от 140 км/ч до 160 км/ч.

На характер изменения скорости движения вагона при торможении существенное влияние оказывает неустановившееся давление в тормозных цилиндрах (рис. 1).

Оценка и анализ особенностей процессов торможения пассажирского вагона осуществлялась по таким характеристикам как линейная средняя скорость движения вагона, линейные скорости вращения каждой колесной пары, степень проскальзывания (отклонения линейной скорости вращения колесных пар от скорости движения вагона).

Степень проскальзывания i -й колесной пары (ΔV_i) относительно рельса определялась по формуле:

$$\Delta V_i = abs\left(\frac{V_i}{V_{cp}} - 1\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где V_i – линейная скорость вращения колесной пары, м/с;

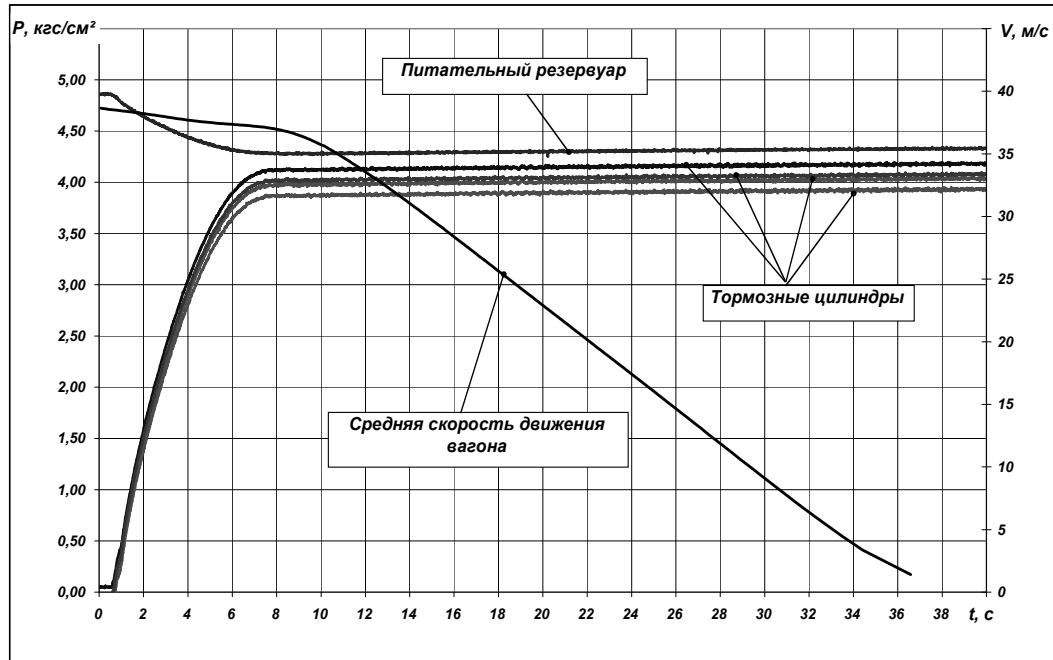


Рис. 1. Диаграммы наполнения тормозных цилиндров одной тележки и реализуемой скорости движения при торможении пассажирского вагона

V_{cp} – средняя скорость движения вагона, м/с.

Анализ результатов исследований показал, что при торможении вагона наблюдаются два временных участка, характеризующиеся максимальным отклонением линейной скорости вращения колесных пар от средней скорости движения вагона. Первый участок обусловлен нарастанием давления (тормозной силы) в тормозных цилиндрах, второй участок наблюдается при достижении скорости движения вагона от 40 км/ч до полной его остановки (рис. 2).

Следует отметить, что реализуемые при торможении давления в тормозных цилиндрах колесных пар имели различные значения, причем разница между минимальным и максимальным значениями составила 6,2 %.

При движении вагона по рельсовому пути без торможения также имеет место проскальзывание колесных пар, обусловленное динамическим воздействием, причем его величина принимает максимальное значение на кривых участках пути (рис. 3).

В результате выполненных исследований было установлено:

- ✓ движение колеса по рельсовому пути происходит с проскальзыванием относительно рельсового пути;

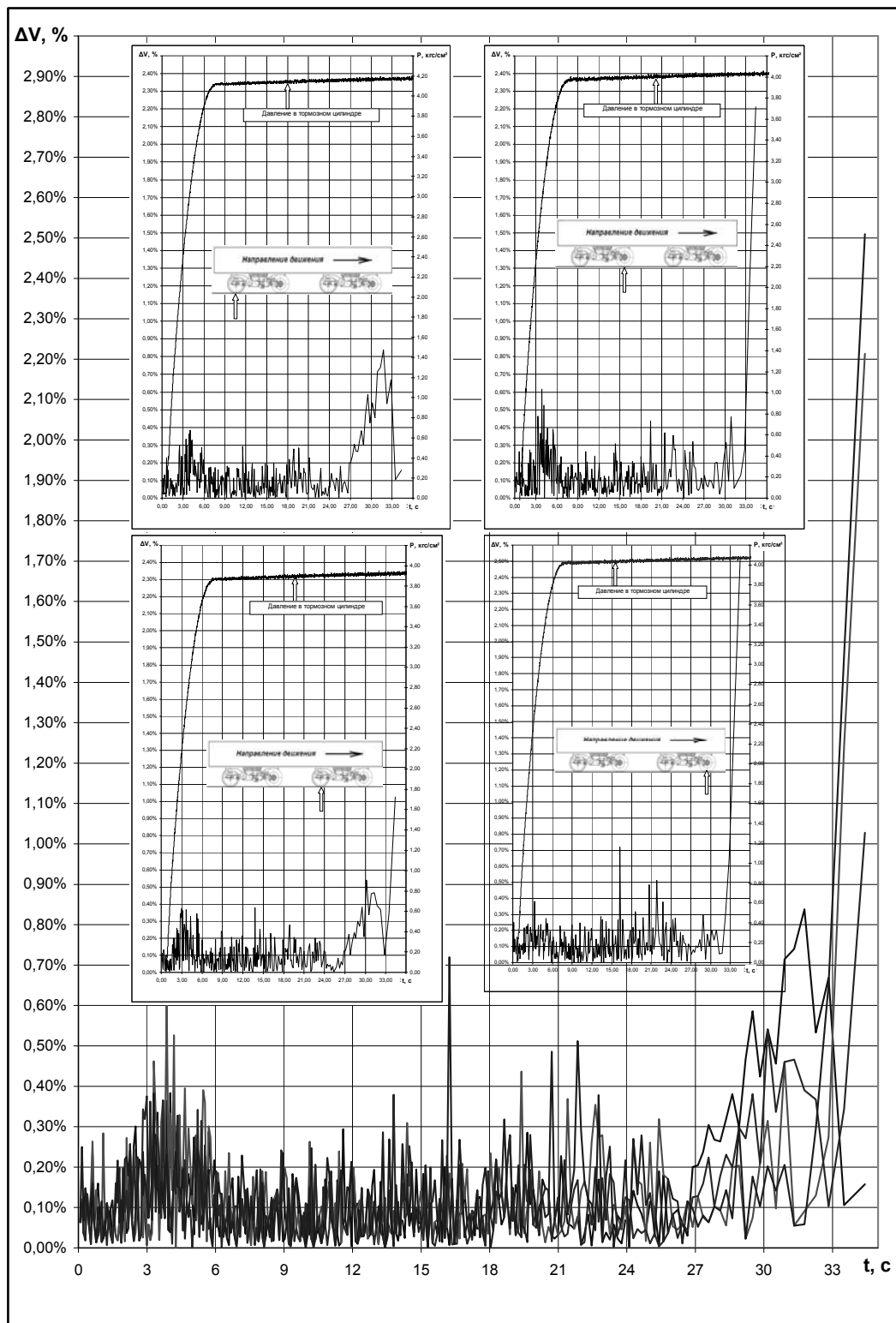


Рис. 2. Степень проскальзывания колесных пар относительно рельсового пути при торможении пассажирского вагона

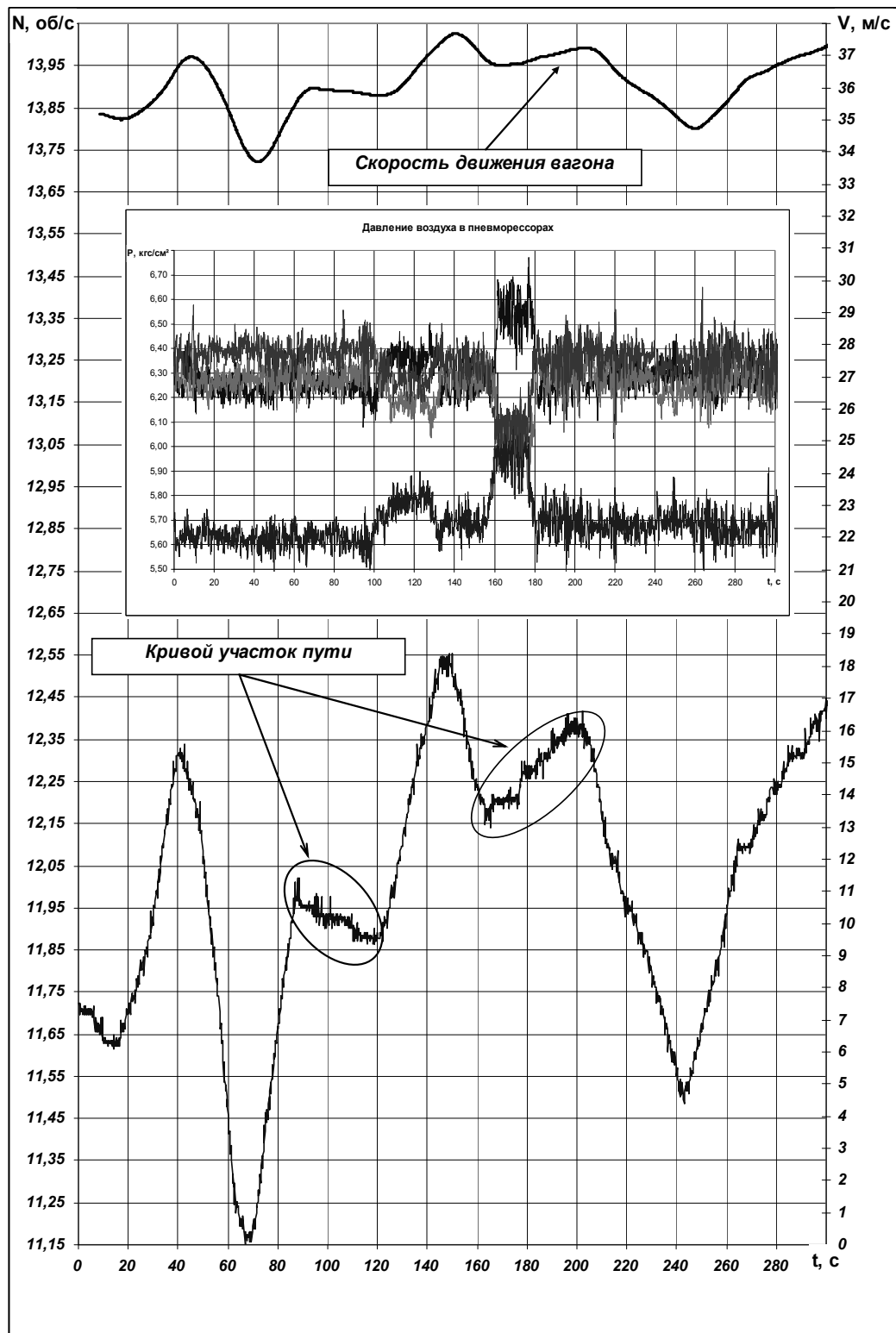


Рис. 3. Количество оборотов колесной пары при движении пассажирского вагона по кривым участкам пути

✓ на величину проскальзання оказыває вплив установившеся тиск в гальмівних циліндрах, а також розброс їх величин;

✓ при русі вагона по рейсовому шляху максимальне проскальзання колеса досягається на кривих ділянках шляху.

Приведені дослідження стосуються тільки одиночного вагона. При русі вагона в складі поїзда на кінематику вращательного руху колесних пар будуть оказувати вплив сили взаємодії між вагонами, що вимагає проведення додаткових досліджень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов В.М. Современные проблемы системы колесо-рельс / В.М. Богданов, С.М. Захаров // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 1. – С. 57-62.
2. Марков Д.П. Коэффициенты трения и сцепления при взаимодействии колес с рельсами / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 4. – С. 3-9.
3. Неижко И.Г. Дефекты на поверхности катания колесных пар пассажирских вагонов / И.Г. Неижко // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 6. – С. 73-75.
4. Срок службы железнодорожных колес / G. Stevenot, F. Demilly. Revue Generale des Chemins de Fer, 2002, № 5, p. 33-39 // Железные дороги мира. – 2003. – № 7. – С. 47-52.
5. Андрейко І. Структура та опір руйнуванню сталей у різних зонах залізничних коліс / І. Андрейко, В. Кулик, О. Осташ, І. Узлов, О. Бабаченко // Машинознавство. – 2008. – № 5(131). – С. 18-21.
6. Продление срока службы колес / A. Ghidini, R. Enblom. Railway Gazzete International, 2010, № 3, p. 30-38 // Железные дороги мира. – 2010. – № 11. – С. 66-74.

УДК 629.4

Тетяна Грушевська

СТАН РУХОМОГО СКЛАДУ ЯК ФАКТОР І ОБМЕЖЕННЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В статті проведено аналіз технічного стану тягового рухомого складу залізниць України, розглянуто перспективні напрямки щодо його оновлення та запропоновано вирішення даної проблеми на сучасному етапі.

В статье проведено анализ технического состояния тягового подвижного состава железных дорог Украины, рассмотрено перспективные направления его обновления та предложено решение данной проблемы на современном этапе.

The analysis of the traction rolling stock state of Ukrainian railway has been conducted in the article, perspective directions has been considered in relation to its update and solution of this problem has been offered on the modern stage.

Ключові слова: тяговий рухомий склад (далі ТРС), залишковий строк служби ТРС, оновлення ТРС.

Постановка проблеми та її зв'язки з науковими і практичними завданнями. Розвиток залізничного транспорту вимагає постійного підвищення технічного рівня його інфраструктури, швидкостей руху і забезпечення безпеки перевезень. Однією із задач залізничного транспорту є постійне оновлення і модернізація рухомого складу залізниць з метою доведення його до сучасного рівня. Адже від технічного стану рухомого складу, умов його експлуатації, системи ремонту й обслуговування залежать результати діяльності транспорту в цілому.

Найважливішим сучасним завданням для залізничного транспорту України є підвищення його конкурентоспроможності. Світовий досвід показує, що в умовах конкурентної боротьби економічного, соціального та культурного розквіту досягають лише ті держави, що мають свою стратегію розвитку і проводять свої реформи на системній основі. Проблеми, які притаманні залізницям розвинутих європейських країн, властиві і для українського залізничного транспорту, але мають більш гострий характер.

На теперішній час технічний стан рухомого складу не відповідає сучасним вимогам експлуатації. Однією з найгостріших проблем залізниць є моральне старіння локомотивного парку. Він характеризується збільшеними, постійно зростаючими експлуатаційними витратами та має низьку економічність порівняно з локомотивами нового покоління. На цей час 75% електровозів відпрацювали встановлений заводами-виробниками нормативний строк служби, темпи старіння

© Грушевська Т.М., 2012

локомотивного парку залізниць України значно перевищують темпи придбання нових сучасних зразків ТРС. Термін служби – один із основних показників, який характеризує ТРС і визначає можливість його подальшої експлуатації. Встановлення періоду оновлення ТРС залежить від таких факторів:

- якісного рівня елементної бази, використання якої дає значний економічний ефект;
- необхідності забезпечення роботою вітчизняних виробників ТРС;
- наявності фінансових ресурсів на заміну ТРС, що відпрацював нормативний строк служби.

Таким чином при розгляді вище приведених факторів було в 1992 році встановлено, що розробка і виробництво ТРС нового покоління на основі високоефективної сучасної елементної бази, систем управління і перетворення, конструктивних рішень, особливо на силовому приводу, є одною із головних проблем, яка в найближчі 3-5 років кардинально не буде вирішена. Заміна експлуатаційного парку електровозів, тепловозів, електро- і дизель-поїздів навіть при форсуванні темпів розробки, виробництві і випробування зразків, дослідних партій і покращення фінансових можливостей займе від 10 до 15 років. Здійснювати закупівлю або виробництво ТРС на конструктивній основі експлуатаційного парку не є раціональним. Окремі прогресивні рішення по деяким вузлам і схемам можуть бути впроваджені при капітальних і, навіть, при деповських видах ремонту.

Необхідно також відмітити, що експлуатація існуючого ТРС здійснювалась недостатньо інтенсивно, що ставить під сумнів про повне використання його ресурсу роботи.

Потрібно відзначити й реальну ситуацію, що склалася, і яка характеризувалась експлуатацією ТРС з наднормативним строком служби, що суперечить вимогам державних стандартів і безпеці руху поїздів. Це вимагало прийняття рішення з правової можливості подальшої експлуатації ТРС, що відпрацював свій нормативний строк служби.

Слід зазначити, що проблема забезпечення перевезень пасажирів і вантажів ТРС виникла вже у 1990 році. В часи СРСР ця проблема вирішувалась шляхом виробництва нового ТРС і списання амортизованого. При такому підході Укрзалізниця повинна щорічно закупляти біля 400 одиниць ТРС.

Було прийнято рішення – шляхом випробування встановити можливий залишковий строк служби ТРС.

Для заміни частини парку тягового рухомого складу, що відпрацював нормативний термін служби, Укрзалізницею була розроблена Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки.

Аналіз і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячена стаття. Необхідно зазначити, що проблемі забезпечення залізничного транспорту ТРС шляхом його виробництва і закупівлі, а також подовження строку роботи займалися вчені і спеціалісти локомотивного господарства, а саме:

Блохін Е.П., Горобець В.Л., Кельріх Б.М., Лашко А.Д., Кулешов В.П., Тартаковський Е.Д., Сергієнко М.І., Ейтутіс Г.Д., Федюшин Ю.М., Данько М.І., Паламаренко О.І., Савін Ю.І., Яновський П.О. та ін.

Вважаючи на те, що проблема оцінки залишкового ресурсу роботи ТРС в Україні виникла у період набуття самостійності, документації та методик, що регламентували б процес визначення та подовження строку служби ТРС при

наявності необхідного залишкового ресурсу не було. В рамках проведення науково-дослідних робіт була розроблена концепція подовження його строку служби, основними положеннями якої було:

- ТРС певного типу експлуатується приблизно однаково і в рівних умовах експлуатації. При умові зберігання якості технології його виробництва одиниця ТРС, яка одержала найбільшу наробітку на протязі строку служби, повинна використовуватись для оцінювання залишкового ресурсу всього типу ТРС;
- основним критерієм доцільності подовження строку служби ТРС є наявність для цього величини залишкового ресурсу його несучих конструкцій: рам візків і кузовів;
- основною умовою подовження строку служби ТРС є його відповідність нормативним вимогам, що пред'являються до заново проектуємого.

З урахуванням результатів проведених науково-дослідних робіт з визначення залишкового строку служби ТРС, що експлуатується, необхідно після модернізації та закупівлі ТРС нового покоління впроваджувати новітні технології ремонту, які були використані при його випробуваннях, що дозволить підвищити якість проектування, виробництва і експлуатації та значно зменшити витрати на його утримання.

Це питання не є новим, однак залізнична галузь, маючи свою специфіку, потребує спеціального методичного супроводження. З урахуванням модернізації та закупівлі рухомого складу нового покоління, впровадження систем їх обслуговування та ремонту, реструктуризації локомотивних депо виникає необхідність створення такої системи, яка б враховувала перераховані раніше чинники. Створення такої системи викликає великий науково-практичний інтерес, так як вона дозволить підвищити якість експлуатації нового, модернізованого та існуючого рухомого складу, значно зменшити експлуатаційні витрати на нього.

На підставі аналізу сучасного стану рухомого складу на залізницях України запропоновано рекомендації щодо його покращення, основних фондів з метою недопущення втрати позицій на ринку залізничних перевезень на користь іноземним перевізникам.

Однак сьогодні оновлення рухомого складу залишається актуальною проблемою розгляду і вивчення в ряді наукових праць.

Метою даної статті є дослідження проблем формування інвентарного парку ТРС Укрзалізниці шляхом комплексного використання закупівлі новітнього, модернізації та подовження строку служби ТРС, що експлуатується.

Представлення основного матеріалу досліджень з обґрунтуванням наукових результатів. Забезпечення ТРС є головною задачею залізничного транспорту. Ефективність його роботи залежить від використаних технічних і технологічних напрямків при проектуванні, виробництві, якості обслуговування, рівня зношення, а також своєчасного оновлення, модернізації та ремонту. Рухомий склад залізниць – багатосерійний. Основна частина ТРС закуплялась і поставлялась на залізниці ще в радянські часи, що відповідно і обумовлює фактичний строк служби. Аналіз вікового стану експлуатаційного парку ТРС вказує на його критичний стан, що представлено в табл.1.

Загалом інвентарний парк тягового рухомого складу налічує 920 магістральних та 1561 маневрових тепловозів і 1865 електровозів (846 електровозів постійного струму і 1019 електровозів змінного струму), із них експлуатуються 1343 тепловози та 1271 електровоз.

Таблиця 1 Аналіз вікового стану ТРС

№ п/п	Найменування показників	Електровози	Тепловози	
			Магістральні	Маневрові
1	Кількість (всього)	1865	920	1561
2	По терміну служби після побудови	від 1 до 10 років – 101од. (5,4%); від 11 до 20 років – 41од. (2,2%); від 21 до 30 років – 340од.(18,2%); з наднормативним строком служби – 1383од.(74,2%)	від 1 до 10 – 4 (0,4%); від 11 до 20 – 79 (8,6%); з наднормативним строком служби. – 837 (91%)	від 1 до 10 – 2 (0,1%); від 11 до 20 – 77 (4,9%); від 21 до 25 – 369 (23,7%); з наднормативним строком служби – 1113 (71,3%)

Таблиця 2 Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012 – 2016 роки

№ п/п	Найменування показників	Всього	В тому числі за роками				
			2012	2013	2014	2015	2016
1	Кількість одиниць локомотивів	509	66	104	110	114	115
2	Орієнтовні витрати (млн грн)	28674,3	3069,09	5198,5	6144,28	6825,62	7437,15

Структура інвентарного парку відображена на (рис. 1). Переважну частину парку складають електровози ВЛ8, ВЛ11, ВЛ40, ВЛ60, ВЛ80, ВЛ82, 2ЕС4, 2ЕС5, ДС3, ЧС2, ЧС4, ЧС7, ЧС8, магістральні тепловози 2ТЕ116, 2ТЕ10, 2М62, ТЕП70 маневрові тепловози ЧМЕЗ тощо, які побудовані у 50-60 роках минулого століття.

Більшість з них не забезпечують необхідну швидкість руху, особливо пасажирських поїздів, і мають низьку економічну ефективність порівняно із сучасними зразками. Крім того, більшість з них через свою граничну конструктивну швидкість не може забезпечити рух вантажних і пасажирських поїздів зі швидкостями до 100 й 140 км/год відповідно.

Віковий та технічний стан локомотивів потребує термінового вирішення проблеми його заміни на новий, більш сучасний, з кращими техніко-економічними характеристиками. Для заміни частини парку тягового рухливого складу, що відпрацював нормативний термін служби, Укрзалізницею була розроблена Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки. Відповідно до даної програми, у період 2008-2010 роки необхідно було придбати 146 електровозів і 26 тепловозів. Однак за ці три роки, виходячи з



Рис. 1. Структура інвентарного парку локомотивів

фінансових можливостей залізниць України, придбано 45 електровозів (у 2008 р. – 34 електровози, у 2009 р. – 4, у 2010 р. – 7) і 4 тепловози (у 2008 р.).

Значне старіння парку локомотивів, що прогресує, і неможливість його швидкого оновлення за рахунок закупівлі нового тягового рухомого складу лише за кошти Укрзалізниці змушують проводити капітальні ремонти із подовженням встановленого заводами-виробниками нормативного терміну служби з обов'язковим визначенням остаточного ресурсу несучих конструкцій локомотивів. Залишковий ресурс повинен забезпечувати безпечну експлуатацію локомотива до наступного капітального ремонту. Стан інвентарного парку представлено на (рис. 2).

Знос електровозного парку складає 90% при середньому віці 36 років. По парку магістральних і маневрових тепловозів ступінь зносу складає 99% і 97% відповідно. При цьому середній вік для магістральних тепловозів складає 24 роки, а для маневрових – 30 років. Ступінь зносу рухомого складу і його середній вік відображає (рис. 3).

У зв'язку з цим необхідно передбачити корінні зміни технічних параметрів при проектуванні, ремонті і експлуатації рухомого складу, які б могли забезпечити:

- збільшення терміну служби;
- контроль якості виготовлення, ремонту і допуску до експлуатації;
- збільшення міжремонтних пробігів і термінів;
- підвищення швидкості руху;
- безпеку руху.

Все це передбачається розв'язати шляхом технічного та технологічного переоснащення і розвитку локомотивного господарства залізниць України шляхом розробки, створення і впровадження нових типів локомотивів, а також придбання існуючих зразків електровозів, які відповідають сучасним вимогам надійності, безпеки, охорони праці.

Значне старіння парку локомотивів, що прогресує, і неможливість його швидкого оновлення за рахунок закупівлі нового ТРС, лише за кошти Укрзалізниці змушують проводити капітальні відновлювальні ремонти із подовженням встановленого заводами-виробниками нормативного терміну служби з обов'язковим визначенням залишкового ресурсу несучих конструкцій локомотивів, які повинні забезпечити його безпечну експлуатацію.



Рис. 2. Стан інвентарного парку

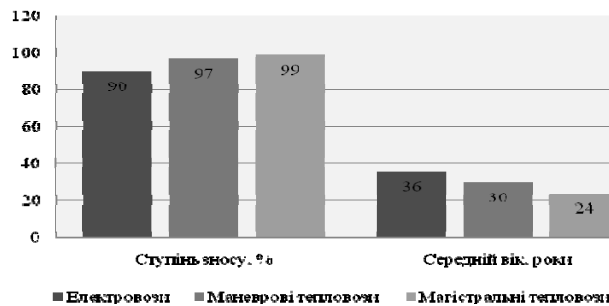


Рис. 3. Степінь зносу рухомого складу та середній вік тягового рухомого складу

Несвоєчасне відновлення призвело до вкрай незадовільного технічного стану рухомого складу і прогресуючого його погіршення. Домінантним негативним фактором якого є несвоєчасне проведення заводських видів ремонту. Це визначається як перепробіги. Технічний стан локомотивів не дозволяє забезпечити надійний перевізний процес. На сьогодні в експлуатації знаходиться 144 магістральних тепловозів, 149 маневрових і 199 магістральних електрозвозів з простроченими термінами проведення капітальних ремонтів. Таке положення склалося у зв'язку з тим, що на протязі останніх років не забезпечувалась потреба в ремонті тягового рухомого складу із-за недостатнього виділення ліміту фінансування. А саме при скороченні об'ємів фінансування і росту цін на матеріали, запчастини, енергоносії – об'єми капітального ремонту локомотивів щорічно зменшувались.

Актуальним залишається питання забезпечення запчастинами. Окрім того багато серій локомотивів уже настільки застаріли, що заводи-виробники не виготовляють до них комплектуючих. Динаміка виконання капітальних видів ремонту в умовах локомотиворемонтних заводів зображена на (рис.4).

В цілому тяговий рухомий склад Укрзалізниці знаходиться не в самому найкращому стані. В якості виходу із такого стану та для технічного переоснащення парку ТРС, згідно з концепцією функціонування та розвитку локомотивного господарства Укрзалізниці, запропоновано вирішити:

для маневрових тепловозів

- у зв'язку з достатньою кількістю в інвентарному парку залізниць України маневрових тепловозів зупинити закупку маневрових тепловозів ТЕМ-103;

- комплексно модернізувати тепловози серій ЧМЕ-3 новим силовим обладнанням та сучасними системами безпеки і керування з подовженням терміну служби на 30 років;

для магістральних вантажних тепловозів

- з метою оптимізації серійності визначити наступні основні серії тепловозного парку залізниць України: М62, 2М62 і 2ТЕ116;
- поступово замінити тепловози серії 2ТЕ10 на тепловози серії 2ТЕ116 після проведення їм комплексної модернізації та подовження строку служби на 20 років;
- комплексно модернізувати тепловози серій М62 та 2М62 сучасним силовим обладнанням та системами безпеки і керування з подовженням терміну служби на 30 років.

для магістральних пасажирських тепловозів

- проводити оновлення парку шляхом закупки пасажирських магістральних тепловозів серії ТЕП-150;
- модернізувати тепловози серії ТЕП-70 з подовженням строку служби на 20 років;

для магістральних вантажних електровозів змінного струму

- продовжити поступову заміну електровозів серії ВЛ-80 на електровози серії 2ЕЛ5;

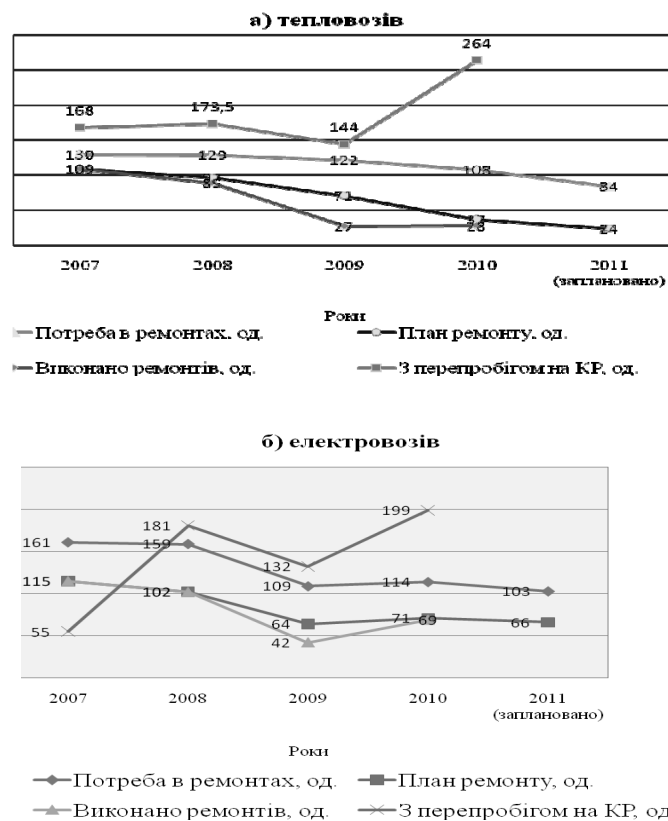


Рис. 4. Динаміка виконання капітальних ремонтів на локомотиворемонтних заводах для магістральних вантажних електровозів постійного струму

- у зв'язку з низькою надійністю призупинити закупку магістральних електровозів ДЕ-1. З метою заміни електровозів ВЛ8, які відпрацювали продовжений строк служби і по своєму технічному стану підлягають списанню із інвентарного парку;

- визначити основною серією вантажних електровозів постійного струму на Донецькій залізниці електровози 2ЕЛ4;
- визначити основною серією вантажних електровозів постійного струму на Придніпровській залізниці електровози ВЛ-11М6;
- передати 20 електровозів ВЛ-11 із Львівської на Придніпровську залізницю після проведення їм капітального ремонту;

для магістральних пасажирських електровозів постійного струму

- модернізувати електровози серії ЧС-2 із заміною рам візків та кузовів, а також замінити електровози цієї серії, що відпрацювали подовжений термін служби і за своїм технічним станом підлягають виключенню з інвентарного парку, шляхом поетапної закупівлі нових.

для магістральних пасажирських електровозів змінного струму

- завершити модернізацію електровозів серії ЧС-4 із заміною рам візків та кузовів;
- з метою заміни електровозів серії ВЛ-60, які відпрацювали подовжений строк служби і за своїм технічним станом підлягають виключенню з інвентарного парку провести модернізацію 10 електровозів ВЛ-80 в пасажирські електровози ВЛ-40;
- після виключення конструкційних недоліків електровозів ДС-3, розглянути можливість їх придбання;

для магістральних електровозів подвійного живлення

- з метою забезпечення потреб залізниць України розпочати роботи з організації спільного виробництва з одним із провідних виробників електровозів подвійного живлення на підприємствах України, при цьому до 40 % повинні становити саме вітчизняні комплектуючі.

У комплексному вирішенні нагальної проблеми оновлення залізничного рухомого складу, проведення капітальних ремонтів з подовженням терміну експлуатації та модернізації існуючого рухомого складу, а також проста заміна зношеного рухомого складу на новий, спроектований більше півстоліття тому, можуть розглядатися не більше, ніж допоміжні заходи. З огляду на необхідність нового рівня транспортного забезпечення потреб економіки і суспільства, а також конкуренцію на європейському ринку перевезень, застосуванням тільки цих складників вирішити проблему оновлення рухомого складу неможливо.

Слід зазначити, що в розвинених державах світу за цей же період часу змінилося вже 2-3 покоління тягового рухомого складу. Більшість рухомого складу, що експлуатується на залізницях України в даний час, за якісними показниками і конструкцією значно гірший від сучасного закордонного, в порівнянні з ними має більш високі витрати на утримання при експлуатації. Відсутність сучасних мікропроцесорних систем управління та діагностики, асинхронного тягового приводу, сучасних систем охолодження тягових електричних машин та рекуперації енергії знижує його ефективність на 20-30% в порівнянні з закордонними зразками. Таким чином, пріоритетом повинно стати не лише придбання необхідної кількості одиниць рухомого складу переважно нового покоління, що відповідає європейським технічним нормам щодо залізничного транспорту, а й надання можливості приватним компаніям вийти на ринок перевезень (надати необхідні ліцензії, доступ до залізних колій та мереж тощо). Умови оплати за використання інфраструктури мають бути однаковими для всіх перевізників, включаючи й Укрзалізницю.

В цілому, при розробці Програми оновлення локомотивного парку, необхідно створити чітку систему оптимізації парку локомотивів. Така система дозволить

визначити шляхи оптимізації у відповідності з потрібними обсягами перевезень на основі економічних критеріїв, з врахуванням оновлення і модернізації технічних засобів.

В результаті проведеного дослідження визначено, що для сучасного стану залізниць України характерне старіння основних фондів, невідповідність їхнього технічного рівня сучасним вимогам, недостатнє інвестування модернізації і оновлення рухомого складу.

Таким чином, перспективними напрямками щодо оновлення рухомого складу є забезпечення тісної співпраці з виробниками, використання різних форм фінансування, а також формування раціональної структури парку рухомого складу, що дозволить забезпечити потреби в основних засобах залізничного транспорту і прийнятний рівень його конкурентоспроможності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки.
2. *Сирійчик Т., Фургальські А., Клімкевич Ч., Камола М., Дяченко Т., Пугачов М., Філіпенко О.* Транспортна політика України та її наближення до норм Європейського Союзу / За ред. Марчіна Свенціцькі. – К.: Аналітично-дорадчий центр Блакитної стрічки, 2010. – 102 с.
3. Про затвердження Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012 - 2016 роки (Постанова Кабінету Міністрів України від 1 серпня 2011р. №840).
4. *Сергиєнко Н.И.* Подвижной состав железных дорог Украины: состояние и перспективы // Локомотив-информ, №6. – 2011. – с. 15-24.
5. Визначення залишкового ресурсу тягового рухомого складу / *Горобець В.Л., Паламаренко О.І., Кулешов В.П.*, // Залізничний транспорт України, 2001. – №1. – с.14-16.
6. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава. – Киев: Гос. администрация ж.д. транспорта Украины, ДИИТ, 1998. 51с.
7. О модели сопротивления усталости несущих конструкций тягового подвижного состава для оценки их остаточного ресурса / *Блохин Е.П., Горобець В.Л., Кулешов В.П., Савин Ю.И.* // Вісник СУДУ, 2000. – №10. – с. 31-42.
8. *Сергиєнко Н.И.* Решение проблем подвижного состава железных дорог Украины через взаимодействие государственного и частного секторов экономики // Локомотив-информ, №6. – 2010. – с. 40-46.
9. *Кулешов В.П.* Об учете разброса напряжений в несущих конструкциях при оценке срока службы ТПС // Транспорт, Сборник научных трудов ДИИТа. – Днепропетровск, 2001. – с. 129-132.
10. *Данилевський В.І.* Належний технічний стан залізничного рухомого складу – запорука зростання економіки країни // Локомотив - інформ, №2. – 2011. – с. 48-50.
11. Газета “Магістраль” №38 (1621), 18-24 травня 2011р.
12. Газета “Магістраль” №36 (1619), 12-17 травня 2011р.
13. Газета “Магістраль” №48 (1631), 22-28 червня 2011р.
14. <http://www.uz.gov.ua/>- офіційний сайт Укрзалізниці.
15. <http://www.mtu.gov.ua/>- офіційний сайт Міністерства інфраструктури України
16. <http://economics.unian.net/ukr/detail/91924> – Модернізація рухомого складу: брак коштів - понад 4 мільярди.

УДК 620.22

Тетяна Даніленко

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СТАНДАРТІВ НА МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ТЕХНІКИ

Проаналізовано сучасні українські та міждержавні стандарти на металеві матеріали для залізничної техніки і методи їх випробувань: стандарти на випробування на розтяг, визначення твердості; стандарти на сталі конструкційні й інструментальні, чавуни, сталі колісну, осьову, рейкову, мостову, алюмінієві сплави, латуні, бронзи. Показано відміну нових стандартів від тих, що розроблені раніше.

Проанализированы современные украинские и межгосударственные стандарты на металлические материалы для железнодорожной техники и методы их испытаний: стандарты на испытания на растяжение, определение твердости; стандарты на конструкционные и инструментальные стали, чугуны, стали колесную, осевую, рельсовую, мостовую, алюминиевые сплавы, латуни, бронзы. Показано отличие новых стандартов от ранее разработанных.

Modern ukrainian and international standards on metallic materials for railways equipments and their testing methods were analyzed: standards on tensile testing, hardness measurement; standards on structural and tool steels, cast irons, wheel steel, axis steel, rail steel, bridge steel, aluminum alloys, brasses, bronzes. There is demonstrated the distinctions between of the new standards and those that were previously developed.

Ключові слова: залізнична техніка, металеві матеріали, стандарти, сталь колісна, сталь осьова, сталь рейкова, сталь мостова, чавуни, алюмінієві сплави, латунь, бронза

Останнім часом Україною введено деякі нові стандарти на продукцію з металевих матеріалів та випробування властивостей цих матеріалів, але аналіз сучасної технічної літератури показує, що часто ці стандарти залишаються поза увагою фахівців і науковців

© Даніленко Т.П., 2012

Відомо, що одними з найважливіших для металевої продукції є механічні властивості, які визначають випробуванням на розтяг. В Україні поряд із відомими міждержавними стандартами [1; 2] діють і нові стандарти на випробування на розтяг за кімнатної (ДСТУ EN 10002-1:2006 [3]) і за підвищених температур (ДСТУ EN 10002-5:2006 [4]), якими, на відміну від попередніх стандартів [1; 2], введені нові позначення механічних характеристик, що відповідають європейським нормам (табл. 1).

Таблиця 1

Нові і традиційні назви і позначення механічних характеристик

Механічні характеристики			
нові за стандартами [3; 4]		традиційні за стандартами [1; 2]	
назва	позначення	назва	позначення
Границя міцності	R_m	Тимчасовий опір (границя міцності)	σ_B
Нижня границя плинності	R_{eL}	Границя плинності фізична (нижня границя плинності)	σ_T
Верхня границя плинності	R_{eH}	Верхня границя плинності	σ_{TB}
Умовна границя плинності	$R_{p0.2}$	Границя плинності умовна	$\sigma_{0.2}$
Відносне видовження	A	Відносне видовження	δ
Відносне звуження	Z	Відносне звуження	ψ
-	-	Границя пропорційності	$\sigma_{пц}$
Модуль пружності	E	Модуль пружності	E

Як видно з табл. 1, за новими стандартами [3; 4] відсутній термін «границя плинності фізична», існують терміни *нижня границя плинності* R_{eL} (*lower yield strength*) і *верхня границя плинності* R_{eH} (*upper yield strength*). Відсутній також термін «тимчасовий опір», а є тільки *границя міцності* (*tensile strength*). До того ж за новими стандартами не визначається границя пропорційності.

Слід зазначити, що введенням державних стандартів [3; 4] забезпечені єдині назва і позначення механічних характеристик, в той час як до цього в літературі спостерігалися їх різні варіанти. Так, у посібнику [5] границя міцності позначена σ_m (індекс *m* – від слова *міцність*), нижня границя плинності названа «фізичною границею текучості», умовна границя плинності – «умовною границею текучості»; у підручнику [6] границя міцності позначена як $\sigma_{тч}$ (тимчасовий опір) та ін.

До важливих механічних властивостей належить також і твердість, яку визначають за основними методами Брінелля, Роквелла, Віккерса і за способом вимірювання мікротвердості.

Серед стандартів на методи визначення твердості новими державними є ДСТУ ISO 6506-1:2007 [7] на метод Брінелля і ДСТУ ISO 6507-1:2007 [8] на метод Віккерса. В той же час діючими залишаються попередні міждержавні стандарти [9] і [10] на ці методи.

Відмінною рисою стандарту [7] є те, що в якості індентора застосовують кульку тільки із твердого сплаву вольфрамової групи і твердість за Брінеллем позначають відповідним числом твердості, за яким ставлять літери *HBW*, наприклад *375 HBW*. А за міждержавним стандартом [9] у якості індентора, окрім кульки з твердого сплаву застосовується також і сталеві кулька (рекомендується застосовувати для металів з твердістю не більше *450 HB*) і в цьому випадку

твердість позначається через *HB*, тобто можливе застосування обох позначень, яким відповідає застосування кульки сталеві (*HB*), або із твердого сплаву (*HBW*).

Слід зауважити, що відповідно до стандартів з позначення твердості за Брінеллем, не ставлять одиниці виміру, хоча число твердості і показує відношення застосованого для вдавлювання індентора зусилля *F* в ньютонках до площі поверхні *S* сферичної лунки в мм^2 , яка є відбитком після вдавнення індентора-кульки. Але всупереч стандартам в технічній літературі часто з'являються в позначеннях твердості одиниці виміру *МПа*, або, якщо самі мегапаскали й не фігурують, число твердості надається збільшеним у 10 разів, чим маються на увазі саме вказані одиниці виміру. Такою дією їх автори помилково намагаються скоригувати перехід від позначення зусилля *F* в *кгс*, що застосовувалося при створенні метода, до позначення його в *H* в сучасних стандартах [7; 9]. Але необхідне коригування вже виконано в цих стандартах введенням в розрахункову формулу константи 0,102, якою й враховується перехід від *кгс* до *H* з тим, щоб рівень значень твердості не змінювався (не збільшувався у 10 разів).

У методі Віккерса за новим стандартом [8] застосовують більш широкий діапазон прикладеного зусилля *F*, з яким алмазний індентор у формі правильної піраміди з квадратною основою вдавлюють у поверхню зразка – від 0,09807 до 980,7 *H*, при цьому, якщо зусилля знаходиться в межах 0,09807...1,961 *H*, то визначена твердість називається мікротвердістю за Віккерсом. За попередньо розробленим стандартом [10] діапазон зусиль становить від 9,807 до 980,7 *H*. Позначається твердість за Віккерсом числом твердості і літерами *HV*, без одиниць виміру, наприклад, 640 *HV*.

Для визначення мікротвердості за прикладених зусиль від 0,049 до 4,905 *H* діючим залишається і стандарт [11], за яким мікротвердість позначають, як і за методом Віккерса, числом твердості і літерами *HV*.

Ряд змін у стандартах на металеві матеріали і продукцію з них також доволі часто залишаються поза увагою авторів технічної літератури.

Так, на сталь вуглецеву звичайної якості з 2006 р. діє стандарт [12], в якому регламентовані вимоги до хімічного складу сталей, згідно яких вміст в них вуглецю знаходиться у межах від 0,06...0,12 % в сталі марки Ст1 до 0,38...0,49 % в сталі марки Ст6 (у сталі Ст0 вуглецю $\leq 0,23$ %). Регламентовані також вміст марганцю і кремнію. В позначення марок додають літери «кп», «пс», «сп», які показують ступінь розкислення сталі, відповідно, кипляча, напівспокійна, спокійна, наприклад, Ст4пс. Існують також марки з підвищеним вмістом марганцю Ст3Гпс, Ст3Гсп (0,80...1,10 % *Mn*) і Ст5Гпс (0,80...1,20 % *Mn*).

Вимоги до механічних властивостей сталей у діючому стандарті відсутні. Їх не було і в попередньому стандарті ДСТУ 2651-94 (ГОСТ 380-94), але в літературі, наприклад у виданнях [13; 14; 15], все ще наводять застарілі відомості про розподілення цих сталей на три групи: сталі групи А, які постачалися за механічними властивостями; сталі групи Б, які постачалися за хімічним складом; сталі групи В, які постачалися за механічними властивостями і хімічним складом. Маркуванні сталей включало ознаку цих груп, але таке розподілення сталей існувало в ГОСТ 380-71, який давно не є діючим.

На інструментальну нелеговану сталь діє стандарт [16], у якому, на відміну від попереднього стандарту ГОСТ 1435-90, відсутні марки сталі У11, У11А, У13 і У13А, але в літературі [13; 14] продовжують наводити ці марки.

Групу сталей спеціального призначення складають конструкційні сталі для залізничного транспорту. До них ставляться додаткові вимоги, які визначаються специфічними умовами роботи конструкцій. Важливе місце в цій групі займають сталі колісна, осьова, рейкова, для мостобудування.

Колеса виготовляють зі спокійної сталі, отриманої мартенівським, киснево-конвертерним або електросталеплавильним способом. Сталь має бути піддана позапічній обробці інертним газом.

Згідно зі стандартом [17] *колісна сталь марки 1* призначена для пасажирських вагонів локомотивної тяги, пасажирських локомотивів, путьових машин, немоторних вагонів електро- і дизель-поїздів; а *колісна сталь марок 2 і 3* для вантажних вагонів, маневрових і вантажних локомотивів (табл. 2; 3).

Таблиця 2

Хімічний склад колісних сталей

Марка сталі	Масова частка елементів, %					
	C	Mn	Si	V	S	P
					не більше	
1	0,44...0,52	0,80...1,2	0,40...0,65	0,08...0,15	0,030	0,035
2	0,55...0,65	0,50...0,90	0,22...0,45	≤ 0,10	0,030	0,035
3	0,58...0,67	0,50...0,90	0,22...0,45	0,08...0,15	0,020	0,030

Обід колеса піддають зміцнюючій термічній обробці переривчастим гартуванням і відпуском, температура відпуску – не менше 450 °С.

Таблиця 3

Механічні властивості коліс після зміцнюючої термічної обробки

Марка сталі	$\sigma_{\text{в}} (R_{\text{м}})$, МПа	$\delta (A)$, %	$\varphi (Z)$, %	Твердість HB	КСУ на зразках, Дж/см ² ; не менше	
		не менше			з обода	з диска
1	880...1080		21	248	30	30
2	910...1110	8	14	255	20	20
3	980...1130	8	14	285	16	16

Для виготовлення осей локомотивів і вагонів застосовують осьову сталь (сталь марки ОС) (табл. 4), отриману мартенівським, киснево-конвертерним або електродуговим способом [18]. Осі піддають нормалізації (нагрівання вище критичної температури A_{c3} з наступним охолодженням на повітрі), або нормалізації з наступним відпуском, чим забезпечується перліто-феритна структура (перліт – тонкої будови, тобто тонкопластинчастий) і мають забезпечуватися механічні властивості, наведені в табл. 5 (норми з границі плинності факультативні). Вся поверхня чистових осей зміцнюється (наклепується) накаткою роликом.

Таблиця 4

Хімічний склад осьової сталі марки ОС

Масова частка елементів, %							
вуглецю	марганцю	кремнію	фосфору	сірки	хрому	нікелю	міді
			не більше				
0,42...0,50	0,60...0,90	0,15...0,35	0,040	0,040	0,30	0,30	0,25

Таблиця 5

Механічні властивості термічно оброблених чорнових осей

$\sigma_{\text{в}} (R_{\text{м}}), \text{МПа}$	$\sigma_{\text{т}} (R_{\text{сL}}), \text{МПа}$	$\delta (A), \%$	КСУ, Дж/см ²	
	не менше		середнє значення не менше	мінімальне значення
Зразки з підступичної частини				
580...610	300	20,0	49	34
620...640	310	19,0	39	29
650 і більше	325	18,0	34	29
Зразки із шийки або технологічного припуску				
600...620	310	20,0	54	39
630 і більше	330	19,0	44	34

Згідно стандарту [20] рейки для залізниць виготовляють зі спокійної мартенівської сталі, з киснево-конвертерної і з електросталі. Хімічний склад рейкових сталей наведений у табл. 6.

Таблиця 6

Хімічний склад рейкових сталей

Марка сталі	Масова частка елементів, %						
	C	Mn	Si	V	Ti	P	S
						не більше	
M74Ф	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	0,03...0,07	-	0,035	0,040
K74Ф	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	0,03...0,07	-	0,035	0,040
E74Ф	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	0,03...0,07	-	0,030	0,025
M74T	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	-	0,007... 0,0025	0,035	0,040
K74T	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	-	0,007... 0,0025	0,035	0,040
E74T	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	-	0,007... 0,0025	0,030	0,025
M74	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	-	-	0,035	0,040
K74	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	-	-	0,035	0,040
E74	0,69...0,80	0,80...1,30	0,18...0,40	-	-	0,030	0,025
M76Ф	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	0,03...0,07	-	0,035	0,040
K76Ф	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	0,03...0,07	-	0,035	0,040
E76Ф	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	0,03...0,07	-	0,030	0,025
M76T	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	-	0,007... 0,0025	0,035	0,040
K76T	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	-	0,007... 0,0025	0,035	0,040
E76T	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	-	0,007... 0,0025	0,030	0,025
M76	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	-	-	0,035	0,040
K76	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	-	-	0,035	0,040
E76	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	-	-	0,030	0,025

Алюмінію в марках M74, K74, E74, M76, K76, E76 не більше 0,025 %, а в решті марок – не більше 0,015 %.

Числа в позначенні марки сталі вказують умовно середню масову частку вуглецю в сотих частках відсотка. Літери *M*, *K*, *E*, що стоять перед числами, вказують спосіб виплавки сталі: *M* – мартенівська, *K* – киснево-конвертерна, *E* – електросталь. Літери *Φ* і *T*, що стоять після чисел, означають, що сталь містить добавки ванадію (*Φ*), або титану (*T*).

В результаті термічного зміцнення у сучасних вітчизняних рейках досягається такий рівень механічних властивостей: $\sigma_b=1100\ldots1290$ МПа; $\sigma_{0,2}=750\ldots850$ МПа; $\delta=6\ldots12$ %; $\psi=25\ldots35$ %; $KCU=15\ldots25$ Дж/см² [21].

Для прокату, призначеного для виготовлення мостових конструкцій, застосовують сталі марок: 16Д, 15ХСНД і 10ХСНД [22], хімічний склад яких наведено в табл. 7, а механічні властивості – в табл. 8. Раніше застосовували сталі марок М16С – для зварних мостових конструкцій і Ст3 мостову – для клепанних мостів і ці застарілі відомості наведені як діючі у виданні [14].

Ударна в'язкість *KCU* для сталі 16Д має бути не менше 34...39 Дж/см² при температурах +20 °С і при –20 °С, в залежності від виду прокату; при температурі –40 °С для сталі 10ХСНД – не менше 39 Дж/см², а для сталі 15ХСНД не менше 29 Дж/см². Для сталей 15ХСНД і 10ХСНД при +20, –20, –60, –70 °С ударна в'язкість має бути не менше 29 Дж/см². Прокат для мостобудування виготовляють з гарантією зварюваності.

Таблиця 7

Хімічний склад сталей для мостобудування

Марка сталі	Масова частка елементів, %					
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>
16Д	0,10...0,18	0,12...0,25	0,40...0,70	до 0,30	до 0,30	0,20...0,35
15ХСНД	0,12...0,18	0,40...0,70	0,40...0,70	0,60...0,90	0,30...0,60	0,20...0,40
10ХСНД	до 0,12	0,80...1,10	0,50...0,80	0,60...0,90	0,50...0,80	0,40...0,60

В усіх марках фосфору – не більше 0,035 %; в марках 15ХСНД і 10ХСНД сірки – не більше 0,035 %, в марці 16Д сірки – не більше 0,040 %.

Таблиця 8

Механічні властивості сталей для мостобудування

Марка сталі	σ_b (<i>R_m</i>), МПа	σ_t (<i>R_{eL}</i>), МПа	δ (<i>A</i>), %
		не менше (в залежності від товщини прокату)	
16Д	375...510	215...235	26
15ХСНД	470...685	335...345	19...21
10ХСНД	510...685	390	19

На чавуни з кулястим графітом діє державний стандарт [23], за яким чавуни маркують буквами ВЧ і двома числами, перше з яких позначає гарантоване значення границі міцності σ_b в МПа, а друге – відносне видовження δ у відсотках.

Механічні властивості високоміцних чавунів повинні відповідати вимогам, наведеним у табл. 9; σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ є здавальними характеристиками цих чавунів. Ударна в'язкість *KCU* має бути за температури випробувань +20 °С не менше 190 КДж/м² і за температури випробувань –40 °С – не менше 140 КДж/м².

Таблиця 9

Механічні властивості високоміцних чавунів

Марка чавуну	Механічні властивості			
	$\sigma_B (R_m), \text{МПа}$	$\sigma_{0,2} (R_{p0,2}), \text{МПа}$	Твердість <i>HB</i>	$\delta (A), \%$
<i>ВЧ 350-22</i>	350	230	140...170	22
<i>ВЧ 400-15</i>	400	260	140...202	15
<i>ВЧ 420-12</i>	420	270	140...217	12
<i>ВЧ 450-10</i>	450	320	140...225	10
<i>ВЧ 450-5</i>	450	310	160...220	5
<i>ВЧ 500-7</i>	500	340	153...245	7
<i>ВЧ 500-2</i>	500	390	180...260	2
<i>ВЧ 600-3</i>	600	390	192...277	3
<i>ВЧ 700-2</i>	700	420	228...302	2
<i>ВЧ 800-2</i>	800	490	248...351	2
<i>ВЧ 900-2</i>	900	600	280...360	2
<i>ВЧ 1000-2</i>	1000	700	270...360	2

Але хоча стандарт [23] діє з 2000 р., в технічній літературі, наприклад [5; 13; 14], продовжують застосовувати застарілі позначення, де в марці після літер «ВЧ» стоїть значення границі міцності в 10^{-1}МПа , а значення відносного видовження відсутнє.

Маркування алюмінієвих сплавів не має загальноприйнятої системи [24; 25]. Так, першою літерою в позначенні дуралюмінів є *Д*, високоміцних сплавів – *В*, деформівних, які не зміцнюються термообробкою – *А*. В кінці марки можуть застосовуватися позначення, які характеризують стан сплаву: *М* – м'який (відпалений), *Т* – термооброблений (після гартування і старіння), *Н* – нагартований та ін. Числа у марці є умовними номерами сплавів.

Застосовується також і цифрова система маркування, яка є новою і складається з чотирьох цифр, перша з яких є *І* і позначає, що це алюмінієвий сплав, друга показує хімічну основу (наприклад, 1 – *Al-Cu-Mg*, або *Al-Cu-Mg-Si*; 2 – *Al-Cu-Mn*; 3 – *Al-Mg-Si*; 4 – *Al-Mn*, 5 – *Al-Mg*, 9 – *Al-Zn-Mg-Cu*, або *Al-Zn-Mg* та ін.), а дві останні – умовний номер сплаву.

Сплави на основі міді, латуні і бронзи, за технологічною ознакою поділяються на деформівні й ливарні і маркуються вони дещо по-різному.

Деформівні латуні [26] маркують літерою *Л*, за якою йдуть літери, які позначають певні легуючі елементи (якщо це складні латуні). Перше число за літерами вказує вміст *міді* в цілих %, а наступні числа показують кількість у % легуючих елементів у тому порядку, в якому вони наведені в марці. Решту складає вміст *цинку*. Наприклад: *ЛЖМц59-1-1*; *ЛМцА57-3-1*; *Л62*; *Л96* та ін. Латунь *ЛЖМц59-1-1* містить 59 % *Cu*, 1 % *Fe*, 1 % *Mn* і 39 % *Zn*.

Ливарні латуні [27] – це переважно латуні складні. Вони маркуються, починаючи з літери *Л*, за якою стоїть літера *Ц*, яка позначає цинк, і далі стоїть число, що вказує на вміст цинку в %, а потім стоять інші літери, що позначають певні легуючі елементи і за кожною літерою ставиться вміст в % цього елементу в латуні. Решту становить мідь. Наприклад: *ЛЦ40С*; *ЛЦ23А6ЖЗМц2*.

Бронзи маркують літерами *Бр*, за якими у деформівних марках [28; 29] йдуть літери, які позначають легуючі елементи таким же чином, як у латунях.

Потім ідуть числа, які показують вміст легуючого елемента в %. Ставляться ці числа в тому порядку, в якому елементи позначені в марці бронзи, наприклад, *БрОЦ4-3*; *БрОЦС 3-12-5*; *БрАЖН10-4-4* та ін. Решту в бронзі складає мідь.

Марки *ливарних* бронз [30; 31] теж починаються з *Бр*, а далі вони маркуються за тими ж принципами, що й ливарні латуні, тобто вміст легуючого елемента в % ставиться після літери, яка його позначає, наприклад, *БрА11Ж6Н6*; *БрО5Ц5С5* та ін.

Таким чином, можна констатувати, що в Україні останнім часом введені в дію нові державні й міждержавні стандарти, які, також як і стандарти, введені в дію раніше, не повинні залишатися поза увагою фахівців і науковців при створенні технічної навчальної й наукової літератури.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2008. – 24 с.
2. ГОСТ 9651-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
3. ДСТУ EN 10002-1:2006. Матеріали металеві. Випробування на розтяг. Ч. 1. Метод випробування за кімнатної температури. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 40 с.
4. ДСТУ EN 10002-5:2006. Матеріали металеві. Випробування на розтяг. Ч. 5. Метод випробування за підвищених температур. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 27 с.
5. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: У 2 кн. – Львів: УкрДІТУ, 2002. – Кн. 1. – 264 с.
6. Гарнець В.М., Коваленко В.М. Конструкційне матеріалознавство. – К.: Либідь, 2007. – 383 с.
7. ДСТУ ISO 6506-1:2007. Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 16 с.
8. ДСТУ ISO 6507-1:2007. Матеріали металеві. Визначення твердості за Віккерсом. Частина 1. Метод випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 20 с.
9. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – М.: Стандартинформ, 2007. – 43 с.
10. ГОСТ 2999-75. Металлы. Метод измерения твердости по Виккерсу. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 30 с.
11. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 35 с.
12. ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 9 с.
13. В.В.Атаманюк. Технологія конструкційних матеріалів. – К.: Кондор, 2004. – 528 с.
14. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники / Под ред. Н.Н.Воронина. – М.: Маршрут, 2004. – 456 с.
15. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Мятунин В.М. и др. Материаловедение и технология металлов. – М.: Высшая школа, 2002. – 638 с.
16. ДСТУ 3833-98 (ГОСТ 1435-99). Прутки, штаби та мотки з інструментальної нелегованої сталі. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 64 с.
17. ДСТУ ГОСТ 10791:2006. Колеса суцільнокатані. Технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с.
18. ГОСТ 4728-96. Заготовки осевые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 16 с.
19. ДСТУ ГОСТ 31334:2009. Осі для рухомого складу залізниць колії 1520 мм. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 32 с.
20. ДСТУ 4344:2004. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 71 с.
21. Даниленко Е.І. Залізнична колія. – К.: Інпрес, 2010. – Том 1 – 528 с.
22. ГОСТ 6713-91. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.

23. ДСТУ 3925-99. Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. – К: Держспоживстандарт України, 2000. – 25 с.
24. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.
25. ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. – К: Держспоживстандарт України, 2008. – 56 с.
26. ДСТУ ГОСТ 15527:2005. Сплави мідно-цинкові (латуні), оброблювані тиском. Марки. – К: Держспоживстандарт України, 2006. – 15 с.
27. ГОСТ 17711-93. Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.
28. ГОСТ 18175-78. Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 9 с.
29. ДСТУ ГОСТ 5017:2007. Бронзи олов'яні, оброблювані тиском. Марки. – К: Держспоживстандарт України, 2009. – 8 с.
30. ГОСТ 493-79. Бронзы безоловянные литейные. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 5 с.
31. ГОСТ 613-79. Бронзы оловянные литейные. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 5 с.

УДК 629.423.31

Юрій Дубравін

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РІВЕНЬ
КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОВОЗА ЗМІННОГО
СТРУМУ**

В статті розглядається методика розробки дослідницької моделі електровоза змінного струму з некерованими випрямлячами та питання визначення параметрів математичної моделі. Приведені результати моделювання залежності коефіцієнта потужності електровоза серії ВЛ80^К від параметрів режиму роботи та амплітудний спектр струму в первинній обмотці тягового трансформатора.

В статье рассматривается методика разработки модели электровоза переменного тока с неуправляемыми выпрямителями и вопросы определения параметров математической модели. Приведены результаты моделирования зависимости коэффициента мощности электровоза серии ВЛ80^К от параметров режима работы и амплитудный спектр тока в первичной обмотке тягового трансформатора.

The article researches methodology of development model for AC electric locomotive with unmanaged rectifiers and questions definitions parameters of mathematical model. The results of modeling power factor for series of electric locomotive VL80K from parameters of mode and the amplitude spectrum of the current in the primary winding of traction transformer.

Ключові слова: ЕРС змінного струму, тяговий трансформатор, випрямна установка, коефіцієнт потужності, математична модель, амплітудний спектр, моделювання.

Втрати в системах енергозабезпечення електрифікованих залізниць у значній мірі пов'язані з рівнями коефіцієнтів потужності та корисної дії, що реалізуються при експлуатації електровозів. В даний час ділянки залізниць України, що електрифіковані по системі змінного струму з напругою в контактній мережі 25кВ, обслуговуються головним чином ЕРС змінного струму з некерованими випрямлячами.

При випрямленні напруги відбувається спотворення форми струму, несинусоїдальний струм містить значну кількість вищих гармонік. Разом з тим індуктивність розсіювання обмоток трансформатора випрямляча та пульсації випрямленого струму зумовлюють зсув по фазі на кут φ першої гармоніки струму $i_{1(1)}$, що споживається з контактної мережі, відносно напруги живлення U_1 . Все це

© Дубравін Ю.Ф., 2012

зменшує коефіцієнт потужності $\chi = v \cdot \cos(\varphi)$, що негативно впливає на енергетичні показники всієї системи енергозабезпечення [3]. На сьогодні контроль якості електроенергії на ЕРС не виконується. Для дослідження електромагнітних процесів у тягових електроприводах електровозів змінного струму розроблена математична модель елементів системи управління, що включає в себе моделі тягового трансформатора, випрямної установки (ВУ) та кола випрямленого струму. Математична модель дає змогу досліджувати характер зміни коефіцієнта потужності, спектральний склад струму та напруги залежно від режимів роботи ЕРС та параметрів випрямляча. В якості об'єкта моделювання вибрано магістральний електровоз ВЛ80, оскільки електровози цієї серії складають основу локомотивного парку вантажних електровозів змінного струму.

Розрахункова схема системи наведена на рис.1. Схематичне подання тягового трансформатора електровоза включає первинну обмотку з включеними послідовно резистивними r_1, r_m і індуктивними елементами x_1, x_m та одне плече вторинної обмотки з опорами r_2, x_2 . В схемі розглянуто випрямний міст VD1-VD4 із замкненими плечима, що цілком припустимо при розгляді ходових позицій електровоза. Електрорушійні сили, що індукуються в обмотках трансформатора позначені як E_1, E_2 . Випрямляч навантажений активно-індуктивними опорами R_d, X_d та проти е.р.с. тягового двигуна E_d .

Активний опір обмоток трансформатора та тягової мережі, приведені до фази вторинної обмотки

$$R_T = r_2 + (r_1 + r_m) \left(\frac{1}{K_T} \right)^2 \quad (1)$$

де K_T – коефіцієнт трансформації трансформатора.

Індуктивності розсіювання обмоток трансформатора L_{S1}, L_{S2} і тягової мережі L_M враховані індуктивністю $L_a = L_{S2} + (L_{S1} + L_M) K_T^2$,
приведеною до вторинної обмотки. (2)

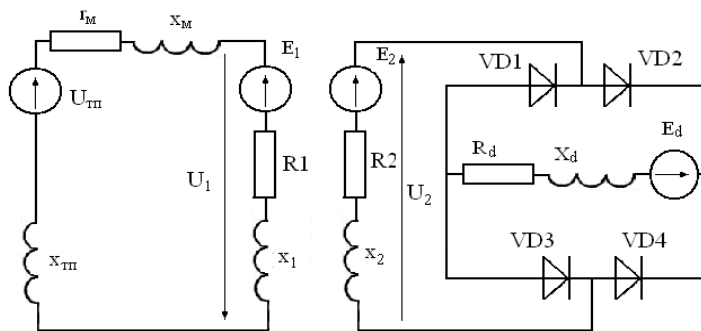


Рис.1. Розрахункова схема тягового електроприводу електровоза змінного струму

Значення активних опорів обмоток трансформатора приведені в паспортних даних трансформатора ОДЦЕ-5000/25Б. Для визначення індуктивностей обмоток трансформатора використані співвідношення досліду короткого замикання (КЗ):

$$Z_{K3} = \frac{U_{1K}}{I_{1H}}; \quad (3)$$

$$\cos \varphi_{K3} = \frac{P_{K3}}{I_{1H} U_{K3}}; \quad (4)$$

$$R_{K3} = \cos \varphi_{K3} * Z_{K3}; \quad (5)$$

$$X_{K3} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{K3}} * Z_{K3}; \quad (6)$$

$$x_1 = x_2 = \frac{X_{K3}}{2 R_B} = X_a; \quad (7)$$

$$L_a = \frac{X_a}{2\pi f} \quad (8)$$

де U_{1K} – напруга короткого замикання первинної обмотки, %;

U_{1K} – напруга короткого замикання первинної обмотки, В;

Z_{K3} – модуль комплексного опору в досліді КЗ;

$\cos \varphi_{K3}$ – кут зсуву між напругою і струмом в досліді КЗ;

R_B – базовий опір обмоток трансформатора, Ом;

P_{K3} – втрати короткого замикання при номінальній напрузі трансформатора, ВА;

X_{K3} – реактивний опір при КЗ, Ом;

X_1, X_2 – відносні реактивні опори первинної і вторинної обмоток трансформатора, Ом;

f – частота струму, Гц;

L_a – індуктивність трансформатора, приведена до вентильної обмотки, Гн.

Індуктивність трансформатора L_a , обумовлена потоками розсіювання первинної та вторинної обмоток, як відомо, призводить до подовження процесу комутації вентилів, що характеризується кутом комутації γ [2,4].

При розробці математичної моделі ВУ електровоза, укомплектованої вентилями типу ВЛ200, використана вольт-амперна характеристика ідеалізованого вентиля з втратами і порогом випрямлення. Поріг випрямлення прийнято рівним 0,5 В. Випрямляч працює з проти е.р.с. E_d , що індукується в обмотках якорів паралельно включених тягових електродвигунів (ТЕД).

Математична модель ВУ включає наступні рівняння:

Рівняння для миттєвих значень випрямленої напруги

$$u_d = e_2 - L_a \frac{di_d}{d\omega} - R_T i_d = E_{2m} \cos \omega t - L_a \frac{di_d}{d\omega} - R_T i_d, \quad (9)$$

де e_2 – миттєве значення напруги вентильної обмотки при неробочому ході (НХ);

i_d – миттєве значення випрямленого струму;

E_{2m} – амплітудне значення е.р.с. вентильної обмотки при НХ.

Миттєве значення випрямленого струму

$$\frac{di_d}{d\omega t} = \frac{E_{2m} \cos \omega t - R_T i_d - E_d}{L_a + L_d}, \quad (10)$$

де $L_d = L_{зр} + L_{ТД}$ – сумарна індуктивність кола випрямленого струму, що складається з індуктивності згладжуючого реактора і обмоток ТЕД. Випрямлена напруга u_d урівноважена е.р.с. E_d якорів ТЕД, падінням напруги $R_d i_d$ в активному опорі кола навантаження і е.р.с. самоіндукції, $e_s = -L_d \frac{di_d}{d\omega t}$, що виникає при пульсації випрямленого струму

$$u_d = e_s + R_d i_d + L_d \frac{di_d}{d\omega t} \quad (11)$$

Початком комутації вентилів є момент, коли випрямлена напруга в контурі вентилів, що закінчують роботу, зрівняється з напругою в контурі вентилів, що вступають в роботу

$$e_{21} - R_T i_T - L_d \frac{di_d}{d\omega t} = e_{22} - L_d \frac{di_d}{d\omega t} \quad (12)$$

Початок комутації вентилів визначається кутом ψ

$$\cos \psi = \frac{E_d L_a + R_T i_d (L_a + L_d)}{E_{2m} (2L_a + L_d)}. \quad (13)$$

Рівняння для визначення кута комутації γ

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2I_d X_a}{E_{2m}}. \quad (14)$$

Коефіцієнт пульсації напруги першої гармоніки

$$K_{u1} = \frac{U_{m1}}{U_0} \quad (15)$$

де U_{m1} – амплітудне значення напруги першої гармоніки напруги;

U_0 – середнє значення напруги.

Наявність пульсації випрямленого струму додатково знижує коефіцієнт потужності

$$\chi = \frac{\nu}{k_d} \cos(\gamma/2), \quad (16)$$

де k_d – коефіцієнт форми пульсуючого струму,

$$k_d = \sqrt{1 + 0.13 k_{ПВ}^2}, \quad (17)$$

Де $k_{ПВ}$ – коефіцієнт пульсації струму,

$$K_{ПВ} = \frac{\Delta i_d}{I_d}. \quad (18)$$

Результати моделювання свідчать, що випрямлена напруга (рис.2) складається з постійної та змінної складової зі значними втратами на комутацію.

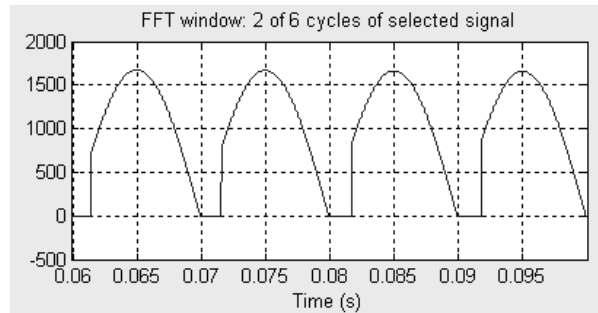


Рис.2. Крива миттєвої випрямленої напруги в колі ТЕД

Результати гармонічного аналізу випрямленої напруги (рис.3) свідчать про наявність у випрямленій напрузі крім постійної складової 0, 2-ї, 4-ї, 6-ї і т.д. парних гармонік з частотою відповідно 100,200,300 Гц. Для прикладу на 17-й позиції контролера постійна складова напруги складала 565 В при середньому значенні випрямленого струму 556 А і амплітудному значенні першої гармоніки напруги $U_1 = 390$ В коефіцієнт пульсації напруги (15) мав значення рівне 0,69.

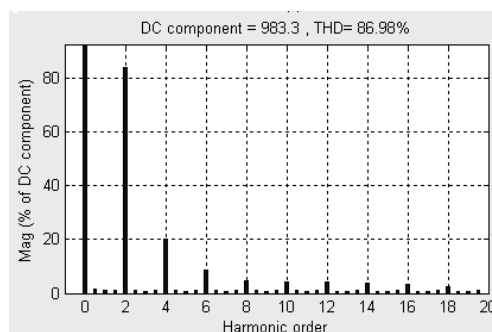


Рис.3. Амплітудний спектр випрямленої напруги в колі ТЕД

Змінна складова випрямленої напруги при обмеженій індуктивності в колі ТЕД спричиняє пульсацію випрямленого струму, який має ті ж гармоніки, що і випрямлена напруга. Перша, основна гармоніка напруги має подвійну частоту 100 Гц.

Результати моделювання свідчать, що струм в первинній обмотці тягового трансформатора (рис.4) в значній мірі відрізняється від синусоїдальної форми, і відстає по фазі відносно напруги контактної мережі. Наприклад, на 17-й позиції контролера при випрямленому струмі 556 А кут зсуву φ першої гармоніки струму відносно напруги живлення мав значення $10,94^\circ$, а його максимальне значення дорівнювало $75,18^\circ$.

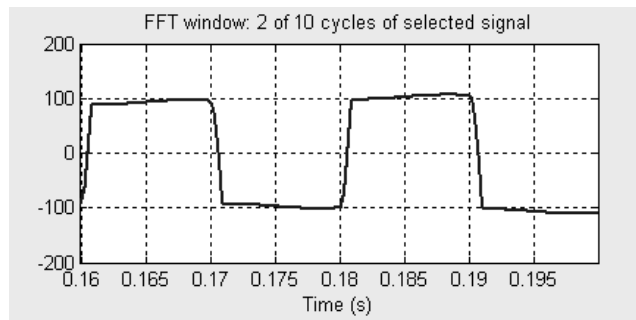


Рис.4. Крива струму в первинній обмотці тягового трансформатора

Крива струму симетрична відносно осі X , тому її постійна і косинусна складові дорівнюють нулю. В криву струму входять лише гармоніки синусного ряду. Із рис. 5 видно, що всі парні гармоніки кривої струму практично дорівнюють нулю. Крім основної (першої) гармоніки поріг в 5% перевищують гармоніки: 3-тя (32%), 5-та (18%), 7-ма (12%), 9-та (8%) та 11-та (6%).

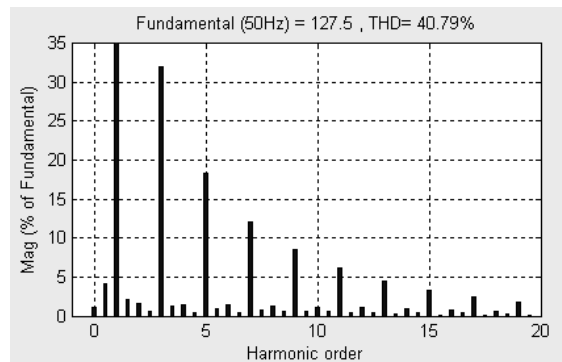


Рис.5. Амплітудний спектр струму в первинній обмотці тягового трансформатора

В ході дослідження встановлена залежність коефіцієнта потужності від пульсації струму, напруги та навантаження. Із залежності коефіцієнта потужності від струму (рис.6) можна зробити висновок, що напруга вентильної обмотки має більший вплив на рівень коефіцієнта потужності у порівнянні з індуктивністю обмоток трансформатора. В зв'язку з чим коефіцієнт потужності більш інтенсивно зменшується з ростом навантаження на позиціях контролера машиніста нижчих сімнадцятої.

Згідно з технічними даними електровоза [1] значення коефіцієнта потужності тривалого режиму дорівнює 0,886, що відповідає одній точці характеристики при роботі на 33-й позиції. Отримані результати дають змогу одержати характер зміни коефіцієнта потужності у межах всього діапазону зміни параметрів навантаження.

Аналіз результатів дослідження дає змогу зробити висновок, що параметри, одержані за допомогою моделювання з достатньою точністю відображають процеси в працюючому електроприводі, а математична модель може бути використана при розробці схемотехнічних та організаційних заходів, направлених на зниження витрат електроенергії на тягу поїздів.

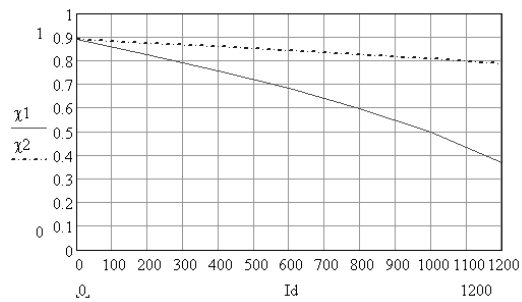


Рис. 6. Залежності коефіцієнтів потужності χ_1 , χ_2 електровоза ВЛ80^к від струму навантаження вторинної обмотки трансформатора. На графіку χ_1, χ_2 – відповідно коефіцієнти потужності при роботі електровоза на 33-й та 17-й позиціях контролера машиніста

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. – Киев: 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 666.972.16

*Олександра Дорошенко
Юрій Дорошенко*

ПРОБЛЕМИ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОНІВ ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

В статті розглядаються питання, пов'язані з поліпшенням довговічності бетонів транспортного будівництва.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с улучшением долговечности бетонов транспортного строительства.

In the article questions are examined related to the improvement of longevity of concretes of a transport building.

Ключові слова: цементний бетон, довговічність, надійність.

Важливим завданням є підвищення довговічності бетонів транспортного призначення, особливо в умовах посиленого екологічного навантаження. Одержання довговічних бетонів з заданими властивостями і структурою залежить від якості вихідних матеріалів, складу бетону, технології виготовлення, догляду за твердінням бетону. Найчастіше бетон руйнується внаслідок одночасної дії від'ємних температур, протижелезних солей, вуглекислого газу (вихлопи), динамічних навантажень підвищеної інтенсивності (більш висока швидкість і вантажопідйомність, підвищення кількості транспортних засобів), помилок при розрахунку і будівництві дорожнього одягу.

На відміну від механічних показників, довговічність бетону охарактеризувати складно. Навіть при відомих умовах навколишнього середовища й властивостях бетону довговічність не є незмінною величиною.

Підвищити довговічність бетонів можна різними способами, зокрема за допомогою фізико-хімічного, механічного або технологічного впливу. Серед основних способів регулювання довговічністю бетонів є:

- застосування хімічних добавок на стадії проектування складу бетону й виготовлення бетонної суміші;
- застосування різних способів активації компонентів бетонної суміші й бетону на стадії їхнього виготовлення, укладання й ущільнення;
- забезпечення нормальних температурно-вологих умов твердіння виробів з бетону;

© Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М., 2012

– просочення бетону виробів і покриттів захисними сполуками на стадії виготовлення й експлуатації.

У роботах В.І. Бабушкіна [1, 2] та Г.І. Горчакова [3, 4] довговічністю називається властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й контролю.

По визначенню В.Б. Ратинова й Г. Добролюбова [5] довговічність у будівництві – це здатність будинків і споруджень служити тривалий час у реальних умовах впливу зовнішнього середовища. Відповідно до німецького стандарту DIN 1045 довговічність зовнішніх залізобетонних будівельних елементів означає, що протягом усього передбаченого терміну служби арматурна сталь залишається в захищеному від корозії лужному середовищі. В.Л. Чернявський [6] довговічність зв'язував з адаптацією бетону, спрямованої на втримання його структурних характеристик у межах, що забезпечують заданий функціональний стан. Тобто стосовно до бетону, конструкціям і спорудженням термін «довговічність» можна розглядати по-різному.

Поняття довговічність різними авторами трактується трохи різноманітно, однак загальним є наступне: довговічність бетону – здатність бетону зберігати потрібні властивості протягом певного терміну служби. Таким чином, довговічність – це комплексний показник, що характеризується набором експлуатаційних властивостей бетону.

В останні роки цьому показнику на Україні й за кордоном приділяється велика увага. Раніше, як відзначають И.Штарк і Б.Вихт, виходили з того, що бетонні конструкції не вимагають догляду, якщо дотримані основні правила технології [7]. Однак досвід останніх років показав, що навіть невеликі відхилення від цих правил (що, до речі, особливо актуально для України й країн СНД), а також неправильна оцінка або погіршення умов експлуатації, можуть привести до значних ушкоджень бетону.

Серед факторів, що впливають на довговічність дорожніх бетонів, можна виділити:

- зниження якості заповнювачів і підвищення оптимальної тонини подрібнення цементу;
- недосконалість методів підбора складу бетонів;
- порушення технології укладання й ущільнення бетонних сумішей;
- неправильний догляд (або його відсутність) за бетоном у початковий період набору міцності;
- посилення негативних впливів при експлуатації (механічних, біохімічних, хімічних і фізико-хімічних).

Структура й властивості постійно змінюються не тільки під впливом навколишнього середовища, але й через енергетичний процес, при якому структура бетону прагне до більш низького енергетичного рівня. Довговічність також непорушно пов'язана з очікуваним строком експлуатації бетону.

В роботі Чернявського В.Л. [6] показані варіанти траєкторій функціонального стану бетону в часі в експлуатаційному середовищі. Довговічними в загальному значенні можна вважати матеріали, що показують повну адаптивність.

Таким чином, узагальнивши всі визначення й виключивши деякі поняття, що задаються нечітко, довговічність матеріалу можна охарактеризувати як здатність зберігати свою основну конструктивну функцію протягом заданого строку в

заданих умовах експлуатації з обліком найбільш імовірних деструктивних впливів середовища.

Ф.М. Іванов підкреслював, що в основу проектування термінів служби споруджень повинне бути покладене знання швидкості корозійних процесів [8]. Г.П. Вербецький [9] вважав, що основною умовою довговічності бетону у водному середовищі є його висока щільність, що утруднює проникнення агресивних агентів, зокрема води, у його капілярнопорову систему.

Фактори, що погіршують довговічність бетону, згідно [4] підрозділяються на:

- фізичні (мороз);
- хімічні (сульфатні розчини);
- біологічні (бактерії);
- механічні (зношування, навантаження).

В.І. Бабушкін [2] залежно від сполуки й структури бетону, а також умов його роботи, розрізняв наступні руйнуючі дії на бетон:

- сульфатна корозія;
- корозія вилужування;
- загальнокислотна корозія, що включає й вуглекислотну;
- магнезіальна корозія;
- корозія за рахунок підсмоктування й кристалізації солей;
- біологічна корозія;
- багаторазове наперемінне заморожування й відтавання води в порах бетону;
- корозія під дією органічних сполук;
- усадка й набрякання цементного каменю при зміні вологості;
- хімічний вплив різних агресивних газів;
- контракційні явища, що супроводжують гідратацію цементу;
- різні механічні впливи;
- осмотичний тиск на плівки гелів.

Для залізобетону виділяються також електрохімічні процеси корозії в арматурах.

СНИП всі види корозійних факторів поєднує в три групи: фізичні, хімічні й біологічні. В.І. Бабушкін виділяв п'ять груп факторів корозійного впливу:

- фізичні;
- фізико-хімічні;
- хімічні;
- електрохімічні;
- мікробіологічні.

А.М. Невіль [11] до внутрішніх причин руйнування бетону відносив взаємодію лугів цементу із кремнеземом заповнювача, зміну об'єму через розходження температурного розширення цементного каменю й заповнювача, і насамперед – проникність бетону.

У роботі В.Р. Фаликмана [12] відзначається, що передумовами синтезу довговічності бетонів як композитів є «створення оптимальної мікроструктури цементного каменю, зменшення макропористості й підвищення тріщиностійкості».

Властивість пристосувальної мінливості цементного бетону в експлуатаційному середовищі згадувалося в різних термінах: самозаліковування, самозміцнення, самоущільнення, самовідновлення. Термін «адаптивності» був уведений В.Л. Чернявським [6, 13].

Ф.М. Іванов [8] відзначав, що хоча при зміні умов, у яких перебуває бетон, не змінюється вагова кількість твердої фази бетону в одиниці його об'єму, але змінюється внутрішня поверхня цементного каменю. При збільшенні вологості відбувається адсорбція води на поверхні гелеобразної фази, що змінює її об'єм.

С.В. Шестоперов [14] вказував, що першою стадією проектування довговічного бетону варто вважати визначення умов, у яких він буде працювати в спорудженні, конструкції або їхній частині. Тобто довговічність матеріалу необхідно розглядати у зв'язуванні з довговічністю конструкції в цілому [15,16].

В.Р. Скальський і П.Н. Коваль відзначають, що руйнування бетону починається з мікротріщиноутворень й наступного розширення цих тріщин [17]. Ріст мікротріщин залежить від умов навантаження й структурного стану матеріалу й обумовлений наступними мікромеханізмами: транскристалічний відкол, квазискол, міжзерновий відкол, ямочний відрив. Всі вони розвиваються з поверхні, а тому, послаблюють цю частину загальної структури бетону та поверхневий захисний шар, що складається із цементно-піщаного розчину.

Процеси, що протікають усередині бетону й пов'язані з впливом зовнішнього середовища, так і внутрішньою природою, постійно змінюють його структуру. При цьому, як пише І.М.Грушко, одночасно відбуваються процеси структуроутворення, які поліпшують властивості бетону і деструктивні процеси, які руйнують матеріал. На різних етапах зрілості бетонів одні процеси превалюють над іншими. Наприклад, у бетонах раннього віку в більшості випадків переважають перші процеси й структура їх удосконалюється, у старих бетонах протікають переважно деструктивні процеси [18,19,20]. Дослідження І.М.Грушко, підтверджені іншими авторами, показали наявність оптимальної товщини плівки розчину, при якій спостерігається взаємодія між зернами щебеню і інтенсивне зростання в'язкості бетонної суміші [18]. Це позитивно позначається на збільшенні міцності бетонів, особливо в ранньому віці. Про необхідність оптимізації плівок розчину й цементного тісту на зернах заповнювача пишуть також Б.М.Гладишев, Л.І.Дворкін і О.Л.Дворкін, А.Н. Плугин і А.А. Плугин.

Кількісне співвідношення компонентів у важких бетонах необхідно підбирати так, щоб створювалося щільне впакування зерен великого заповнювача, а міжзерновий простір заповнювався цементно-піщаним розчином [21]. Збільшення товщини прошарків розчину між зернами щебенів викликає зменшення ступеня концентрації зусиль на контакті зерен, змінює несучу здатність елементів структури і міцність бетону.

Про відсутність надійної моделі поведінки бетону в умовах одночасного впливу механічних і різних фізико-хімічних агресивних середовищ, що дозволяють прогнозувати його довговічність, вказує С.В.Коваль [22]. Як узагальнюючий критерій, що дозволяє здійснити таке прогнозування, він пропонує застосувати побудову моделей впливу поліфункціональних хімічних добавок на властивості бетонів. Моделювання проводять на бетонах, що не містять великий заповнювач.

Аналіз показує, що запропоновані підходи спрямовані на прогнозування марки по морозостійкості в середньостатистичних кліматичних умовах, не враховують одночасність впливу агресивних факторів і тому не дозволяють прямо оцінити довговічність (термін служби) бетону в реальних умовах.

У загальному випадку для досягнення необхідної якості бетону стандарт EN 206-1 визначає 18 класів впливу умов роботи бетону. Залежно від них задані граничні вимоги до складу бетонів, які включають: види компонентів, максимальне

В/Ц, мінімальний зміст цементу, мінімальний клас міцності при стиску, для дорожніх бетонів мінімальне повітрівтягування та вимоги до якості заповнювачів. Якщо бетон у процесі експлуатації піддається дії одночасно декількох агресивних факторів, то в кожному конкретному випадку ці вимоги вимагають уточнення.

Основні теоретичні передумови створення довговічних дорожніх структур можна сформулювати в такий спосіб. Дорожні бетони, що експлуатуються в агресивних середовищах, руйнуються в результаті корозії заповнювачів, цементу, низької міцності зони контакту, а також дії динамічних і стираючих навантажень. Причиною цього є низька якість заповнювачів, неправильний вибір гранулометрії, особливо дрібного заповнювача, а також співвідношення між дрібним і великим заповнювачем, що приводить до високої пористості мінерального кістяка цементного розчину й бетону. Це збільшує кількість вільної й фізично зв'язаної води в бетоні, приводить до посилення масооб'ємних процесів і випару води. Виникаючи при цьому розпушеність верхнього шару й значна капілярна пористість не тільки полегшує проникнення в глибину бетону агресивних середовищ, але й приводять до значного зношування бетону покриття, що зменшує строк його служби. До цього можна додати неправильний вибір хімічних добавок і необґрунтовано збільшені витрати цементу. Нераціональний вибір застосовуваних хімічних добавок може привести до росту кількості вільної води яка не бере участі у структуроутворенні. При цьому руйнується структура бетону й знижуються його експлуатаційні властивості.

На сьогодні відсутнє єдине поняття про поведінку бетону при одночасному механічному й морозно-сольовому впливі, а також критерії, що дозволяють оцінювати його експлуатаційний стан і прогнозувати довговічність.

Підвищення довговічності дорожніх бетонів можна досягти підвищенням міцності й щільності бетонів за рахунок удосконалювання методів підбора складу і застосування сучасних хімічних і мінеральних добавок, що дозволяють зменшити водопотребу бетонної суміші. Тим самим забезпечується зниження товщини водної плівки на частках заповнювачів, тобто зменшується вільна й фізично зв'язана вода.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бабушкин В.И.* Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – М., 1968. – 187 с.
2. *Бабушкин В.И.* Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В.И. Бабушкин. – Харьков: Вища школа, 1989. – 168 с.
3. *Горчаков Г.И.* Основы стандартизации и управления качеством продукции промышленности строительных материалов / Г.И. Горчаков, Э.Г. Муратов. – М. Высшая школа, 1987. – 333 с.
4. *Строительные материалы (Материаловедение и Технология) / Микульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В. и др.* – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 536 с.
5. *Добролюбов Г.* Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.
6. *Чернявский В.Л.* Адаптация бетона / В.Л. Чернявский – Днепропетровск: Нова ідеологія, 2002. – 216 с.
7. *И.Штарк, Б.Вихт* Долговечность бетона.-под ред. П.В.Кривенко. – К.: «Оранта». – 2004.– 301с.
8. *Иванов Ф.М.* Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. – М.: Транспорт, 1968. – 207 с.
9. *Вербецкий Г.П.* Прочность и долговечность бетона в водной среде / Г.П. Вербецкий. – М.: Стройиздат, 1976. – 128 с.

УДК 658

Тетяна Забудняк
Катерина Ширченко

КЛАСИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТЕРІВ ТА ЇХ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

У статті розглядається класифікація транспортерів, їх технічні характеристики, параметри, а також проводиться огляд вимог, яким вони повинні відповідати.

В статье рассматривается классификация транспортеров, их технические характеристики, параметры, а также проводится обзор требований, которым они должны соответствовать.

In the article the classification of transporters and their specifications, options, and also conducted a review of requirements that they must comply.

Ключові слова: класифікація та технічні характеристики, великогабаритні вантажі, маса тари, майданчикові транспортери.

Терміном «транспортери» з'єднані транспортні засоби для перевезення великогабаритних і довгобазних вантажів, доставка яких на універсальному рухомому складі або поєднана з великими труднощами (наприклад, негабаритність), або неможлива зовсім.

За конструкцією і експлуатаційними параметрами транспортери мають суттєві розбіжності, які обумовлені різноманіттям параметрів вантажів і різними способами вирішення проблеми у вільному габаритному просторі. Всі існуючі типи транспортерів поділяються на п'ять класів:

- зчленовані;
- зчіпні;
- майданчикові;
- платформні;
- колодязеподібні [2].

© Забудняк Т. В., Ширченко К. В., 2012

Платформні транспортери призначені для перевезення великогабаритних вантажів, які через обмеження габаритного обрису не можна перевозити на транспортерах з прямим вантажним майданчиком. Тому такі транспортери мають знижений вантажний майданчик завдяки вигнутій формі головної балки. Для цих транспортерів застосовують двох-, трьох- і чотиривісні візки, що об'єднуються спеціальними кінцевими балками. Транспортери даного типу побудовані в основному вантажопідйомністю 55, 62, 100 (110), 150 і 200 в чотирьох-, восьми-, дванадцяти- і шістнадцятивісному виконанні. Як приклад, що характеризує цей тип транспортера, можна привести дванадцятивісний транспортер вантажопідйомністю 150 т. Його головна балка через сферичні п'ятники і підп'ятники опирається на дві кінцеві балки і через них - на чотири тривісних візки, розташовані по дві з кожного кінця транспортера. Кріплення вантажу здійснюється через спеціальні отвори, розташовані у верхньому листі вантажної площадки.

Колодязеподібні транспортери призначені для перевезення вантажів (робочих коліс гідротурбін, бандажів і обичайок цементних печей та ін), які через велику висоту не можна перевозити на транспортері платформного типу [1]. В транспортерах цього типу головна балка зазвичай складається з двох бічних балок двотаврового перетину, з'єднаних по кінцях потужними поперечними балками з розташованими на них п'ятниками, через які вона опирається на кінцеві балки. У нижній частині бічних балок розташовані чотири проміжні знімні поперечні балки, які цапфами з'єднуються зі сталевими подушками, розташованими на нижніх поясах бічних балок.

Тут вантаж розміщується між бічними балками (у колодязі), причому знімні поперечні балки залежно від розмірів і обрисів вантажу можна встановлювати на різні пари опорних подушок.

Як приклад можна привести восьмивісний транспортер вантажопідйомністю 120 т. Він також має головну балку, яка спирається через сферичні п'ятників на кінцеві балки, які в свою чергу спираються на попарно з'єднані типові двовісні візки. У середній частині головної балки

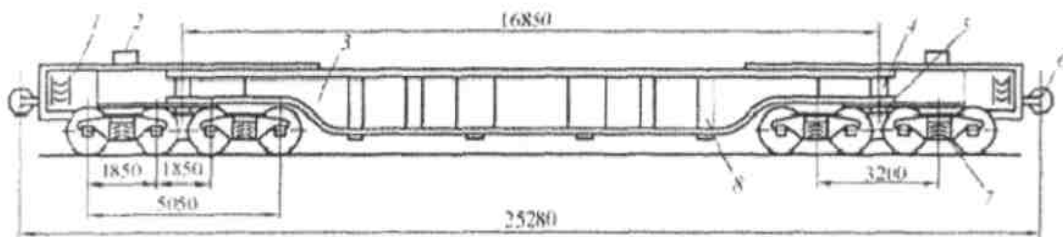


Рис.1. Восьмивісний транспортер колодязеподібного типу

Зчіпні транспортери призначені для перевезення великовагових довгомірних вантажів циліндричної або призматичної форми. Вага вантажу, що перевозиться, передається на дві вантажонесучі платформи з кількістю осей 4–16, які зчепленні між собою. Вантажонесучі платформи являють собою систему несучих елементів багаторярусного розміщення, причому кількість і призначення несучих елементів секції визначається вантажопідйомністю та кількістю осей транспортера. Вантажопідйомні балки передають навантаження на нижні несучі балки за допомогою плоских чи сферичних п'ятників. В опорних перетинах балок розміщені нерухомі або роликові ковзуни [4].

Вага вантажу сприймається спеціальними пристроями – турнікетами, які розміщені в середній частині вантажонесучих балок секцій по одному турнікету на секцію. Конструктивно турнікети виконані з можливістю вільного повороту відносно вертикальної осі. Один із двох турнікетів транспортеру виконаний з повздовжньою рухливістю (вздовж осі шляху).

З метою максимального використання габариту навантаження внутрішні автозчіпні пристрої секцій транспортерів, що з'єднуються вантажопідйомністю 240 і 120 т виконанні з зниженими повздовжньою віссю на 200-215 мм в порівнянні з загальномережними вантажними вагонами. Для цих транспортерів передбачена можливість подовження бази по турнікетах за рахунок включення в состав зчепу (між секціями) однієї чи двох 4- вісних спеціальних проміжних платформ, які мають знижений рівень осей автозчепів з довжиною по осях автозчепів 11,14 м.

Зчленовані транспортери призначені для перевезення потужних силових трансформаторів і статорів великих електрогенераторів. На них можна перевозити і інші великогабаритні вантажі, зі спеціальними допоміжними пристосуваннями. Транспортери цього типу мають дві консолі, що спираються через систему балок на ходові частини. Вантаж, що перевозиться, підвішується між консолями транспортера і з'єднується з ними за допомогою валиків (діаметром приблизно 250 мм). Під дією власної ваги вантаж затискається між верхніми частинами консолей і бере участь в роботі конструкції транспортера як несучий елемент. Транспортери такого типу побудовані вантажопідйомністю 220, 300 і 400 т. Відповідно в шістнадцяти-, двадцяти-і двадцативосьмиосному виконанні. Розроблено конструкцію тридцятидвохосного зчленованого транспортера вантажопідйомністю 500 т. Як приклад доцільно навести двадцативосьмиосний транспортер вантажопідйомністю 400 т. Він складається з двох консолей, що спираються через опорні катки на дві сполучні балки, які в свою чергу спираються на кінцеві і проміжні балки.

Кожна половина транспортера обладнана водилом, що забезпечує поворот консолей з вантажем щодо з'днувальних балок при проходженні кривих ділянок колії.

При необхідності транспортер може бути забезпечений знімною несучою балкою, яка зчленовується з вушками консолей і служить для перевезення вантажів, які не мають власних вушок для зчленування. При русі транспортера в порожньому стані консолі з'єднуються спеціальними серьгами в зоні вушок, верхні пояси скріплюються спеціальною закидачкою з замком. Транспортер обладнаний системою гідравлічних підйомників (основних та допоміжних домкратів, установлених на з'єднувальних балках і призначений для підйому консолей транспортера разом з вантажем, а також для підтримки їх при розведенні половин порожнього транспортера).

Конструктивні особливості зчленованих транспортерів дозволяють їм, не порушуючи габариту, проходити круті криві в плані і профілі.

Потреба в таких транспортерах з року в рік зростає, оскільки в перспективі перевезення надважких, які мають великі розміри вантажів будуть розширюватися у зв'язку з тенденцією монтажу устаткування підприємств з великоблочних агрегатів.



Рис. 2. Транспортер зчленованого типу

Майданчикові транспортери є найпоширенішими по номенклатурі вантажопідйомності, кількості осей і типах візків видів транспортерів.

Характерна конструктивна особливість майданчикових транспортерів полягає в специфічній формі вантажонесучої балки, яка виконана у вигляді вигнутого бруса з пониженою навантажувальною площадкою. Вантажонесучі балки в межах навантажувального майданчика мають спеціальні пристрої: кронштейни, проушини, отвори тощо, які потрібні для закріплення вантажу, що перевозиться.

Діапазон вантажопідйомності майданчикових транспортерів з кількістю осей 4–16 складає 55–225 т. Майданчикові транспортери з кількістю осей 4,

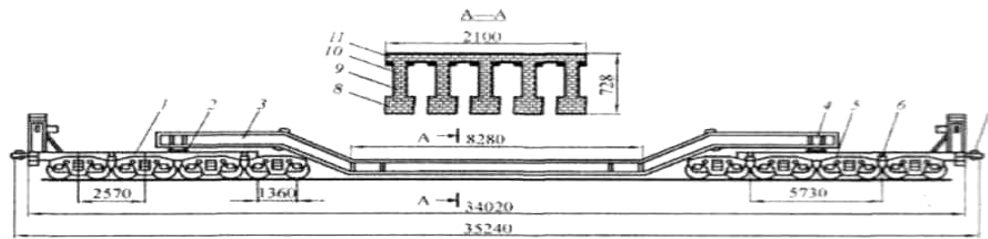


Рис.3. Шестивісний транспортер майданчикового типу

8 і 16 мають як ходові частини 2- і 4-вісні візки. Причому, поряд з серійними візками вантажних вагонів мод. 18-100 і 18-101 на транспортерах, випущених до 1986 р., застосовуються спеціальні візки «тендерного» типу мод. 18-6053 і 18-6052 та їхні аналоги. Крім того, деякі типи 12-вісних транспортерів виконані на основі візків мод. 18-102 [4].

В межах кожного класу транспортери поділяються по вісності.

Незалежно від класу всі транспортери повинні відповідати таким вимогам: всюдихідність, максимальна відповідність умовам обігу універсального рухомого складу; мінімізація тари; забезпечення максимального використання вільного габаритного простору; специфічні вимоги до кінематики багатовісних екіпажів; рівномірність розподілення навантаження по осях; забезпечення безпеки руху [2].

До основних параметрів транспортерів належать:

- вантажопідйомність;
- маса тари;
- кількість осей;
- габарит;
- коефіцієнт тари;
- навантаження при номінальній вантажопідйомності;
- довжина по осям автозчепу;
- номінальна довжина вантажу по вісях підвішування;
- статичне осьове навантаження;
- конструкційна швидкість.

ЛІТЕРАТУРА

1. М. М. Соколов Архитектура грузовых вагонов / М. М. Соколов, А. В. Третьяков, И. Г. Морчиладзе // Учебное пособие для работников железнодорожного транспорта. – М.: ИБС-Холдинг, 2006. – 394 с.
2. Техничко-експлуатаційні параметри і динамічні якості багатівісних залізничних транспортерів. / Під ред. А. М. Бржезовського. – М.: Транспорт, 1993. – 148 с.

УДК 625.731.2

Віктор Заїченко
Олександра Дорошенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ УКРІПЛЕНИХ ҐРУНТІВ

Перспективним шляхом підвищення якості основ та ґрунтів земляного полотна є введення в їх склад добавок, що поліпшують і стабілізують фізико-механічні властивості та показники довговічності. Однією з таких добавок є Infra Crete[®], яка дозволяє підвищити фізико-механічні показники укріпленого цементом ґрунту. Проведений аналіз показав, що ґрунти, стабілізовані цементом + Infra Crete[®], відповідають вимогам, що висуваються до укріплених ґрунтів за Європейськими вимогами. В роботі наведено можливості отримання жорстких зв'язків ґрунту при укріпленні добавкою цементу + Infra Crete[®] та встановлено оптимальні розміри витрат даної добавки для укріплення ґрунту.

Перспективным путем повышения качества основ и грунтов земляного полотна является введение в их состав добавок, которые улучшают и стабилизируют физико-механические свойства и показатели долговечности. Одной из таких добавок является Infra Crete[®], которая позволяет повысить физико-механические показатели укрепленного цементом грунта. Проведенный анализ показал, что грунты, стабилизированные цементом + Infra Crete[®], отвечают требованиям, которые предъявляются к укрепленным грунтам за Европейскими требованиями. В работе приведены возможности получения жестких связей грунтов при укреплении добавкой цемент + Infra Crete[®] и установлены оптимальные размеры расходов данной добавки для укрепления грунтов.

Perspective way to improve the quality of soils and foundations of the subgrade is to put in their composition of additives that improve and stabilize the physical - mechanical properties and durability performance. One of these supplements is Infra Crete[®], which increases physical - mechanical properties of hardened cement ground. The analysis showed that the soil stabilized with cement + Infra Crete[®], meet the requirements that apply to soil stabilization for European requirements. In the robot are given opportunities of hard connection of soil additive for strengthening cement + Infra Crete[®], and the optimal amount of expenditure of the additives to enhance the soil.

Ключові слова: укріплення ґрунтів, Infra Crete[®], фізико-механічні властивості ґрунтів.

© Заїченко В.В., Дорошенко О.Ю., 2012

В останні роки спостерігається суттєве збільшення об'єму дорожнього будівництва в Україні, зокрема в складних інженерно-геологічних умовах. Все частіше для будівництва використовуються ділянки, що складаються із так званих слабких ґрунтів – мули, заторфовані ґрунти, просадочні, набрякаючі, засолені ґрунти та ін.

Деякі з указаних ґрунтів (мули, заторфовані ґрунти) в природному стані мають невисоку несучу здатність і підвищену стискальність.

Для інших характерно суттєве погіршення механічних властивостей при певних впливах (наприклад, замочування просадочних ґрунтів, розсолення засолених ґрунтів і ін.). Недооцінка цих явищ може привести до значних, часто нерівномірних осадок, а в гіршому випадку до втрати стійкості основи.

Сучасний стан науки, конструкторської та технологічної баз дають широкий вибір заходів стосовно будівництва в складних умовах. Багато з цих заходів виявляються чи не єдиними для вирішення тієї чи іншої задачі [1-2].

Перспективним шляхом підвищення якості основ та ґрунтів земляного полотна є введення в їх склад добавок, що поліпшують і стабілізують фізико-механічні властивості та показники довговічності.

Однією з таких добавок є Infra Crete[®], яка, як відомо за результатами вітчизняних і зарубіжних досліджень, дозволяє підвищити фізико-механічні показники укріпленого цементом ґрунту. Проведений співробітниками кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії аналіз показав, що ґрунти стабілізовані цементом +Infra Crete[®], відповідають вимогам, що висуваються до укріплених ґрунтів за Європейськими вимогами.

Для перевірки можливості підвищення фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених добавкою цемент + Infra Crete[®], відповідно до вимог стандартів України, були поставлені такі завдання.

Завдання досліджень:

- встановлення можливості отримання жорстких зв'язків ґрунту при укріпленні добавкою цементу + Infra Crete[®];
- встановлення оптимальних витрат даної добавки для укріплення ґрунту;

Відбір проб і визначення властивостей вихідних ґрунтів

Для вирішення поставлених завдань на першому етапі досліджень були відібрані проби різних ґрунтів для встановлення впливу мінералогічного складу, гумусових речовин і кислотності середовища на властивості укріпленого ґрунту.

Проби ґрунту масою 40-50 кг відбирались у м. Києві, вул. Кіквідзе, транспортувались, зберігались згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000) [3].

Результати випробувань, що представлені в табл. 1, показали, що дані ґрунти мають підвищену кислотність і високий вміст органічних речовин. Згідно з вимогами нормативних документів [4] такі ґрунти придатні до укріплення цементом після нейтралізації їх кислотності вапном або іншими лужними речовинами. Тому з метою порівняння ефективності застосування досліджуваної добавки цемент +Infra Crete[®], дані ґрунти також укріплювали портландцементом марки М 400 (без додавання вапна).

Таблиця 1. Результати визначення фізичних властивостей ґрунтів

Найменування показника	Ґрунти	
	проба №1	проба №2
Щільність часток ґрунту, г/см ³	2,53	2,57
Щільність скелета ґрунту при стандартному ущільненні, г/см ³	1.90	2.01
Оптимальна вологість ґрунту при стандартному ущільненні, %	12,0	12.05
Гігроскопічна вологість, %	0,19	0,41
Межа текучості, %	26,01	6,97
Межа розкочування (пластичності), %	22,02	5,31
Число пластичності	3,99	1,66
Гранулометричний склад, вміст фракцій, %:		
>2.0 мм	0,18	0,13
2,0 –1,0 мм	0,10	0,65
1,0-0,5 мм	0,62	3.99
0,5-0,25 мм	2.20	35.97
0,25-0,1 мм	12.79	32.71
0,1 – 0,05мм	23.71	9.41
0,05 – 0,01мм	41.30	12.24
0,01–0,005	8.27	408
<0,005мм	0.83	0.82
рН водної витяжки	5	5
Назва ґрунту	клас – природні дисперсні, група - зв'язні, вид – глинисті, різновид – супісок пилуватий	клас – природні дисперсні, група – зв'язні, вид – глинисті, різновид – супісок піщанистий

Методика приготування зразків

З метою отримання порівняльних результатів, готували суміші досліджуваних ґрунтів з добавкою цемент + Infra Crete[®] та з добавкою портландцементу М400. Склад сумішей наведено в таблиці 2.

Орієнтовна кількість добавок призначалась згідно [4]. При приготуванні сумішей ґрунту з цементом + Infra Crete[®] та цементом в повітряно-сухий ґрунт вносили добавки, суміш перемішували та визначали оптимальну вологість та максимальну щільність скелету ґрунту. Результати визначення оптимальної вологості досліджуваних сумішей показали, що вона практично збігається із такою ж вологістю для вихідного ґрунту і відрізняється в сторону збільшення на 1-3 %.

З сумішей ґрунту з добавками (табл. 2) та оптимальною кількістю води, виготовляли зразки-циліндри. Зразки-циліндри випробовували для визначення: міцності при стиску на 7-му добу після зберігання у вологих умовах та 28-му добу у водонасиченому стані.

Таблиця 2. Варіанти укріплення ґрунтів добавками цементу та цементу + Infra Crete®.

№ проби	№ суміші	Назва, кількість добавки: Ц, % від маси ґрунту;	Назва, кількість добавки: Infra Crete®, % від маси Ц	№ проби	№ суміші	Назва, кількість добавки: Ц, % від маси ґрунту;	Назва, кількість добавки: Infra Crete®, % від маси Ц
№ 1 (світлий)	1	5	-	№2 (темний)	1	5	-
	2	9	-		2	9	-
	3	13	-		3	13	-
	4	5	1		4	5	1
	5	9	1		5	9	1
	6	13	1		6	13	1
	7	5	2		7	5	2
	8	9	2		8	9	2
	9	13	2		9	13	2
	10	5	3		10	5	3
	11	9	3		11	9	3
	12	13	3		12	13	3

Зразки, виготовлені з різних сумішей, зберігали у вологих умовах – поміщали у герметичну шафу над ємністю з водою. Межа міцності при стиску визначалась на зразках після капілярного водонасичення.

Капілярне водонасичення зразків проводились через шар вологого піску (15 см). Зразки насичують протягом 3-х діб..

Методика та результати випробувань

Межа міцності при стиску визначалась на циліндричних зразках за допомогою гідравлічного пресу із швидкість вільного ходу поршня 3 мм/хв. [4].

Межу міцності при стиску обчислювали за формулою

$$R = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

де P – руйнівне навантаження; F – початкова площа основи зразка.

Межа міцності при стиску обчислювалася з точністю до $0,5 \text{ кгс/см}^2$ як середнє арифметичне результатів випробувань трьох зразків. Розбіжність між результатами випробувань окремих зразків не перевищувала 15 %.

Результати визначення межі міцності на стиск ґрунтів укріплених добавками наведено на рис. 1-8.

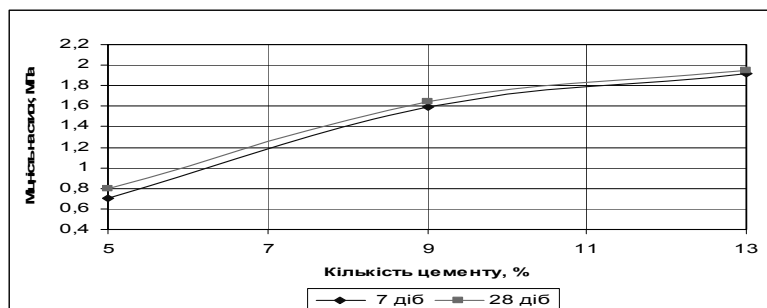


Рис. 1. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу для складів № 1, 2, 3 (грунт № 1 – супісок пилюватий)

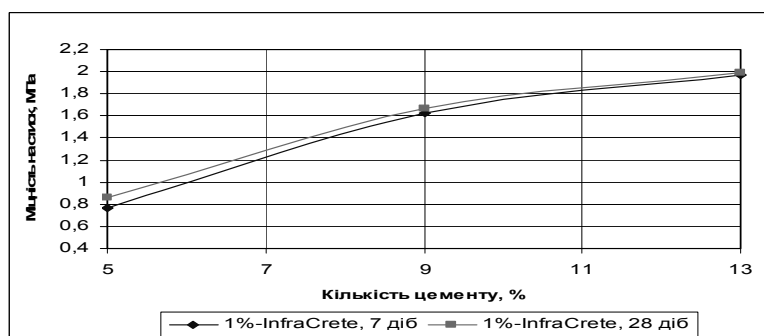


Рис. 2. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів № 4, 5, 6 (грунт № 1 – супісок пилюватий)

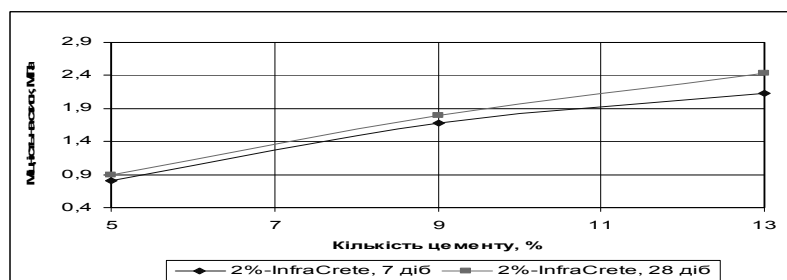


Рис. 3. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів № 7, 8, 9 (грунт № 1 – супісок пилюватий)

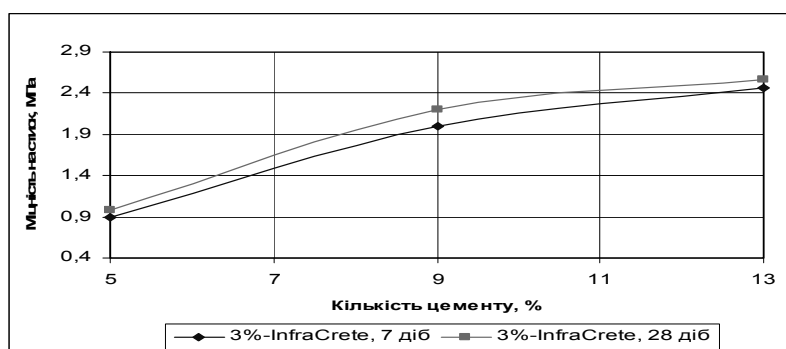


Рис. 4. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів № 10, 11, 12 (грунт № 1 – супісок пилуватий)

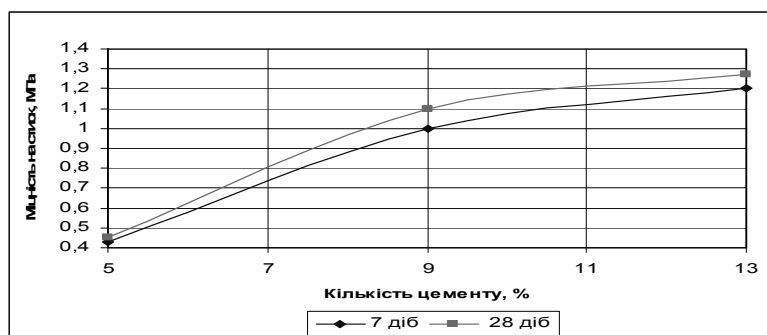


Рис. 5. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу для складів № 1, 2, 3 (грунт № 2 – супісок піщанистий)

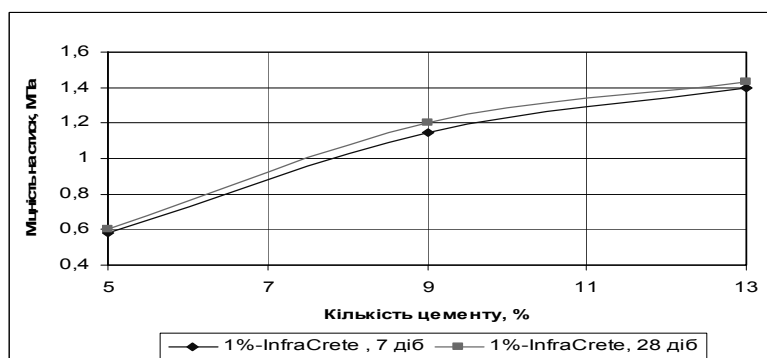


Рис. 6. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів № 4, 5, 6 (грунт № 2 – супісок піщанистий)

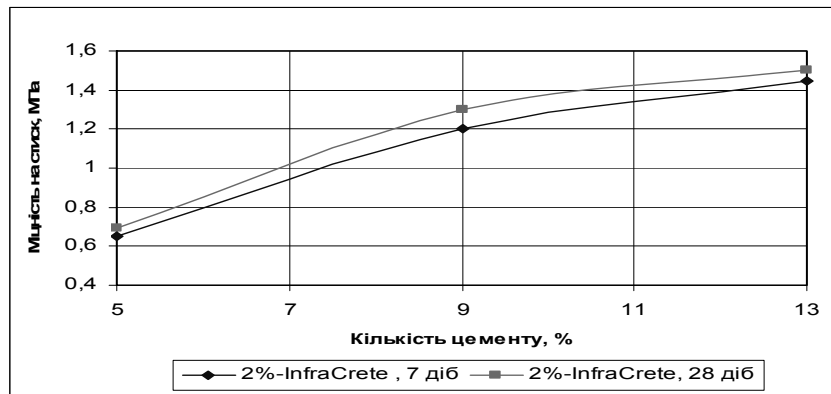


Рис. 7. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete для складів № 7, 8, 9 (грунт № 2 – супісок піщанистий)

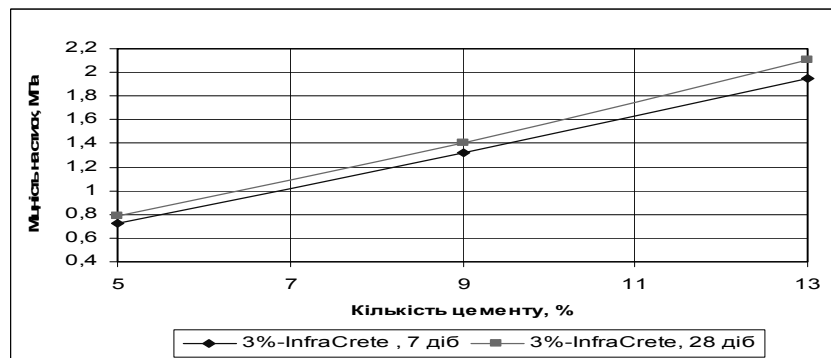


Рис. 8. Залежність межі міцності зразків на стиск від кількості цементу і добавки InfraCrete, для складів № 10, 11, 12 (грунт № 2 – супісок піщанистий)

Проведені дослідження різних складів укріплених ґрунтів показали, що добавка до цементу InfraCrete суттєво впливає на показники міцності.

Міцність зразків із укріпленого супіску пилюватого (проба № 1) при використанні добавки до цементу InfraCrete зростає у порівнянні зі складами № 1, № 2, № 3 (ґрунт + цемент) для складів (із використанням InfraCrete) № 4, 5, 6 на 5-10 %, для складів № 7, 8, 9 на 10-20 %, для складів № 10, 11, 12 на 20-25 %.

Міцність зразків із укріпленого супіску піщанистого (проба № 2) при використанні добавки до цементу InfraCrete зростає порівняно зі складами № 1, № 2, № 3 (ґрунт + цемент) для складів (із використанням InfraCrete) № 4, 5, 6 на 5-10 %, для складів № 7, 8, 9 на 15-35 %, для складів № 10, 11, 12 на 20-45 %.

Висновки

1. Проведені дослідження добавки **InfraCrete®** та виконаний літературний аналіз показали, що ґрунти стабілізовані **InfraCrete®** відповідають вимогам, що

пред'являються до укріплених ґрунтів за як Європейськими вимогами, так і за вимогами стандартів України.

2. Зміна показників міцності ґрунтів укріплених добавкою **InfraCrete®** в межах (5-45%) залежно від кількості добавки та різновиду ґрунту свідчить про можливість активного регулювання його властивостей в конкретних виробничих умовах.

3. Попередні дослідження свідчать про доцільність застосування **InfraCrete®** для виконання будівництва, реконструкції, а також ремонту з метою забезпечення довговічності й економічності споруд, зменшення матеріалоємності та термінів будівництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.2.1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000). Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків. – К., 2002. – 16 с.
2. ГОСТ 5180-84. Ґрунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М., 1986. – 24с.
3. ГОСТ 12536-79. Ґрунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М., 1980. – 24 с.
4. ВБН В.2.3-218-002-95. Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом. – К., 1995. – 46 с.
5. ГОСТ 22733-77 . Ґрунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М., 1979. – 10 с.
6. ГОСТ 23740-79. Ґрунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. – М., 1979. – 21 с.
7. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) . Ґрунти. Класифікація. – К., 1997. – 42 с.
8. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М., 1989. – 32 с.

УДК. 625.143

*Сергій Карпінський
Роман Йосифович
Едуард Даніленко*

НОВІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОВГИХ РЕЙКОВИХ ПЛІТЕЙ ДЛЯ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ РЕЙКОЗВАРЮВАЛЬНИХ МАШИН

Ефективність та експлуатаційна надійність безстикової колії може бути підвищена при скороченні кількості зрівнювальних прольотів за рахунок укладання довгих рейкових плітей. Виходячи із температурної роботи, рейкові пліті можуть бути необмеженої довжини.

Довгі рейкові пліті виготовляються в польових умовах зварюванням між собою рейкових плітей нормальної довжини до 800 м. Тому рейкові пліті звичайної довжини необхідно приварювати послідовно. Рейкозварювальні машини швидко розвиваються, що дає можливість застосовувати нові технології виготовлення довгих рейкових плітей.

Эффективность и эксплуатационная надежность бесстыкового пути может быть повышена при сокращении числа уравнительных пролетов за счет укладки длинных рельсовых плетей. Исходя из температурной работы, рельсовые плети могут быть неограниченной длины.

Длинные рельсовые плети производятся в полевых условиях сваркой между собой рельсовых плетей нормальной длины до 800 м. Поэтому рельсовые плети обычной длины необходимо приваривать последовательно. Рельсосварочные машины быстро развиваются, что дает возможность применять новые технологии изготовления длинных рельсовых плетей.

Efficiency and operational reliability of continuous welded rails can be increased by reducing the number of egalitarian flown by signing long lenghts. Based on the temperature of, lenghts can be of unlimited length.

Long lenghts made in the field welding together rail welding of normal length to 800m. Therefore lenghts usual length to welding consistently. Rail welding machines rapidly, which makes it possible to apply new technologies for production of long lenghts.

Ключові слова: безстикова колія, довгі рейкові пліті, рейкозварювальні машини, метод натягу.

© Карпінський С. Л., Йосифович Р. М., Даніленко Е. І. 2012

Для виготовлення довгих рейкових плітей застосовують в основному два методи: метод попереднього вигину (в горизонтальній чи вертикальній площинах) та метод натягу. Залежно від технічних характеристик рейкозварювальних машин може бути застосована відповідна технологія.

Зараз для виготовлення довгомірних рейкових колій використовується контактне стикове зварювання із застосуванням машин конструкції ІЕЗ ім. Є. О. Патона типу К 355А та К 900.

Машини встановлені на самохідних пересувних комплексах типу ПРЗМ. При цьому використовується технологія зварювання довгомірних плітей з їх попереднім вигином у горизонтальній площині (рис. 1). Необхідність вигину обумовлена тим, що при контактному стиковому зварюванні рейок безперервним оплавленням їх довжина скорочується на 45–55 мм.

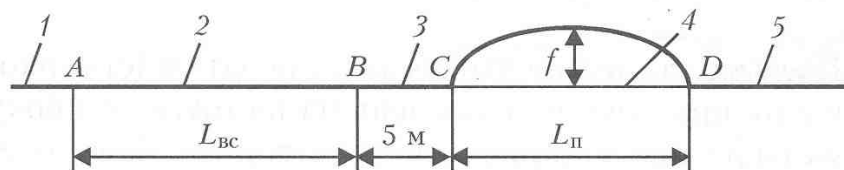


Рис. 1. Схема вигину пліті перед зварюванням при виготовленні її методом часткового розкріплення: 1 – закріплена ділянка пліті, на якій знаходиться ПРЗМ; 2 – вварювана вставка з ослабленими клемами; 3 – пряма ділянка пліті, що приварюється; 4 – ділянка CD зі знятими клемами і вигином; 5 – закріплена пліть; А – перший, В – другий стик зварювання; f – стріла вигину пліті; $L_{вс}$ – довжина ділянки вигину; $L_{вв}$ – довжина вставки, що вварюється

Основним недоліком технології зварювання плітей методом поперечного вигину є те, що роботи при зварюванні повинні проводитись при температурах розрахункового температурного інтервалу закріплення пліті на постійний режим експлуатації. У межах розрахункового температурного інтервалу закріплення пліті встановлюється оптимальний температурний інтервал, який дає можливість зварювання в колії коротких суміжних рейкових плітей у довгу пліть без наступної розрядки напружень.

Для залізниць України згідно з Технічними вказівками [2] встановлений єдиний оптимальний температурний інтервал закріплення довгомірних рейкових плітей безстикової колії на постійний режим експлуатації $t_3 = 30+5^\circ\text{C}$. Зварювальні роботи повинні проводитися при температурах, які відрізняються від t_3 не більше, ніж на 5°C . Якщо відхилення більше, то необхідно проводити розрядку температурних напружень за відповідною технологією. Для цього необхідно звільнити всю пліть довжиною 800 м, встановити її на роликові опори, піддати вібраційним навантаженням і зробити повторне закріплення. При значних відхиленнях робочих температур від заданої у бік зниження передбачене примусове введення в розрахунковий інтервал з використанням спеціальних гідравлічних приладів.

Проведення розрядки температурних напружень у плітях є трудомісткою операцією, що вимагає тривалого закриття руху на перегоні, а в плітях довжиною

до блок-діляниці практично неможливе без розрізання пліті на більш короткі частини. Тому зварювання й ремонт довгих плітей методом поперечного вигину може проводитись у дуже обмеженому температурному інтервалі, що різко скорочує час, сприятливий для проведення робіт.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблена нова технологія виготовлення безстикових рейкових плітей з використанням контактного зварювання, що дозволяє в значній мірі усунути недоліки застосовуваної в цей час технології. У її основу покладено принцип, згідно з яким припуск на оплавлення й осадку реалізується за рахунок розтягнення розкріплених ділянок плітей, які вварюються, і як наслідок цього, після зварювання замикаючого стику у зварених плітях на довжині розкріплення виникають розтягуючі напруження. При цьому вирішується й друга трудомістка частина ремонтних робіт – відновлення заданого рівня температурно-напруженого стану колії на фронті робіт. З'являється можливість одночасно зі зварюванням установлювати в пліті оптимальний рівень розтягуючих напружень у широкому діапазоні температури, при якій виконується зварювання.

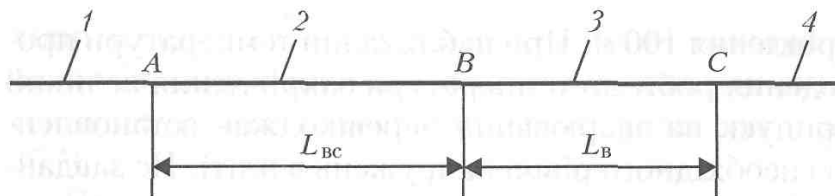


Рис. 2. Схема розкріплення пліті перед зварюванням при відновленні її методом натягу: 1 – закріплена ділянка пліті, на якій знаходиться ПРЗМ; 2 – вварювана вставка з ослабленими клемами; 3 – розкріплена; 4 – закріплена ділянка пліті

При зварюванні з натягом, як і у випадку з попереднім вигином пліті, робота починається з підготовки й зварювання рейкової вставки. Перший стик *A* (рис. 2) зварюють з використанням традиційної технології, після чого проводять складання другого (замикаючого) стику *B*, обрізаючи вставку так, щоб між нею і кінцем пліті був установлений контрольований зазор Δ_0 . Щоб одержати необхідний припуск на зварювання другого стику, рейки з двох або з однієї сторони від місця зварювання звільняють від кріплень на сумарній довжині $L_{\text{в}}$. Звільнення рейок на ділянці, де розташовується пересувний комплекс ПРЗМ менш ефективно, ніж з боку вільної пліті, що пов'язане зі збільшенням сил тертя на ділянці, де рейки мають додаткове навантаження у вигляді ПРЗМ. Тому більш доцільно звільняти рейки тільки на ділянці, де немає ПРЗМ. Звільнені ділянки рейок розтягуються приводом зварювальної машини. Зусилля приводу при зварюванні другого стику, необхідне для розтягування, залежить від довжини звільненої ділянки $L_{\text{в}}$, припуску на зварювання Δ_n та зазору між рейковою вставкою та пліттю Δ_0 :

$$P_p = \frac{\Delta_n + \Delta_0}{L_{\text{в}}} EF, \quad (1)$$

де Δ_n – припуск на зварювання; Δ_0 – зазор між рейковою вставкою та пліттю; E – модуль пружності рейкової сталі; F – площа поперечного перерізу рейки; $L_{\text{в}}$ – сумарна довжина розкріплених ділянок пліті в місці зварювання.

Поява розтягуючого зусилля в пліті після зварювання, що створюється приводом зварювальної машини, відповідає збільшенню температури закріплення щодо температури проведення робіт на ΔT , що розраховується формулою:

$$\Delta T = \frac{P_p}{\alpha E F}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення рейкової сталі; $\Delta T = t_3 - t_{3B}$ – різниця між температурою закріплення пліті й температурою на момент зварювання.

Змінюючи величини Δ_o та L_B , можна встановлювати необхідний рівень розтягуючих напружень у пліті для введення її в температурний інтервал закріплення після ремонту.

Зварювання методом натягу корисніше проводити при більш низьких температурах, ніж розрахунковий інтервал закріплення. Чим нижче температура проведення робіт, тим менша довжина ділянки необхідного розкріплення. При ΔT менш ніж 15°C необхідна довжина розкріплення перевищує 150 м, що нерационально. Для таких умов вигідніше застосовувати технологію поперечного вигину із частковим натягом плітей, тобто частину припуску, необхідного для зварювання, реалізовувати за рахунок вигину рейки, а іншу, необхідну для введення пліті в розрахунковий температурний інтервал закріплення, за рахунок її натягу. На рис. 3 приведена розрахункова залежність необхідного подовження ділянок зварюваних плітей для введення їх в температурний інтервал закріплення і зусилля, необхідні для цього при довжинах розкріплення 60 та 100 м.

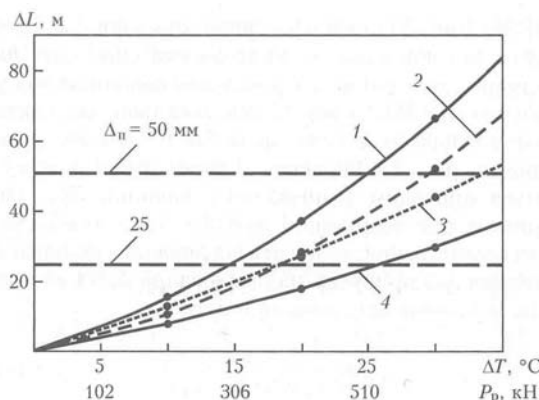


Рис. 3. Розрахункова залежність необхідного подовження ділянок плітей, що зварюються для введення їх у температурний інтервал закріплення, і зусилля, необхідні для цього при довжинах розкріплення 60 та 100 м
(1 – $L_B = 100$ м, $r = 7$ кН/м; 2 – $L_B = 60$ м, $r = 7$ кН/м; 3 – $L_B = 100$ м, $r = 25$ кН/м; 4 – $L_B = 60$ м, $r = 25$ кН/м) згідно [1]

Аналіз залежностей показує, що при зварюванні з використанням традиційної технології безперервним оплавленням припуск на зварювання становить 45-55 мм, роботи по зварюванню з натягом можливо проводити при ΔT більших, ніж $25-35^\circ\text{C}$ при довжині розкріплення 100 м. При наближенні температури проведення робіт до температури закріплення великий припуск на зварювання перешкоджає встановленню необхідного рівня напружень у пліті. В ІЕЗ ім. Є. О. Патона було розроблено методу зварювання пульсуючого оплавлення. При використанні цього

методу припуск на зварювання може бути зменшений до 25-30 мм. Це вирішує проблему зварювання з натягом при температурах зварювання, близьких до температур закріплення і дає можливість розширити температурний інтервал проведення робіт.

Випробування технології зварювання замикаючих стиків з натягом виявило, що при визначенні необхідної величини натягу найбільш зручно варіювати одним параметром – величиною зазору Δ_o при постійній довжині розкріпленої ділянки L_B . Зміна Δ_o від 0 до 25 мм дозволяє змінювати загальне зусилля натягу в межах від 306 до 510 кН (крива 1).

При зварюванні з натягом на відміну від використовуваної технології представляється можливим проводити роботи в широкому діапазоні температур навколишнього середовища, якщо вони не перевищують температуру закріплення.

З рис. 3 видно, що при виконанні зварювальних робіт в інтервалі температур навколишнього середовища від 5 до 30° С максимальне зусилля натягу, необхідне для закріплення плітей у розрахунковому інтервалі, становить приблизно 700 кН, а Δ_o змінюються від 0 до 50 мм. При цьому для одержання якісного з'єднання необхідні зусилля осадки 450-500 кН, припуск при пульсуючому зварюванні приймають 30-40 мм з урахуванням зазору між рейкою-вставкою та пліттю. Гідропривід зварювальної машини повинен забезпечувати загальне зусилля до 1200 кН, а переміщення на величину до 120 мм. Контактні машини типу К 355А, К 900, які випускалися раніше, не забезпечують таких показників.

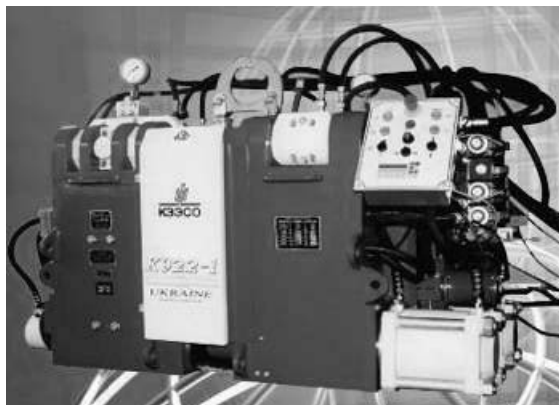


Рис. 4. Підвісна рейкозварювальна машина типу К 922-1

В останні роки в ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблені нові машини типу К 922 (рис. 4), призначені для зварювання рейок з натягом. Основні технічні характеристики наведені в таблиці. Нова машина забезпечує необхідні зусилля натягу у всьому діапазоні можливих режимів зварювання довгомірних плітей при зміні температури навколишнього середовища від 5 до 30° С.

При контактному зварюванні рейок машинами К 355, К 900 у місці інтенсивної деформації їхніх кінців спостерігається наплив зварного шва, яке звичайно зрізують у гарячому стані пристроями, встановленими у рухливу станину зварювальної машини. Після закінчення зварювання один із зажимів зварювальної

машини розтискають і наплав зрізують, використовуючи привід осадки зварювальної машини.

При зварюванні з натягом пліть необхідно утримувати в затиснутому стані при охолодженні до заданої температури, тому що при розтисканні машини на гарячий стик будуть діяти зусилля натягу пліті величиною до 700 кН. Для забезпечення цих умов машина К 922 обладнана пристроєм, який має індивідуальний гідропривід, що дозволяє зрізати грат у гарячому стані відразу ж після закінчення деформації без розтискання звареної пліті.

Підвісні рейкозварювальні машини, розроблені Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона, постійно удосконалюються з урахуванням нових запитів та серійно випускаються Каховським заводом електрозварювального устаткування. Ведеться випуск найбільш масової машини такого класу типу К 900. Ця машина встановлюється на пересувних рейкозварювальних комплексах і використовується при будівництві та реконструкції залізниць. Вона розрахована на зварювання рейок та рейкових плітей довжиною до 150 м, вільно покладених у колію. Машина розвиває максимальне зусилля тяги 45 т, близько 40 т з них використовується власне для виконання зварювання, а решта зусилля, яке розвиває привід, використовується для подолання сил тертя рейки, що приварюється, щодо накладки або щебеню.

За останні роки в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона спільно з Каховським заводом електрозварювального устаткування розроблено нове покоління машин для зварювання рейок на колії, які мають підвищене зусилля приводу тяги. Це знадобилось, передусім, для виготовлення довгомірних рейкових плітей.

Машина К 920 має зусилля тяги 100 т, що дозволяє зварювати на ній пліті завдовжки до 600 м без використання додаткових роликів опор. Дана машина випускається серійно Каховським заводом електрозварювального устаткування з 1997 р.

Задача ефективного зварювання довгомірних плітей існує вже багато років. До 1997 р. ці роботи виконувалися за допомогою машин К 900 та додаткових будівельних механізмів, які здійснюють підтягування пліті.

З появою зварювальних машин К 920 рішення цієї задачі суттєво спростилося, знизилася собівартість даних робіт, так як машина К 920 забезпечує як підтягування рейок так і зварювання плітей поміж собою.

Іншою задачею при виготовленні довгих рейкових плітей безстикової колії є зварювання рейкової вставки, а саме, зварювання замикаючого стику з забезпеченням необхідного натягування пліті. Ці роботи виконуються з використанням машин К 900 і додаткового силового гідравлічного домкрату з тяговим зусиллям 100-120 т.

Таке рішення є дуже дорогим, тому що ціна домкрату сягає 150-200 тис. дол. США і потребує додаткового обслуговуючого персоналу і техніки, з'являються додаткові проблеми синхронізації роботи приводу зварювальної машини і домкрату.

На залізницях України прийнята технологія зварювання ремонтних стиків безстикових колій з попереднім вигином частини рейкової пліті. При цьому використовуються машини типу К 355, К 900. Така технологія малопродуктивна і потребує залучення великої кількості обслуговуючого персоналу, крім того, вона не дозволяє забезпечувати заданий рівень напружень зварювальних плітей і практично

виключає можливість створення після зварювання у пліті необхідних зусиль найбільш сприятливих для роботи в колії.

Для рішення вказаної задачі у ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблено нове покоління підвісних рейкозварювальних машин К 920, призначених для зварювання довгомірних рейкових плітей з їх натягуванням. Відмітною їх ознакою є підвищене зусилля осадки (до 150 т) і наявність вбудованого гратознімача з індивідуальним приводом для зрізання грату (зрізання грату у гарячому стані виконується без розтискання рейок, що приварюються).

Принцип зварювання з натягуванням базується на тому, що контактне зварювання завжди супроводжується укороченням деталей, що зварюються (припуск на оплавлення та тягу). Розмір припусків може бути різним в залежності від прийнятої технології зварювання і площі поперечного перетину рейок. При зварюванні рейок Р65 припуск на зварювання звичайно складає 45-50 мм.

З урахуванням досвіду експлуатації машини типу К 921 згідно [1] було встановлено, що максимальні розтягуючі напруження у пліті не повинні перевищувати 14 % від межі текучості матеріалу рейки. При такому рівні розтягуючих напружень і перепаді температур до 90° С у пліті не з'являються стискаючі напруження і не потрібно виконувати температурної розрядки. З урахуванням непередбачених додаткових втрат на тертя підшви рейки щодо бетонної шпали, особливо на кривих ділянках, загальне зусилля приводу зварювальної машини, необхідне для зварювання плітей з натягуванням, прийнято 120-130 т. Відповідно до цих вимог розроблена ІЕЗ ім. Є. О. Патона спільно з КЗЕЗО машина К 922, серійний випуск якої було розпочато з 2002 р.

Машина К 922 має таке ж конструктивне рішення, як і широко застосовувані машини К 900. Використання сучасних компонентів гідроприводу, систем автоматичного управління дозволило суттєво збільшити зусилля тяги та затискання, що дозволяє використовувати її на існуючих пересувних рейкозварювальних комплексах.



Рис. 5. Колійна рейкозварювальна самохідна машина ПРСМ-3

Випробування машини К 922 у складі пересувного комплексу на пневмоходу типу КСМ-005 проводилися на виробничій ділянці у біля станції Завітна на пікеті № 10 Одеської залізниці 07.07.2003 р. та 09.07.2003 р.

З появою машини К 922 суттєво спрощується зварювання безстикової колії і знижується собівартість даних робіт, тому що машина забезпечує як підтягування рейок, так і зварювання плітей поміж собою без використання попереднього вигину пліті.

Залежно від використаної рейкозварювальної машини може бути застосований один з існуючих методів виготовлення довгомірних плітей:

- при застосуванні машини К 900, К 355 раціональною технологією виготовлення довгомірних плітей є технологія попереднього вигину. Також може бути застосована технологія натягу при зварюванні пліті довжиною до 150 м для зварювання плітей більшої довжини вказаним методом необхідне застосування додаткового силового гідравлічного домкрату з тяговим зусиллям 100-120 т;
- машина К 920 дозволяє зварювати рейкові пліті методом натягу довжиною до 600 м для приварювання рейкової пліті більше 600 м необхідно частково застосовувати метод попереднього вигину та метод натягу;
- машини типу К 921 дозволяє виготовлення рейкової пліті необмеженої довжини методом натягу на прямих ділянках колії, на кривих ділянках колії виникає додаткове тертя підшви рейки у реборди підкладки чи у анкера скріплення КПП-5 тому необхідне застосування більш досконалої рейкозварювальної машини К 922;
- машина К 922 застосовується на нових рейкозварювальних комплексах КРС-1, КСМ-005, ПРЗМ-3 (рис. 5) дозволяє виготовляти рейкові пліті необмеженої довжини методом натягу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів / М.Д. Костюк, В.В. Козак, В.С. Алейник, Ю.В. Швець, О.А. Мазур, Е.І. Даніленко, Я.В. Дубневич та інші. – Київ: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2010. – 216 с.
2. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. ЦП/0081. – К.: Транспорт України, 2002. – 112 с.
3. *Шраменко В.П.* Улаштування та експлуатація безстикової колії з рейковими плітями необмеженої довжини: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – 122 с.
4. ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования» <http://www.kzeso.com/>

УДК 629. 463. 12

*Михайло Кельріх
Вадим Іщенко
Надія Брайковська
Віктор Осьмак*

**ОЦІНКА ТЕПЛОЗАХИСНИХ ЯКОСТЕЙ ЛОКАЛЬНИХ ДІЛЯНОК
В ОГОРОДЖЕННІ КУЗОВА КРИТИХ ВАГОНІВ З
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ**

У статті, на підставі розрахунку місцевого кондуктивного опору, надана оцінка теплозахисних якостей локальних ділянок в огороженні кузова критих вагонів з теплоізоляцією.

В статье, на основании расчета местного кондуктивного сопротивления, дана оценка теплозащитных качеств локальных участков в ограждении кузова крытых вагонов с теплоизоляцией.

In this paper, based on the calculation of the local conduction resistance, heat-shielding properties assessed local areas in the enclosure body covered wagons with insulation.

Ключові слова: критий вагон з теплоізоляцією, огороження кузова вагона, ділянки суцільної ізоляції, теплові містки, середній коефіцієнт теплопередачі, локальний коефіцієнт теплопередачі, термічний опір кондукції.

Вступ. В умовах реформування економіки України змінюються напрями та обсяги перевезень вантажів, збільшуються перевезення нешвидкопсувних продовольчих штучних, тарно-штучних та пакетованих вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів і різких перепадів температур. Умови перевезення даних вантажів потребують формування парку критих вагонів з теплоізоляцією. Для створення і постачання на залізницю критих вагонів з теплоізоляцією відбувається їх розробка, виробництво і випробування, виконуються дослідження теплотехнічних характеристик з метою підвищення теплозахисних якостей огороження кузова. Проводяться теплотехнічні випробування з метою перевірки середнього коефіцієнта теплопередачі огороження кузова вагона і показника його герметичності на відповідність нормативної та конструкторської документації. Попередні випробування дослідних зразків вагонів дають підставу для подальшого дослідження та вдосконалення теплотехнічних якостей кузова вагона.

© Кельріх М. Б., Іщенко В. М., Брайковська Н. С., Осьмак В. Є., 2012

Постановка задачі. При створенні і ремонті вагонів теплотехнічні якості огороження оцінюються за теплотехнічними показниками, до яких належать середній коефіцієнт теплопередачі огороження, коефіцієнт теплопередачі огороження в локальних ділянках, відносна герметичність кузова [1].

Теплоізоляційні якості окремих огорожень кузова вагона оцінюють на підставі визначення коефіцієнтів теплопередачі в локальних ділянках. Герметичність кузова вагона оцінюють за найбільш характерними показниками – коефіцієнтом інфільтрації і площі еквівалентного отвору [1].

Показники герметичності кузова вагона можна визначити в дослідях із створенням надлишкового тиску та його підтримки на заданому рівні, або за швидкістю падіння надлишкового тиску. Для визначення величини показників герметичності необхідні експериментальні дослідження.

У зв'язку з цим, на теоретичному рівні можливо оцінити тільки теплоізоляційні якості огороження кузова вагона за середнім коефіцієнтом теплопередачі огороження і коефіцієнтами теплопередачі в локальних ділянках.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню та аналізу теплозахисних якостей кузова ізотермічних вагонів присвячені роботи Е. Т. Бартоша, Л. Я. Левенталю, Б. Н. Китаєва, Г. І. Вернікова, Н. С. Таймуразова, С. Н. Науменко та ін. Основна увага в роботах приділена розгляду теоретичних основ тепломасообміну через огороження кузова ізотермічних вагонів, розрахунковим методам визначення коефіцієнта теплопередачі, впливу повітрообміну на теплопередачу через огороження кузова вагона, методам і показникам експериментального контролю теплотехнічного стану рефрижераторного рухомого складу, оцінки теплозахисних якостей кузова вагона в експлуатації. При цьому недостатньо розглянуті питання оцінки теплозахисних якостей локальних ділянок в огороженні кузова вагонів з теплоізоляцією.

Мета статті. Оцінка теплоізоляційних якостей локальних ділянок в огороженні кузова критих вагонів з теплоізоляцією.

Основна частина. У теплотехнічному відношенні конструкція огороження кузова вагона представляє багат шарову структуру, що складається з різноманітних матеріалів різноманітної форми і різних теплопровідних властивостей [2].

Наявність чисельних металевих елементів досить складної геометричної форми в багат шарових огороженнях робить практично неможливим точне розрахункове визначення коефіцієнта теплопередачі вагона. Можна говорити лише про методи, що дають найбільш наближення розрахункових і дійсних середніх теплофізичних показників огороження. Якщо розглядати вагон, конструкція кузова якого складається з геометричних сполучених повітронепроникних огорожень, а поверхню кузова розділити на n ділянок щодо однорідної структури, то його теплоізоляційні якості можна оцінити середнім коефіцієнтом теплопередачі приведенного до поверхні огороження кузова за формулою [3]:

$$K = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n K_i H_i, \quad (1)$$

де K – середній коефіцієнт теплопередачі кузова вагона, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

H – площа тепло-передавальної поверхні кузова вагона, м^2 ;

K_i – коефіцієнт теплопередачі i -ї ділянки кузова вагона, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

H_i – площа теплопередавальної поверхні i -ї ділянки кузова вагона, м^2 .

Для оцінки теплоізоляційних показників вагона багат шарову структуру огорожень кузова розділимо на локальні ділянки суцільної ізоляції і теплових містків. Через теплові містки проходить підвищена кількість теплоти і тому їх теплотехнічні якості поступаються ділянкам суцільної ізоляції. Кількість, структура і площа ділянок теплових містків підлоги, стін, дахи залежать від конструкції вагона. Основні елементи конструкції критого вагона з теплоізоляцією, які створюють теплові містки в огороженні кузова, наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Теплові містки в огороженні критих вагонів з теплоізоляцією

Огороження вагона	Елементи конструкції вагона в структурі теплових містків
Підлога	– поздовжні балки; – поперечні балки; – місця перетину поздовжніх і поперечних балок; – бічні балки
Бічні і торцеві стіни	– стійки; – дерев'яні бруси
Дах	– центральний швелер; – бічні швелери; – стик даху із стінами; – дуга даху

Аналіз конструкції критих вагонів з теплоізоляцією дає підстави стверджувати, що в загальній площі теплопередавальних поверхонь огорожень кузова, площа ділянок теплових містків складає до $H_{\partial i} = 22\%$, а площа ділянок суцільної ізоляції до $H_{\zeta} = 78\%$.

Значення площі ділянок теплових містків у елементах огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією приведені на рис. 1.

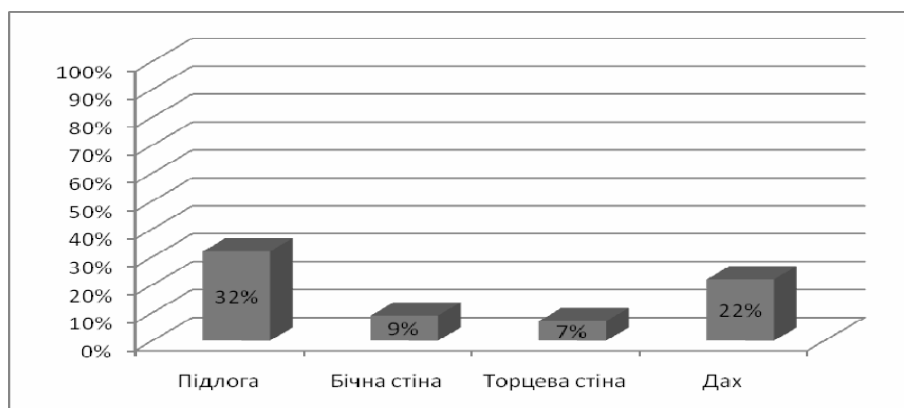


Рис. 1. Значення площі ділянок теплових містків у % від теплопередавальної поверхні огороження кузова вагона

Істотний вплив на теплоізоляційні якості вагона надає теплопровідність матеріалів елементів огороження кузова. Вирішальна роль у цьому відношенні належить тепловій ізоляції. Володіючи великим термічним опором шар ізоляції різко зменшує тепловтрати і теплопритоки у вагон. Достатнього розвитку по товщині й об'єму ізоляція перешкоджає повітрообміну з навколишнім середовищем.

Матеріали основних елементів огорожень кузова вагона і їх теплопровідність приведені в табл. 2. [4]

Таблиця 2. Теплопровідність матеріалів елементів огорожень кузова вагона

Найменування матеріалів	Коефіцієнт теплопровідності λ , $Bm/m \cdot K$
Сталь	58,18
Дерево	0,140
Пінополіуретан	0,029
Картон	0,040
Скловолокно	0,291

Локальний коефіцієнт теплопередачі характеризується кількістю теплоти, що проходить крізь окрему ділянку огороження кузова вагона. Для визначення локального коефіцієнта теплопередачі ділянки багат шарової плоскої стінки огороження кузова вагона застосовується вираз [1]:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\beta} + \sum_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_n}} = \frac{1}{R_a + R_\lambda}, \quad (2)$$

де α_β – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої обшиви до повітря в вагоні, $Bm/m^2 \cdot K$;

δ_j – товщина i -го шару, m ;

λ_j – коефіцієнт теплопровідності i -го шару, $Bm/m \cdot K$;

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої обшиви, $Bm/m^2 \cdot K$;

R_a – термічний опір конвекції, $m^2 \cdot K/Bm$;

R_λ – термічний опір кондукції, $m^2 \cdot K/Bm$.

$$R_a = \frac{1}{\alpha_\beta} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (3)$$

$$R_\lambda = \sum_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\lambda_j}, \quad (4)$$

Припустимо, що різниця температур повітря зовнішнього T_3 і у вагоні T_6 зберігає незмінне значення по поверхні, тобто

$$(T_B - T_3)_i = T_3 - T_B = \text{const}, \quad (5)$$

Тоді в умовах рівності температурних напорів можна прийняти постійними по поверхні вагона величини a_β і a_n , тобто постійний конвективний термічний опір

$$R_a = \frac{1}{a_\beta} + \frac{1}{a_n} = \text{const}. \quad (6)$$

Це значить, що задача визначення локального коефіцієнта теплопередачі елемента поверхні K_i зводиться до розрахунку величини місцевого кондуктивного опору R_a , що визначається за формулою (4).

Розрахунки показують, що з урахуванням структури огорожень і теплопровідності матеріалів критих вагонів з теплоізоляцією середнє значення локального коефіцієнта теплопередачі ділянок суцільної ізоляції приведенного до поверхні огорожень кузова вагона складає до $K_{iz} = 40\%$ від значення середнього коефіцієнта теплопередачі огороження кузова вагона, а для ділянок теплових містків до $K_{mm} = 60\%$.

Це дає підставу стверджувати, що на теплотехнічні показники огорожень кузова вагона істотний вплив робить кількість і площа, структура і матеріали конструкції теплових містків.

Не зачіпаючи суть фізичних властивостей перенесення теплоти через огороження, слід зазначити, що найбільший вплив на величину локального коефіцієнта теплопередачі K_i , а отже, на середній коефіцієнт теплопередачі огороження вагона K , надає коефіцієнт теплопровідності λ_{iz} і товщина шару ізоляції δ_{iz} . Задавшись величиною локального коефіцієнта теплопередачі K_i і матеріалом теплоізоляційного шару, можна оцінити необхідну товщину теплоізоляційного матеріалу в локальній ділянці огороження за формулою [3]:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[\frac{1}{K_i} - \left(\frac{1}{a_H} + \sum_{j=1}^{m-1} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{a_B} \right) \right], \quad (7)$$

де δ_{iz} – товщина шару ізоляції, м;

λ_{iz} – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, Вт/м·К;

K_i – локальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

a_H – коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього повітря до зовнішньої обшивки, Вт/м²·К;

δ_j – товщина j -го шару огороження, м;

λ_j – коефіцієнт теплопровідності j -го шаруючи огороження, Вт/м²·К;

a_B – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої обшивки до повітря у вагоні, Вт/м²·К.

ВИСНОВКИ

1. У теплотехнічному відношенні конструкція огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією представляє багат шарову структуру, що складається з різнорідних матеріалів різноманітної форми і різних теплопровідних властивостей та містить ділянки суцільної ізоляції і теплових містків.
2. В загальній площі теплопередаючих поверхонь кузова критих вагонів з теплоізоляцією площа ділянок суцільної ізоляції складає до 78 %, а площа ділянок теплових містків до 22 %.
3. Враховуючи структуру огороження і теплопровідність матеріалів середнє значення локального коефіцієнта теплопередачі ділянок суцільної ізоляції віднесеного до поверхні огороження кузова вагона становить $\hat{E}_{ic} = 40\%$ від значення середнього коефіцієнта теплопередачі огороження кузова вагона $\hat{E}$, а для ділянок теплових містків $\hat{E}_{oi} = 60\%$
4. Встановлене значення локального коефіцієнта теплопередачі $\hat{E}_s$ і теплофізичні властивості матеріалу теплоізоляційного шару дають можливість визначити необхідну товщину теплоізоляційного матеріалу в локальній ділянці огороження кузова вагона.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бартош Е. Т. Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 304 с.
2. Недужий И. А. Техническая термодинамика и теплопередача / И. А. Недужий, А. Н. Алабовский // – К. : Вища школа, 1987. – 224 с.
3. Левенталь Л. Я. Энергетика и технология хладотранспорта / Л. Я. Левенталь, Н. Е. Лысенко, Д. И. Сучков, А. Хенаг. Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта // Под редакций Л. Я. Левенталья. – М.: Транспорт, 1993. – 228 с.
4. Китаев Б. Н. Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.

УДК 625.1.032.3

Валерій Косарчук
Олександр Агарков

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РЕЛЬСОВ
ПО КРИТЕРИЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН
КОНТАКТНОЙ УСТАЛОСТИ**

Рассмотрены основные элементы методики прогнозирования долговечности рельсов по критерию возникновения внутренних контактно-усталостных трещин, основанной на применении кинетической теории повреждаемости и моделей упругопластического деформирования материалов.

Розглянуто основні елементи методики прогнозування довговічності рейок за критерієм виникнення внутрішніх контактно-втомлювальних тріщин, яка опирається на застосування математичних моделей пружнопластичного деформування матеріалів.

Basic elements of method to predict lifetime of the rail by internal fatigue crack criterion based on application of mathematical model of elasto-plastic deformation of material are considered.

Ключевые слова: рельсы, долговечность, повреждаемость, модели деформирования.

Контактно-усталостные повреждения и износ головки рельса являются одними из основных причин отказов рельсов (по некоторым данным около 80% отказов рельсов связаны с дефектами, причиной возникновения которых является накопление контактно-усталостных повреждений [1, 2, 3]). Такого рода повреждения приводят к образованию поверхностных и внутренних трещин в головке рельса, механизмы образования и кинетика развития которых различаются между собой. Развитие поверхностных трещин с последующим отслаиванием частиц материала является одним из основных механизмов износа головки рельса при контактном взаимодействии с колесами подвижного состава (рис. 1, а). На прямых участках пути такие трещины чаще всего образуются в центральной части головки каждого рельса, на криволинейных – также и на боковой рабочей грани головки внешнего рельса. Основной причиной появления таких трещин принято считать истощение пластических свойств материала в результате повторно-переменного пластического деформирования поверхностных слоев головки рельса.

© Косарчук В. В., Агарков А. В., 2012

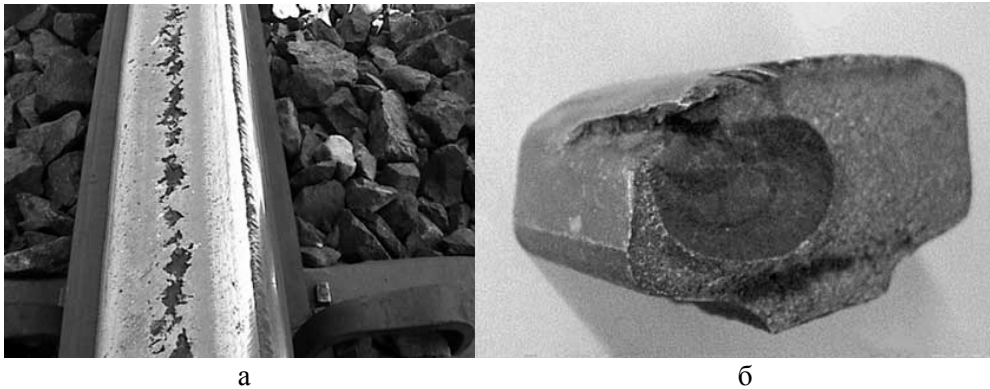


Рис. 1. Дефекты рельсов контактно-усталостного происхождения

Изучению износа рельсов посвящено множество работ, однако математических моделей, позволяющих прогнозировать указанный процесс с достаточной степенью точности, до настоящего времени не создано. В основном такие модели представляет собой аналитические аппроксимации результатов длительных наблюдений за износом рельсов на различных участках дорог [4]. При этом под износом, как правило, понимаются количественные изменение размеров и формы головки рельса, связанные не только собственно с износом (удалением частиц материала), но и с ее пластическим деформированием. Указанные аппроксимации используются для оценки влияния эксплуатационных характеристик (пропущенного тоннажа, радиуса кривых рельсового пути, нормативной твердости рельсов, нормативных осевых нагрузок подвижного состава, уклона продольного профиля пути и т.п.) на степень износа. Хотя такой подход и не позволяет сделать обобщающие выводы, он может быть использован для определения сроков ремонтных работ на конкретных участках дороги.

Созданию таких моделей предшествуют годы наблюдений для накопления необходимой статистики, поэтому в настоящее время в большинстве стран отказываются от продолжения такого рода исследований, отдавая предпочтение разработке методов прогнозирования износа рельсов на основе математических моделей деформирования материалов.

Однако возможности математического моделирования износа пока весьма ограничены из-за необходимости рассматривать объемные упруго-пластические задачи в геометрически нелинейной постановке при достаточно неопределенных силовых воздействиях. Кроме того, следует учитывать вклад и других видов износа (абразивный, адгезионный, коррозионный), математическое моделирование которых также представляет известные трудности.

Более перспективным представляется использование математических моделей для прогнозирования образования внутренних трещин.

Что касается внутренних трещин, то механизм их образования и развития всецело зависит от характера изменения напряженно-деформированного состояния головки рельса в процессе эксплуатации, чистоты материала рельса и наличия технологических дефектов. Такие трещины (продольные, наклонные, поперечные) могут зарождаться на глубинах 4 ... 16 мм [5, 6] от поверхности катания. Чаще всего это происходит в зонах концентрации напряжений,

обусловленных наличием различного рода включений либо технологических дефектов. Дальнейшее их развитие и продвижение вглубь головки может привести к полному разрушению рельса (рис. 1, б).

Исследование причин их возникновения и механизмов развития началось еще с 30-х годов прошлого века, этим вопросам посвящено множество работ, в основном, экспериментального характера.

В настоящее время является общепризнанным мнение о том, что основной причиной появления внутренних трещин является накопление пластических деформаций под действием циклически изменяющихся напряжений. Косвенно об этом свидетельствуют и данные об изменении уровня остаточных напряжений [7] и твердости [8], измеренных в поперечном сечении рельса, в процессе эксплуатации. Наибольшие изменения указанных величин происходят на поверхности головки рельса и на некоторой глубине (3 ... 10 мм в зависимости от условий нагружения) от поверхности катания. По некоторым данным [5] такие трещины могут возникать уже на ранних стадиях эксплуатации рельсов (например, в кривых радиусом 400 ... 100 м трещины размером несколько миллиметров обнаруживали после пропуска 40 ... 70 млн. тонн брутто). Учитывая, что наличие внутренних трещин на ранних стадиях их развития плохо поддается диагностированию применяемой аппаратурой [5], создание методики прогнозирования долговечности рельсов по критерию возникновения внутренних трещин представляет большой научный и практический интерес.

В течение последних 15 лет эта задача является областью активных научных исследований [9 – 15]. Учитывая важность этой проблемы, Европейская комиссия объединила усилия ряда европейских стран в разработке такой методики (проект INNOTRACK [16]). Кроме железнодорожных компаний Германии, Франции, Великобритании, Чехии участниками проекта также являлись несколько крупных фирм-производителей рельсов и ряд европейских университетов. Проектом INNOTRACK предусматривалось, в частности, не только разработка математических моделей прогнозирования долговечности рельсов, но и разработка специальных стендов для их экспериментальной проверки.

Современный подход к оценке долговечности элементов конструкций основан на концепции повреждаемости материала, которая и положена в основу разрабатываемой методики [17].

Под повреждаемостью материала понимаются необратимые изменения в структуре материала, происходящие в процессе эксплуатации. Кинетический аспект разрушения особенно ярко проявляется в условиях длительного либо циклического нагружения. Физическая трактовка повреждаемости неоднозначна. В качестве меры повреждаемости предлагалось использовать плотность дефектов, изменение объема, связанное с разрыхлением материала, изменение модуля упругости, электросопротивления, внутреннего трения и др. параметры. Достаточно полный обзор предложенных мер повреждаемости и способов их экспериментальной оценки приведен в работе [18].

При построении математических моделей удобнее пользоваться феноменологической трактовкой повреждаемости. В этом случае степень поврежденности материала связывают с величинами, которые фигурируют в модели – напряжениями, деформациями, их комбинациями либо другими параметрами. При этом параметр поврежденности может быть представлен в зависимости от модели в скалярном, векторном или тензорном виде. В общем

случае кинетическое уравнение, описывающее процесс накопления повреждений, может быть представлено в виде $\frac{d\omega}{d\xi} = f[\omega(\xi), q(\xi)]$, где $\omega(\xi)$ – повреждаемость; $q(\xi)$ – некоторая функция, характеризующая историю нагружения; ξ – параметр, имеющий смысл наработки, которой можно ставить в соответствие время эксплуатации, число циклов нагружения, накопленную деформацию, пропущенный тоннаж и т.п.

Если поврежденность является скалярной функцией, то без ограничения общности можно считать, что $0 \leq \omega \leq 1$. При $\omega = \omega_0$ (ω_0 – исходная поврежденность материала, связанная с наличием технологических дефектов) эксплуатационных повреждений конструкция не имеет и ее реальный ресурс будет равен расчетному. Предельное состояние или потеря несущей способности конструкции (в нашем случае момент образования трещины) достигается при условии $\omega_p = 1$.

Так, например, при одноосном циклическом деформировании с постоянным значением уровня напряжений единственным параметром, определяющим процесс накопления повреждений, будет напряжение σ , а аргументом – число циклов нагружения N . Тогда кинетическое уравнение принимает вид

$$\frac{d\omega}{dN} = q(\sigma). \quad (1)$$

После интегрирования получим условие предельного состояния ($\omega_p = 1$)

$$\int_0^{N_p} q(\sigma) dN = 1, \quad (2)$$

где N_p – число циклов до разрушения. Условие (2) выполняется в том случае, если $q(\sigma) = \frac{1}{N_p}$. Следовательно, для стационарного режима нагружения имеем

$$\frac{d\omega}{dN} = \frac{1}{N_p}. \quad (3)$$

Если величина напряжения меняется (нестационарный режим нагружения), то накопленное повреждение находят, принимая ту или иную гипотезу суммирования повреждений, простейшей из которых является линейная. Так, в случае нестационарного режима с дискретным изменением напряжения (так называемое блочное нагружения) на основании линейной гипотезы суммирования повреждений из (3) следует, что

$$\omega = \sum_{i=1}^k \Delta\omega_i = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{(N_p)_i}. \quad (4)$$

Здесь k – число ступеней нагружения с различным значением напряжения, N_i – количество циклов нагружения для i -й ступени, $(N_p)_i$ – число циклов до

разрушения при напряжении $\sigma = \sigma_i$ (определяется по экспериментально полученной кривой усталости).

Концепция повреждаемости в изложенном варианте может применяться для описания различных процессов – статического нагружения, ползучести, много- и малоциклового усталости. Соответствующие модели накопления повреждений должны базироваться на экспериментально обоснованном законе суммирования повреждений, а в качестве аргумента содержать достаточно представительную меру поврежденности.

Обзор известных критериев предельного состояния, а также методов суммирования повреждений можно найти в работе [19]. По характеру выбора аргумента кинетического уравнения их принято разделять на несколько категорий:

- силовые критерии;
- деформационные критерии;
- энергетические критерии;
- критерии, основанные на концепции критической плоскости.

Недостаток экспериментальных данных о механическом поведении материалов (в особенности рельсовых сталей) в условиях непропорционального циклического нагружения не позволяет в полной мере подтвердить пригодность того или иного критерия для оценки долговечности элементов железнодорожных конструкций. Тем не менее, анализ известных экспериментальных результатов позволяет утверждать, что наиболее перспективными для прогнозирования долговечности рельсов являются критерии, обобщающие концепцию критической плоскости с энергетическим подходом, в частности, критерий [20].

Критерии, основанные на концепции критической плоскости, обобщают результаты экспериментальных наблюдений за зарождением и распространением трещин в процессе нагружения. Такие модели позволяют не только оценить усталостную долговечность конструкции, но и предсказать место зарождения и ориентацию начальной трещины. Выбор конкретного критерия зависит от ожидаемого вида разрушения (отрывом, сдвигом и т.д.), типа материала и характера термостатического нагружения. В критериях [21, 22] ответственными за наступление разрушения считаются касательные напряжения. Материальная плоскость, в которой действуют максимальные касательные напряжения, будет являться плоскостью распространения трещины.

В некоторых вариантах энергетических критериев предполагается, что трещина зарождается и растет в направлении наибольшего значения плотности энергии деформации [23].

Объединить преимущества указанных подходов удалось в работах [20, 24]. Так, в работе [20] в качестве параметра повреждаемости используется так называемый параметр усталости FP , зависящий и от нормальных (разрушение отрывом) и от касательных (разрушение сдвигом) напряжений:

$$FP = \langle \sigma_{\max} \rangle \frac{\Delta \varepsilon}{2} + J \Delta \tau \Delta \gamma. \quad (5)$$

Здесь скобки $\langle \dots \rangle$ обозначают оператор $\langle x \rangle = \frac{|x| + x}{2}$; $\sigma_{\max}$ – наибольшее напряжение, нормальное к плоскости распространения трещины; $\Delta \varepsilon$ – размах

нормальной деформации в направлении действия $\sigma_{\max}$; $\Delta\tau$ и $\Delta\gamma$ – размахи касательных напряжений и сдвиговых деформаций в плоскости распространения трещины; J – параметр материала, зависящий от вида нагружения.

Плоскость распространения трещины (критическая плоскость) определяется как материальная плоскость с наибольшим значением параметра усталости. Если все главные напряжения являются сжимающими (например, в центре пятна контакта), то $FP = J\Delta\tau\Delta\gamma$ и критическая плоскость совпадает с плоскостью действия максимальных касательных напряжений. Если же хотя бы одно из главных напряжений является растягивающим, то ориентация критической плоскости зависит от соотношения максимальных нормальных и касательных напряжений. В любом случае для нахождения ее ориентации необходимо определить положение главных осей тензора напряжений, что можно сделать по известным формулам [25].

На экспериментальных кривых усталостной долговечности обнаруживаются два отчетливо выраженных участка [17]. На первом участке макроскопические пластические деформации отсутствуют и повреждаемость связывают с размахом упругих деформаций – это область многоциклового усталости. Второй участок охватывает область малых долговечностей – это область малоциклового усталости, в которой определяющим механизмом повреждаемости является накопление макроскопической пластической деформации. Оба участка кривой усталостной долговечности хорошо аппроксимируются экспоненциальными зависимостями и в двойных логарифмических координатах могут быть представлены отрезками прямых (прямые 1 и 2 на рис. 2). Для многих металлов и сплавов точка пересечения указанных прямых приблизительно соответствует долговечности в 10^4 циклов [26]. Для практических расчетов, в частности при оценке долговечности рельсов и колес подвижного состава, важным оказывается знание поведения материала в области одновременного действия указанных выше механизмов накопления повреждений (кривая 3 на рис. 2).

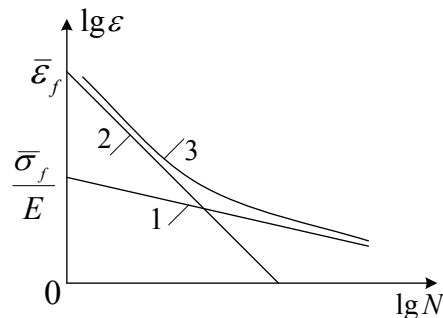


Рис. 2. Зависимость долговечности от амплитуды циклического деформирования при жестком нагружении

Поэтому в соответствии с рекомендациями работы [16] число циклов до разрушения (долговечность N_f) при регулярном циклическом нагружении будем определять из уравнения

$$(FP)_{\max} = \frac{(\bar{\sigma}_f)^2}{E} (2N_f)^{2b} + \bar{\sigma}_f \bar{\varepsilon}_f (2N_f)^{b+c}, \quad (6)$$

правая часть которого описывает кривую усталостной долговечности при одноосном нагружении в переходной зоне (кривая 3 на рис. 2). Здесь E – модуль упругости; смысл параметров $\bar{\sigma}_f$ и $\bar{\varepsilon}_f$ виден из рис.2. Остальные параметры определяются методом наименьших квадратов при аппроксимации кривой усталостной долговечности материала, полученной в условиях одноосного циклического нагружения (растяжения-сжатия либо кручения) с контролем амплитуды деформации (т. наз. жесткое нагружение).

Следует иметь в виду, что в условиях многоосного непропорционального циклического упругопластического нагружения, которое характерно при контактном взаимодействии рельсов и колес, кроме усталостных повреждений могут накапливаться также квазистатические повреждения, связанные с явлением одностороннего накопления деформаций в каком-либо направлении (циклическая ползучесть) [13]. В случае одноосного нагружения циклическая ползучесть наблюдается в том случае, если среднее напряжение цикла отлично от нуля. При непропорциональном циклическом нагружении это явление слабо изучено, хотя известно, что необратимое накопление деформаций наблюдается в тех случаях, когда одни компоненты тензора напряжений постоянны, а другие циклически изменяются (например, циклическое кручение при постоянном сжимающем напряжении).

Большинство рельсовых сталей (среднеуглеродистые малолегированные стали) относится к классу циклически стабилизирующихся материалов. Это означает, что с увеличением числа циклов нагружения скорость изменения их механических свойств постепенно уменьшается. На рис. 3 показана кривая деформирования рельсовой стали 900А (среднеуглеродистая сталь с перлитной структурой, широко используется в европейских странах при изготовлении рельсов типа UIC 60, другое обозначение – R260 по стандарту DIN EN 13674) в условиях одноосного растяжения-сжатия в режиме жесткого нагружения [27]. Из рисунка видно, что наибольшее упрочнение стали происходит на нескольких первых циклах деформирования (для большинства материалов такого класса это 8 ... 10 циклов), а далее петля пластического гистерезиса практически не меняется.

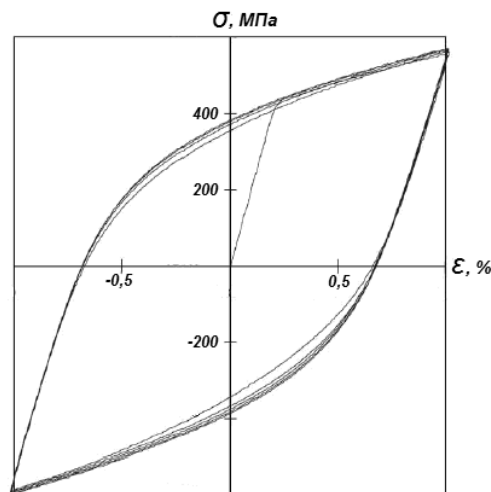


Рис. 3. Кривая циклического деформирования рельсовой стали [27]

Факторов, влияющих на скорость стабилизации механических свойств материала, достаточно много (вид напряженного состояния, форма цикла, наличие выдержек, температура, частота и др.) и их влияние недостаточно изучено экспериментально. Тем более это касается обширной номенклатуры отечественных рельсовых сталей, для которых в действующих стандартах [28] обусловлены лишь некоторые стандартные механические характеристики.

Для оценки общей поврежденности необходимо суммировать повреждения, имеющие различную природу. Для этого используют различные правила суммирования повреждений, достаточно полный обзор которых можно найти в работе [19]. Повреждения, вызванные упругим деформированием (многоцикловая усталость) очевидно должны быть меньше повреждений, вызванных упругопластическим деформированием (малоцикловая усталость и циклическая ползучесть). По этой причине некоторые исследователи [9] не принимают их во внимание при подсчете общей поврежденности. По-видимому, окончательный вывод здесь можно сделать после расчета кинетики напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции и определения вклада повреждений различной природы в общую оценку. Поэтому в первом приближении можно ограничиться рассмотрением лишь повреждений от малоциклового усталости и правилом линейного суммирования повреждений в форме (4). При этом повреждение за i -й цикл нагружения определяется как

$$\Delta \omega_i = \frac{1}{(N_f)_i}, \text{ где долговечность } N_f \text{ при текущем уровне напряжений и}$$

деформаций находится из решения нелинейного уравнения (6) учетом (5).

Основные положения методики оценки долговечности рельсов на основе расчета кинетики их напряженно-деформированного состояния при взаимодействии с колесами подвижного состава приведены в работе авторов [29]. Там же были сформулированы некоторые требования к выбору расчетной схемы задачи. Авторы отдают себе отчет в том, что рассмотренная ниже схема не вполне отражает реальные условия работы конструкции. В то же время усложнение расчетной схемы для учета различных факторов следует осуществлять поэтапно, после тщательного анализа результатов решения на каждом этапе.

Для расчета кинетики напряженно-деформированного состояния рельсов использовали метод конечных элементов (МКЭ). Напомним, что при построении расчетной схемы задачи в МКЭ следует сформулировать геометрическую модель, модель краевых условий и модель деформирования материала.

Исходными данными для построения геометрической модели служили рельс Р65 [28] и локомотивное колесо с диаметром по кругу катания 957 мм [30]. Рассматривали прямолинейный участок рельсового пути длиной 6 м, по которому движется с малой скоростью (динамические эффекты не учитываются) двухосная тележка ЦНИИ-ХЗ-0 с межосевым расстоянием 1850 мм. Рельсы уложены с подуклонкой 1:20 на бетонных шпалах с эпюрой 1667 шт/км (межшпальное расстояние $d=60$ см), крепления типа КПП-5. Осевая нагрузка составляла 200 Кн. Что касается характеристик механических свойств материала, то в действующих стандартах нет данных об упругопластических свойствах рельсовых и колесных сталей даже при простом растяжении, тем более при циклическом деформировании. Поэтому расчеты проводились с использованием механических характеристик углеродистой стали перлитного класса BS 11 [32],

которые приведены в таблице 1. Это, кстати, позволило дать качественную оценку полученных в настоящем исследовании результатов, поскольку механические характеристики этой стали использовали также и в работах [9, 31], но для других типов рельсов и условий нагружения.

Таблица 1. Механические характеристики материала рельса

E , МПа	ν	σ_T , МПа	b	c	$\bar{\varepsilon}_f$, %	$\bar{\sigma}_f$, МПа	ε_c , %	J
$2,1 \cdot 10^5$	0,3	480	-0,089	-0,559	10,3	936	11,5	0,2

Механическое поведение материала колеса предполагали упругим с параметрами упругости $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu=0,3$.

В соответствии с ранее принятой методикой [29] расчет полей напряжений и деформаций рельса в процессе движения колеса по рельсу осуществляли в несколько этапов, используя на каждом этапе разные геометрические модели. Поскольку рельс испытывает блочное циклическое нагружение (один блок соответствует проходу через расчетное сечение рельса одной двухосной тележки), то вид напряженного состояния в расчетном сечении рельса зависит от положения по отношению к нему колес тележки.

Когда ведущее колесо тележки находится на расстоянии около трех межшпальных расстояний, в расчетном сечении возникают напряжения от продольного изгиба рельса. Их величина зависит, в частности, от жесткости основания (напомним, что в этом случае оправдано применение расчетной схемы рельса в виде балки на сплошном упругом основании). Если указанное расстояние составляет около двух межшпальных расстояний, то к напряжениям от продольного изгиба добавятся напряжения от кручения рельса, связанные с внецентренным приложением осевой нагрузки. При этом максимальные эквивалентные напряжения в правильно спроектированном пути не должны превышать допускаемых напряжений, обеспечивая упругое поведение материала рельса.

Для расчета полей напряжений и деформаций на этих этапах нагружения использовали трехмерную геометрическую модель рельса длиной 6 метров (такая длина была выбрана для того, чтобы условия закрепления торцов рельса не влияли на напряженно-деформированное состояние в расчетном сечении) на сплошном упругом основании. Сетка конечных элементов была достаточно разреженной, за исключением зоны длиной 20 см, содержавшей расчетное сечение рельса, в которой для обеспечения достаточной точности расчета сетка сгущалась. Характеристики упругого основания задавались жесткостью в продольном ($9,7 \cdot 10^7$ Н/м) и вертикальном ($3,75 \cdot 10^7$ Н/м) направлениях [33]. Нагрузка задавалась в виде двух вертикальных сосредоточенных сил величиной в 100 кН, приложенных по оси симметрии поперечного сечения рельса. Эксцентриситет приложения сосредоточенных сил в данном случае отсутствовал (это следует из анализа решения контактной задачи). Расстояние между силами соответствовало межосному расстоянию тележки. Расчеты проводились для четырех различных положений тележки относительно расчетного сечения [29].

Результаты расчета кинетики напряженно-деформированного состояния в опасной точке расчетного сечения показали, что на этих этапах нагружения пластические деформации не возникают. Положение опасной точки также определяли при решении контактной задачи (см. ниже). Из других результатов отметим, что максимальный вертикальный прогиб рельса составил 1,36 мм, что вполне соответствует данным работы [33].

Для определения полей напряжений и деформаций в зоне контакта рельса с колесом использовали другую геометрическую модель, которая представляла собой участок рельса длиной 600 мм с шарнирными опорами на торцах, что обеспечило учет влияния прогиба рельса на величину пятна контакта. В центральной части рельса была выделена область, которая в три раза превышала по размерам ожидаемую площадку контакта. В этой области сетку конечных элементов сгущали (фрагмент сетки, содержащий расчетное сечение рельса, показан на рис. 3). Задачу решали в трехмерной упругопластической постановке в два этапа.

Известно, что точность решения задачи в МКЭ сильно зависит от размера конечных элементов (при уменьшении размеров точность возрастает). В то же время при уменьшении размеров элементов резко возрастает их количество, что приводит к значительному росту вычислительных затрат на решение задачи либо к невозможности решения задачи с помощью применяемого программного обеспечения.

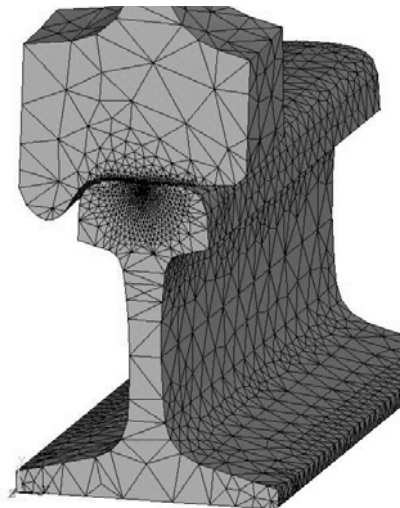


Рис. 3. Фрагмент сетки конечных элементов для решения контактной задачи

Поэтому на первом этапе расчета определяли оптимальный размер конечных элементов. С этой целью задачу сначала решали в упругой постановке, сравнивая результаты численного решения с аналитическим решением, полученным для случая контакта двух упругих цилиндров с взаимно перпендикулярными осями (решение Герца) [34]. Рассматривали только статическую вертикальную нагрузку на колесо (100 кН), которую прикладывали в виде равномерно распределенного нормального давления на внутреннюю поверхность ступицы колеса. Оказалось, что при среднем размере конечных элементов в области сгущения (имеется в виду средняя длина ребер тетраэдров) порядка 0,5 мм, отличие полученного решения

от аналитического не превышает 4%. При этом максимальное контактное давление составило 988 МПа, размеры пятна контакта (размеры полуосей эллипса) – 13,6х13,58 мм. Форма площадки контакта близка к окружности, что объясняется близостью радиусов головки рельса и колеса (по кругу катания). Центр пятна контакта расположен на оси симметрии поперечного сечения рельса, что объясняется совпадением величин конусности колеса и подуклонки рельса.

Дальнейшее уменьшение размеров конечных элементов несколько улучшает решение, однако в связи со значительным ростом их количества время решения задачи увеличивается до нескольких часов. При увеличении размеров конечных элементов в области пятна контакта качество решения резко ухудшается, могут наблюдаться скачки напряжений, обусловленные плохим сглаживанием поверхностей и возникновением ложных точек контакта.

На втором этапе решали упругопластическую задачу для выбранной геометрической модели. Кривая деформирования и другие характеристики упругопластических свойств материала рельса приведены в работе [32].

При указанных условиях нагружения в головке рельса возникают пластические деформации, что приводит к некоторому увеличению размеров контактной площадки и заметному уменьшению контактных давлений (рис. 4) по сравнению с упругим решением.

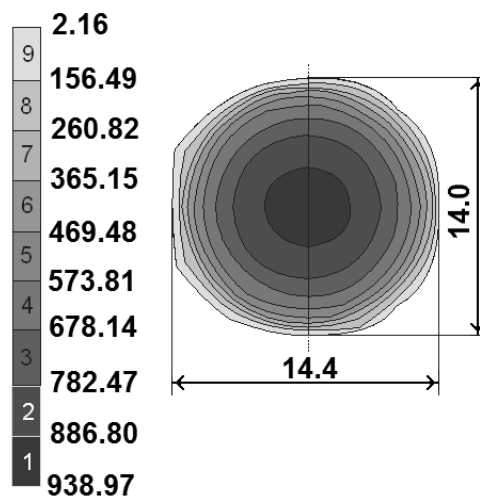


Рис. 4. Распределение контактных давлений на поверхности рельса

Зона, в которой происходит пластическое деформирование, располагается внутри головки рельса на небольшом расстоянии от поверхности. Точка, в которой интенсивность напряжений $\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ достигает максимального значения (опасная точка), находится на глубине 3,32 мм. Характер распределения эквивалентных напряжений показан на рис. 5, а.

Все нормальные напряжения в зоне контакта отрицательны, наибольшим из них по абсолютной величине является σ_y (рис. 5, б). Касательные напряжения в опасной точке невелики (рис. 6), поэтому для опасной точки направления главных осей тензора напряжений близки к направлениям осей координат. Величина

максимальных касательных напряжений $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ в опасной точке составляет 269,9 МПа при максимальном сдвиге $\gamma_{\max} = 0,412\%$.

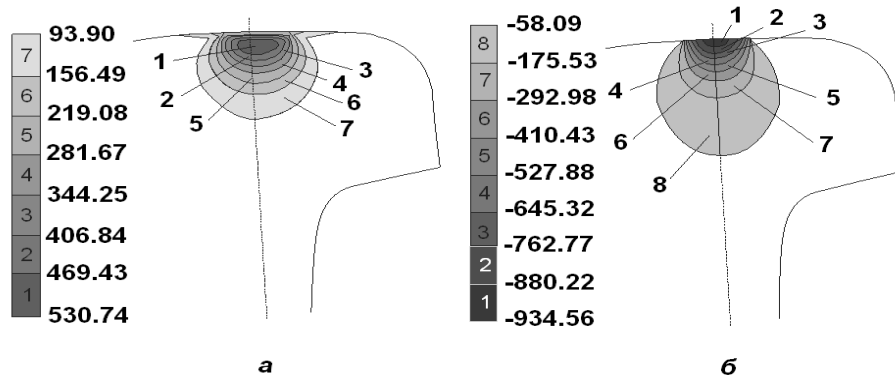


Рис. 5. Распределение эквивалентных (а) и нормальных σ_{xx} (б) напряжений в зоне контакта рельса и колеса

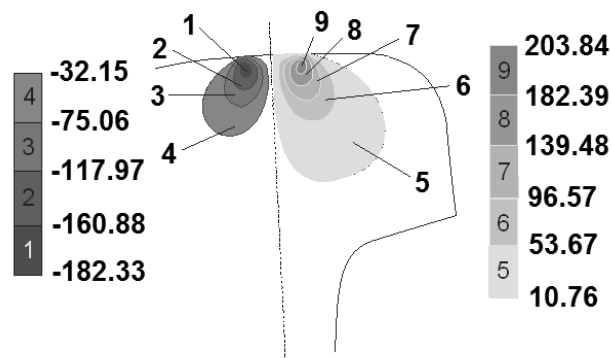


Рис. 6. Распределение касательных напряжений τ_{xy} в зоне контакта рельса и колеса

Материальная плоскость, в которой действуют максимальные касательные напряжения, в данном случае будет критической плоскостью, поскольку все главные напряжения в опасной точке являются сжимающими. Для указанной плоскости величина параметра усталости FP , подсчитанная по формуле (5), имеет максимальное значение 0,2161. Ориентация этой плоскости в опасной точке и определяет, в соответствии с критерием (5), начальное положение трещины. На рис. 7 схематически показано положение критической плоскости по отношению к осям координат и направлению движения колеса. В первом приближении будем считать, что положение опасной точки не изменяется в процессе нагружения. В пользу этого предположения говорят те обстоятельства, что пластические деформации достаточно малы, а задача решается в геометрически линейной постановке. Тогда для опасной точки получим, что $\alpha = 24,18^\circ$, $\beta = 88,14^\circ$, что близко к результатам, полученным в работе [9].

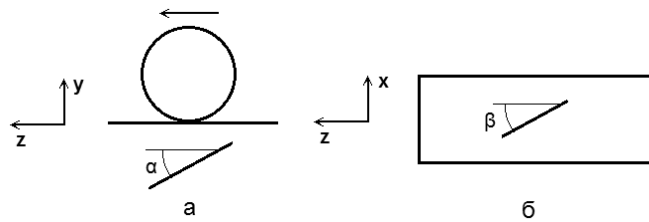


Рис. 7. Положення плоскості зародження тріщини по отношению к осям координат и направлению движения колеса: а – вид сбоку, б – вид сверху

Долговечность рельса (число циклов до разрушения) при указанном значении $(FP)_{\max}$ составит $4,694 \cdot 10^6$ циклов, что соответствует пропуску около 99,2 млн т. груза брутто при данной осевой нагрузке. Такое значение долговечности является минимальным для принятых в данном расчете условий эксплуатации, поскольку для циклически упрочняемых материалов повреждаемость будет наибольшей на первых циклах нагружения. По мере упрочнения материала величина прироста пластической деформации за цикл будет падать, поэтому и интенсивность накопления повреждений также будет снижаться. Если сравнивать полученную оценку долговечности с гарантийной (180 млн т груза брутто для незакаленного рельса Р65 производства ОАО МК «Азовсталь»), то следует учесть, что расчетная оценка соответствует моменту зарождения трещины, а не ее развития до предельных размеров.

Учет других факторов, которые оказывают влияние на долговечность рельсов, авторы надеются показать в последующих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудюк А.С., Азаркевич А.А., Восковец Ю.А., Яковлев В.А. Дефектность рельсов на дорогах Украины // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 28 – 32.
2. Коган А. Я., Абдурашидов А. Ю. Об оценке повреждаемости рельсов контактно-усталостными дефектами // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 12. – С. 14 – 15.
3. Шейнман Е. Л. Дефекты рельсов. Обзор зарубежных изданий // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 3. – С. 29 – 32.
4. Karpushenko N. I., Matvetsov V. I. Wear of rails and rolling stock wheels // Proc. of IV-th Int. Symp. on Tribo-Fatigue. Section 3. Friction and Wear, Ternopil, Ukraine, 2004. – P. 576 – 581.
5. Колотушкин С. А., Рейхардт В. А. Дефектоскопия рельсов Экспериментального кольца на службе транспортной науки // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 6. – С. 33 – 36.
6. Лысюк В. С. Изменить профили рельсов и колес // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 22 – 25.
7. Ахметзянов М. Х. О механизме развития контактно-усталостных повреждений в рельсах // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 2. – С. 41 – 45.
8. Потапов Д.О. Подовження термінів служби рейок системним шліфуванням в процесі експлуатації / Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Українська держ. академія залізничного транспорту. – Х., 2007. – 168 с.
9. Ringsberg J.W. Life prediction of rolling contact fatigue crack initiation // Int. J. Fatigue. – 2001. – 23. – P. 575 – 586.
10. Sladkowski A., Sitarz M. Analysis of wheel-rail interaction using FE software // Wear. – 2005. – 258. – P. 1217 – 1223.

11. *Ringsberg J.W., Lindbäck T.* Rolling contact fatigue analysis of rails including numerical simulations of the rail manufacturing process and repeated wheel-rail contact loads // *Int. J. Fatigue.* – 2003. – 25. – P. 547 – 558.
12. *Ekberg A., Kabo E., Andersson H.* An engineering model for rolling contact fatigue // *Fatigue & Fract. Engng. Mater. & Struct.* – 2002. – 25. – P. 899 – 909.
13. *Kapoor A., Beynon J.H., Fletcher D.I., Loo-Morrey M.* Computer simulation of strain accumulation and hardening for pearlitic rail steel undergoing repeated contact // *J. Strain Analysis.* – 2004. – 39. – P. 383 – 396.
14. *Ahlström J., Karlsson B.* Fatigue behaviour of rail steel – a comparison between strain and stress controlled loading // *Wear.* – 2005. – 258. – P. 1187 – 1193.
15. *Taraf M., Zahaf E.H., Oussouaddi O., Zeghloul A.* Numerical analysis for predicting the rolling contact fatigue crack initiation in a railway wheel steel // *Tribology International.* – 2010. – 43. – P. 585 – 593.
16. *INNOTRACK* report D 4.3.5 “Simulation of materials deformation and RCF”. – 2009. – 43 p.
17. Коллинз Дж. Повреждение материала в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. – М.: Мир, 1984. – 530 с.
18. *Yang L., Fatemi A.* Cumulative fatigue damage mechanisms and quantifying parameters: a literature review // *J. Testing & Evaluation.* – 1998. – 264. – № 2. – P. 89 – 100.
19. *Fatemi A., Yang L.* Cumulative fatigue damage and life prediction theories: a survey of the state of the art for homogeneous materials // *Int. J. Fatigue.* – 1998. – 20. – № 1. – P. 9 – 34.
20. *Jiang Y., Sehitoglu H.* A model for rolling contact failure // *Wear.* – 1999. – 224. – P. 38 – 49.
21. *Brown M.W., Miller K.J.* A theory for fatigue failure under multiaxial stress-strain conditions // *Proc. Inst. Mech. Engrs.* – 1973. – 187. – P. 745 – 755.
22. *Fatemi A., Socie D.F.* A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out-of-phase loading // *Fatigue & Fract. Engng Mater. & Struct.* – 1988. – 11. – P. 149 – 165.
23. *Smith K.N., Watson P., Topper T.H.* A stress-strain function for the fatigue of metals // *J. Materials.* – 1970. – 5. – P. 767 – 778.
24. *Varvani-Farahani A.* A new energy-critical plane parameter for fatigue life assessment of various metallic materials subjected to in-phase and out-of-phase multiaxial fatigue loading conditions // *Int. J. Fatigue.* – 2000. – 22. – P. 295 – 305.
25. *Работнов Ю.Н.* Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 744 с.
26. *Троценко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В. и др.* Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие. Часть 2. – К.: Наукова думка, 1994. – 702 с.
27. *Schleinz G., Fischer F.D.* Residual stress formation during the roller straightening of railway rails // *Int. J. Mech. Sci.* – 2001. – 43. – P. 2281 – 2295.
28. *ДСТУ 4344:2004.* Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 27 с.
29. *Косарчук В. В., Азарков О.В.* К методике прогнозирования долговечности рельсов // *36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології».* – 2011. – 18. – С. 61 – 72.
30. *ГОСТ 9036-88.* Колеса цельнокатаные. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
31. *Akama M.* Development of finite element model for analysis of rolling contact fatigue cracks in wheel/rail systems // *Quart. Rep. of RTRI.* – 2007. – 48. – № 1. – P. 8 – 14.
32. *Ringsberg J.W.* Cyclic ratcheting and failure of a pearlitic rail steel // *Fatigue & Fract. Engng. Mater. & Struct.* – 2000. – 23. – P. 747 – 758.
33. *Даніленко Е.І., Рибкін В.В.* Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
34. *Галин Л.А.* Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. – 302 с.

Аналіз виконаний для двовірної моделі і рішення розгалуженої тріщини отримано шляхом інтегрування функції Гріна, що відповідає дислокації поблизу тріщини. Щоб апроксимувати існування вільної поверхні, застосоване тут дислокаційне рішення віднесене до дислокацій у півпросторі.

Аналіз розгалуження тріщин. Досліджуваний аналітичний апарат ґрунтується на формулюванні у комплексних змінних [5] плоскої пружнопластичної задачі. А саме, внутрішні напруження і переміщення в пружному тілі виражаються через дві комплексні аналітичні функції Φ та ψ так:

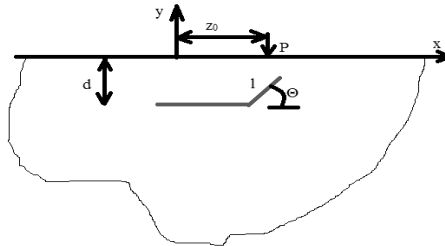


Рис. 1. Розгалужена приповерхнева тріщина від впливу навантаження на поверхню

$$\sigma_{xx} + \sigma_{yy} = 2 \cdot [\Phi(z) + \bar{\Phi}(z)]; \quad (1)$$

$$\sigma_{yy} - i\tau_{xy} = \Phi(z) + \bar{\Phi}(z) + z\bar{\Phi}'(z) + \bar{\psi}(z); \quad (2)$$

$$2 \cdot \mu(u_x + iv_y)' = k\Phi(z) - \bar{\Phi}(z) - z\bar{\Phi}'(z) - \bar{\psi}(z), \quad (3)$$

де $z = x + iy$; μ – модуль зсуву; $k = 3 - 4\nu$ – для плоскодеформованого стану, або $k = \frac{3-\nu}{1+\nu}$ – для плосконапруженого стану (ν – коефіцієнт Пуассона); риска над символом означає комплексно-спряжене число.

Поле напружень у тілі можна визначити, знайшовши комплексні функції Φ та ψ , поведінка яких в особливих точках і на границях відповідає умовам даної задачі. А саме, комплексні потенціали, які відповідають зосередженому зусиллю, що діє на поверхню півпростору в точці x_0 , можна виразити через один потенціал Φ_F наступним чином:

$$\Phi_F(z) = -\frac{P}{z - x_0}, \quad (4)$$

де $P = \frac{p_x + ip_y}{2x}$, де в свою чергу p_x та p_y являють собою складові прикладеного навантаження по осям x та y відповідно. Цей потенціал був виведений при допомозі аналітичного продовження [5], а відповідні напрями слід визначати, застосовуючи замість (2) наступне модифіковане співвідношення:

$$\sigma_{yy} - i\tau_{xy} = \Phi(z) - \bar{\Phi}(z) - (z - z') \cdot \bar{\Phi}'(z). \quad (5)$$

Аналогічно комплексний потенціал, що відповідає особливостям дислокаційного типу в на півплощині, можна виразити у вигляді

$$\Phi_D(z) = \begin{cases} \Phi_d(z), \operatorname{Im}(z) < 0, \\ -\Phi_d(z) - z\Phi'_d(z) - \psi_d(z), \operatorname{Im}(z) > 0, \end{cases} \quad (6)$$

де
$$\Phi_d(z) = \frac{\alpha}{z - z_0}; \quad (7)$$

$$\psi_d(z) = \frac{\bar{\alpha}}{z - z_0} + \frac{\bar{z}_0 \alpha}{(z - z_0)^2}. \quad (8)$$

Символ Im – образ, означає результат відображення, а потенціали Φ_d та ψ_d відповідають дислокаційній особливості всієї площини, розташованій в точці z_0 при

$$\alpha = \frac{2\mu \cdot [u_x + iv_y] \cdot e^\theta}{i\pi \cdot (k+1)},$$

причому член у квадратних дужках являє собою стрибок

переміщень, викликаних сингулярністю (*сингулярність* – присутність у даного математичного об'єкта тих чи інших неправильностей у порівнюванні із регулярними об'єктами того ж роду).

Наступний етап аналізу включає в себе обчислення внутрішніх напружень, які діють вздовж тріщини і обумовлені присутністю наведених вище сингулярних рішень, а також визначення додаткового потенціалу, який забезпечував би відповідність сумарних поверхневих зусиль тертя граничним умовам на поверхні околиць тріщини. Ці граничні умови для околиць головної тріщини вибрані за допомогою простої моделі Мора-Кулона:

$$\tau_{xy} = \pm \eta \sigma_{yy}, \quad (9)$$

де η – коефіцієнт тертя, а потрібний знак у рівнянні (9) приймається у відповідності із знаком прикладеного дотичного напруження.

Із рис. 1 видно, що вздовж головної тріщини $z = x - id$ при $|x| \leq c$. Напруження вздовж цієї лінії, наприклад $\sigma_{yy}^0 - i\tau_{xy}^0$, обумовлені дислокацією і зосередженим навантаженням на поверхню, можна обчислити безпосередньо, використовуючи виведені вище формули для потенціалів і напружень. Це дасть результат в наступній формі:

$$\sigma_{yy}^0 - i\tau_{xy}^0 = (\sigma_{yy} - i\tau_{xy})_{\Phi_D} + (\sigma_{yy} - i\tau_{xy})_{\Phi_F}, \quad (10)$$

Причому члени у правій частині рівняння являють собою напруження від вказаних потенціалів.

Вводячи додатковий потенціал Φ_B , як такий, що задовольняє граничну умову, тобто умову (9), вздовж головної тріщини, отримаємо наступний вираз

$$(\sigma_{yy} - i\tau_{xy})_{\Phi_B} = i \cdot (\tau_{xy}^0 \pm \eta \cdot \sigma_{yy}^0) \quad \text{на лінії } z = x - id. \quad (11)$$

Права частина рівняння (11) – це вже відома функція, визначена із залежності (10), так що необхідно підібрати такий підходящий вираз для Φ_B , щоб задовольнити рівняння (11). Можна показати, що задача знаходження додаткового потенціалу Φ_B

за виразами для його граничних напружень зводяться до розв'язку задачі Гілберта [5]:

$$\Phi_{B^+}(x) + \Phi_{B^-}(x) = f(x), \quad |x| < c \quad (12)$$

де $f(x)$ – відома функція, а у нашому випадку її можна ототожнити із правою частиною рівняння (11). Рішення цієї задачі є відомим [5] і може бути записаним у вигляді

$$\Phi_B(z) = \frac{X(z)}{2\pi \cdot i} \int_{-c}^c \frac{f(x)dx}{X^+(x) \cdot (x-z)} + CX(z). \quad (13)$$

Функція $X(z)$ являє собою рішення однорідної задачі, і у даному випадку вона має наступний вигляд:

$$X(z) = \frac{1}{\sqrt{z^2 - c^2}}, \quad (14)$$

де C – константа, яку приймають таким чином, щоб отримати належну поведінку функції на нескінченності.

Підставляючи потенціали, які визначені в рівняннях (4) та (6)...(8), у вираз (13), застосовуючи співвідношення (5), (10), (11) та виконуючи необхідне інтегрування по контуру, отримуємо остаточний вираз для потенціалу Φ_B :

$$\begin{aligned} \Phi_B(z) = & (\bar{\alpha}\delta - \alpha\gamma) \cdot [F(z; z_0 - z_1) - F(z; \bar{z}_0 - z_1) - F(z; z_0 - \bar{z}_1) + F(z; \bar{z}_0 - \bar{z}_1)] - \\ & - \alpha X(z) + 2 \cdot (z_1 - \bar{z}_1) \cdot (z_0 - \bar{z}_0) \cdot [\gamma \alpha H \cdot (z; z_0 - \bar{z}_1) - \delta \bar{\alpha} H \cdot (z; \bar{z}_0 - z_1)] - [(z_0 - \bar{z}_0) - (z_1 - \bar{z}_1)] \times \\ & \times [\gamma \bar{\alpha} \cdot [G \cdot (z; \bar{z}_0 - z_1) + G \cdot (z; \bar{z}_0 - \bar{z}_1)] + \delta \alpha \cdot [G \cdot (z; \bar{z}_0 - z_1) + G \cdot (z; z_0 - z_1)]] + (\gamma P + \delta \bar{P}) \times \\ & \times [F(z; x_0 - z_1) - F(z; x_0 - \bar{z}_1)] - (z_1 - \bar{z}_1) \cdot [\gamma \bar{P} G \cdot (z; x_0 - \bar{z}_1) + \delta P G \cdot (z; x_0 - z_1)] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{де} \quad F(z; \xi) &= \frac{1}{2 \cdot (z - \xi)} \left[1 - \frac{X(z)}{X(\xi)} \right]; \\ G(z; \xi) &= \frac{1}{(z - \xi)} \left[F(z; \xi) - \frac{X(z)X'(\xi)}{2X^2(\xi)} \right]; \\ H(z; \xi) &= \frac{1}{(z - \xi)} \left[G(z; \xi) + \frac{X(z)X''(\xi)}{2X^2(\xi)} - \frac{X(z)X' \cdot 2(\xi)}{X^3(\xi)} \right]; \quad \delta = \frac{1 \pm i\eta}{2}; \quad \gamma = 1 - \delta. \end{aligned}$$

Сполучення потенціалів Φ_B , Φ_D та Φ_F дає наближене рішення задачі для закритої тріщини поблизу вільної поверхні під впливом поверхневого зосередженого зусилля та наближеної дислокаційної особливості. Апроксимація забезпечується за рахунок потенціалу Φ_B , який не задовольняє умову відсутності поверхневих сил тертя при $y = 0$.

Для моделювання розгалуження при вершині головної тріщини необхідно замінити дискретну дислокацію особливість на розподілення напружень вздовж гілки тріщини таким чином, щоб тут задовольнялись вимоги граничних умов.

Формули всіх потенціалів, включаючи параметр дислокації α , вважаються функціями як z , так і z_0 , і тому сам параметр α стає функцією z_0 . Таким чином, наближені вирази для розрахунку напружень можуть бути записані через інтеграли у формі:

$$\Phi(z) = \int \Phi[z; z_0; \alpha(z_0)] dz_0. \quad (16)$$

Уздовж лінії розгалуження тріщини вводять таке дислокаційне розподілення, щоб можна було параметризувати z_0 у формі $z_0 = (c - id) + \xi \cdot e^{i\theta}$ при $|\xi| \leq l$. Отже, наведений вище вираз можна переписати у вигляді

$$\Phi(z) = \int_0^l \Phi[z; \xi; \alpha(\xi)] d\xi. \quad (17)$$

Підставляючи ці узагальнені інтегральні члени в потенціали, які включають α , отримаємо можливість виразити напруження у будь-якій точці тіла через ще не визначену функцію $\alpha(\xi)$. Вимагаючи, щоб поверхневі сили від суми потенціалів перетворювались на нуль уздовж розгалуження тріщини, отримуємо інтегральне рівняння, із якого можна визначити невідому функцію $\alpha(\xi)$. Важливе значення тут має та обставина, що як тільки отримане числове значення функції α , коефіцієнт інтенсивності напружень біля вершини розгалуження можна вирахувати безпосередньо, тобто, біля вершини розгалуження справедливим є відношення:

$$K_1 + iK_{11} = \sqrt{2\pi^3 l} \cdot \alpha^*(\xi), \quad (18)$$

де $\alpha^*(\xi) = \alpha(\xi) \cdot \sqrt{\xi^2 - l^2}$.

Числові результати. Виведені вище інтегральні рівняння були розв'язані числовим методом, а потім обчислені коефіцієнти інтенсивності напружень при вершині розгалуження тріщини для різних кутів розгалуження. На рис. 2 графічно показані типові залежності коефіцієнта інтенсивності напружень від місця прикладання навантаження для кількох кутів розгалуження. У загальному випадку існує обмежена область положення навантаження, в якій розгалуження тріщини сприймає навантаження додатного знаку (тип I). Для таких випадків було виявлено, що область положення навантаження, в якій розгалуження підлягає розтягу, частково перекривається з областю прикладання навантаження. Тоді залежність від послідовності подій достатньо не врахована, однак границя не проявляє суттєвого впливу на зону вершини розгалуження до тих пір, доки область зчіплювання не стане домінуючою в головній тріщині. Таким чином, результати є якісно вірними, а у більшості випадків, імовірно, і у кількісному відношенні. При спрощених допущеннях, прийнятих для даної моделі, у першому наближенні цей рівень точності є цілком достатнім для нашої мети.

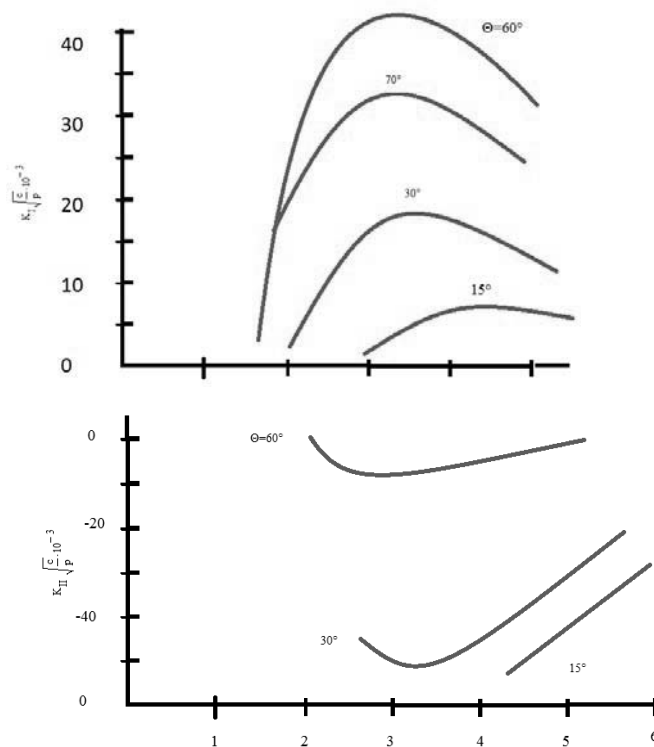


Рис. 2. Залежності коефіцієнтів інтенсивності напружень при вершині розгалуження тріщини від місця прикладання навантаження для різних кутів розгалуження ($d/c = 3,0$; $l/c = 0,05$; $\eta = 0,5$)

Висновок. Наближена модель виявлення горизонтальних при поверхневих тріщин під впливом рухомого стискуючого навантаження на поверхню робочого органу показала, що найбільш ймовірним є ріст коротких тріщин і тріщин середньої довжини (відносної довжини c/d) за типом II, хоча можливий і ріст по типу I із розгалуженням. Такий висновок ґрунтується на результатах розрахунку коефіцієнту інтенсивності напружень, а також критерію конкуруючих типів руйнування, в якому найважливішим параметром для визначення переважаючого типу росту тріщини є відношення $\Delta K_{II} / \Delta K_{Imax}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панасюк В.В., Сушинский А.И., Кацов К.Б. Разрушение элементов конструкций с несквозными трещинами. – К.: «Наукова думка», 1991. – 172 с.
2. Андрейкив А.Е. Разрушение квазихрупких тел с трещинами при сложном напряженном состоянии. – К.: «Наукова думка», 1979. – 127 с.
3. Вакуленко І.О., Анофрієв В.Г., Грищенко М.А. Дефекти залізничних коліс. – Дніпропетровськ: Вид-во Маковецький Ю.В., 2009. – 112 с.
4. Серенсен С.В. Сопротивление материалов усталостному и хрупкому разрушению. – М.: Атомиздат, 1975. – 191 с.
5. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 412 с.

УДК 656.25:621

*С.В. Панченко
Н.Г. Панченко
С.Л. Пархоменко*

ДО ПИТАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ ТА НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ

В статті удосконалено моделі систем та методи керування засобами рейкового транспорту, визначені основні напрямки їх удосконалення.

В статье усовершенствованы модели систем и методы управления средствами рельсового транспорта, определены основные направления их усовершенствования.

In the article have been improved models of the systems and methods of rail transport facilities management. It was determined basic approaches of their development.

Ключові слова: графік руху, електровози, управління швидкістю.

Актуальність проблеми. Важливим напрямком забезпечення ефективної експлуатації засобів рейкового транспорту (РТ) залізниць є розроблення і впровадження перспективних автоматизованих систем керування (СК). Пошук нових ідей, які спрямовані на ефективне керування нечітких ситуацій, на врахування різних збурюючих впливів, завад і обмежень та створенні адаптивних контурів керування (КК) рейковими одиницями (РО). Удосконалення автоматизованих систем керування параметрами засобів рейкового транспорту – РО (СК РТ) повинно забезпечувати автоматизоване ведення поїздів з урахуванням реалей руху на конкретній ділянці.

Мета статті. Метою статті є удосконалення моделей систем та методів керування засобами рейкового транспорту, визначення основних напрямків їх удосконалення.

Виклад основного матеріалу

Метою адаптивного керування є відпрацювання впливу, який задає потрібне значення параметра $x(t)$ та компенсація збурювань $\lambda(t)$ незалежно від значень вектора k .

Проектування КК являє собою визначення алгоритму цифрового регулятора, що забезпечує бажаний перехідний процес у контурі безпосереднього цифрового керування (БЦК).

© *Панченко С.В., Панченко Н.Г., Пархоменко С.Л., 2012*

З огляду на високі техніко-економічні показники регуляторів, що формують П-, ПІ-, ПІД- закони регулювання вони знайшли широке застосування.

При синтезі структури адаптивних регуляторів необхідно встановити залежність параметрів настроювання регуляторів від характеристик завад та об'єкта керування – РО (для рухомих об'єктів залізничного транспорту їхні параметри та характеристики задаються при формуванні поїздів), що дає можливість застосувати адаптацію при обраному критерії оптимізації.

Для названих законів керування характеристичні рівняння замкнутих КК мають такий вигляд:

I-закон:

$$D(\lambda) = (T_{ont} \lambda + 1) \lambda e^{\lambda \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}} + k_0 k_H = 0, \quad (1)$$

ПІ-закон

$$D(\lambda) = (T_{ont} \lambda + 1) \lambda e^{\lambda \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}} + k_0 [k_{PI} \lambda + k_H] = 0, \quad (2)$$

ПІД-закон:

$$D(\lambda) = (T_{ont} \lambda + 1) \lambda e^{\lambda \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}} + k_0 [k_{PID} \lambda + k_{PI}] = 0, \quad (3)$$

ПІДІ-закон:

$$D(\lambda) = (T_{ont} \lambda + 1) \lambda e^{\lambda \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}} + k_0 [k_{PID} \lambda^2 + k_{PI} \lambda + k_H] = 0, \quad (4)$$

ПІДІІ-закон:

$$D(\lambda) = (T_{ont} \lambda + 1) \lambda e^{\lambda \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}} + k_0 [k_{PID1} \lambda^2 + k_{PID} \lambda + k_{PI}] = 0, \quad (5)$$

ПІДІІІ-закон:

$$D(\lambda) = (T_{ont} \lambda + 1) \lambda e^{\lambda \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}} + k_0 [k_{PID1} \lambda^3 + k_{PID} \lambda^2 + k_{PI} \lambda + k_H] = 0. \quad (6)$$

У рівняння (1) – (6) входить T_{ont} адаптивного фільтра.

Співвідношення для максимального ступеня стійкості, наведені в [1], можна перетворити до вигляду, зручного для програмної реалізації:

$$u[nT] = u[(n-1)T] + A_0 e[nT] + A_1 e[(n-1)T] + A_2 e[(n-2)T], \quad (7)$$

де

$$A_0 = k_{\pi} \left[1 + \frac{T}{T_{\pi}} + \frac{T_D}{T} \right],$$

$$A_1 = -k_{\pi} \left[1 + \frac{2T_D}{T} \right],$$

$$A_2 = \frac{k_{\pi} T_D}{T}.$$

Для цифрового ПІ-закону керування коефіцієнти приймають такі значення

$$A_0 = k_{\pi} \left[1 + \frac{T}{T_{\pi}} \right],$$

$$A_1 = -k_{\pi},$$

$$A_2 = 0.$$

При цифровій реалізації адаптивних регуляторів виникає завдання визначення максимально припустимого періоду квантування T , при якому забезпечується задана точність наближення цифрового закону керування до свого безперервного аналога. Вибір T виконаємо з використанням максимального ступеня стійкості J_{onm} [2].

У випадку ПІД-закону регулювання маємо:

$$T \leq \frac{4.46e}{J_{onm}}, \quad (8)$$

а для ПІ-закону регулювання:

$$T \leq \frac{3.69e}{J_{onm}}. \quad (9)$$

Залежності максимально припустимого періоду квантування від параметрів об'єкта керування, адаптивного фільтра T_{onm} і еквівалентного запізнювання $\tau(x)$ мають вигляд

для ПІД-закону керування:

$$T \leq \frac{4.46e}{\frac{3}{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}} - \frac{2}{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{4T_{onm}^2}} \quad (10)$$

і для ПІ-закону керування:

$$T \leq \frac{3.69e}{\frac{2}{(\frac{x^2}{\pi})^3} + \frac{1}{2T_{опт}} - \frac{2}{(\frac{x^2}{\pi})^3} + \frac{1}{4T_{опт}^2}} \quad (11)$$

На рис. 1 показано запропоновану узагальнену структуру моделі контуру керування швидкістю РО. Сукупність вхідних сигналів, які використовуються при моделюванні, формується базою даних та сигналів 1. Ці сигнали обробляються адаптивним фільтром 2 [3] стала часу якого визначається блоком настроювання фільтра 7. Сигнал з виходу фільтра 2 подається на адаптивний регулятор 3 [4] з блоком настроювання регулятора 8. Останній використовує сигнали з бази даних та сигналів 1, а також з моделі РО, яка містить еквівалентне запізнювання 5 та інерційну ланку 6. В моделі також передбачено формування різних збурень. Зворотний зв'язок організовано за сигналом швидкості, який знімається з точки поточної координати x . База даних та сигналів містить такі сигнали.

Корисний сигнал:

- східчастий сигнал завдання швидкості $1(t)$, період 5; 10 у.о.;
- синусоїдальний сигнал завдання швидкості.

Завади:

- синусоїдальний сигнал $A \sin \omega t$, $\omega = 10-1000$ рад/у.о.;
- випадковий сигнал: потужність 0.001, період 0.01 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел (seed) 23341.

Збурення:

- випрямлений синусоїдальний сигнал; період 5 у.о.;
- випадковий сигнал: амплітуда 0.02, період формування 0.1 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел (seed) 23341.

Параметри настроювання контуру керування

запізнювання τ , $Tau = 0,01 - 0,25$ у.о.;

- коефіцієнти підсилення 0 – 100;
- діапазон зміни k_{II} 0,01 – 20;
- діапазон зміни k_{II} 0,01 – 20;
- сталі часу 0,01-1 у.о.;
- частота сполучення фільтра $\omega_{comp} = 1-50$ рад/у.о..

Нижче наведено результати моделювання адаптивного Simulink – моделі контуру керування швидкістю РО. Сукупність вхідних сигналів, які використовуються при моделюванні, формується базою даних.

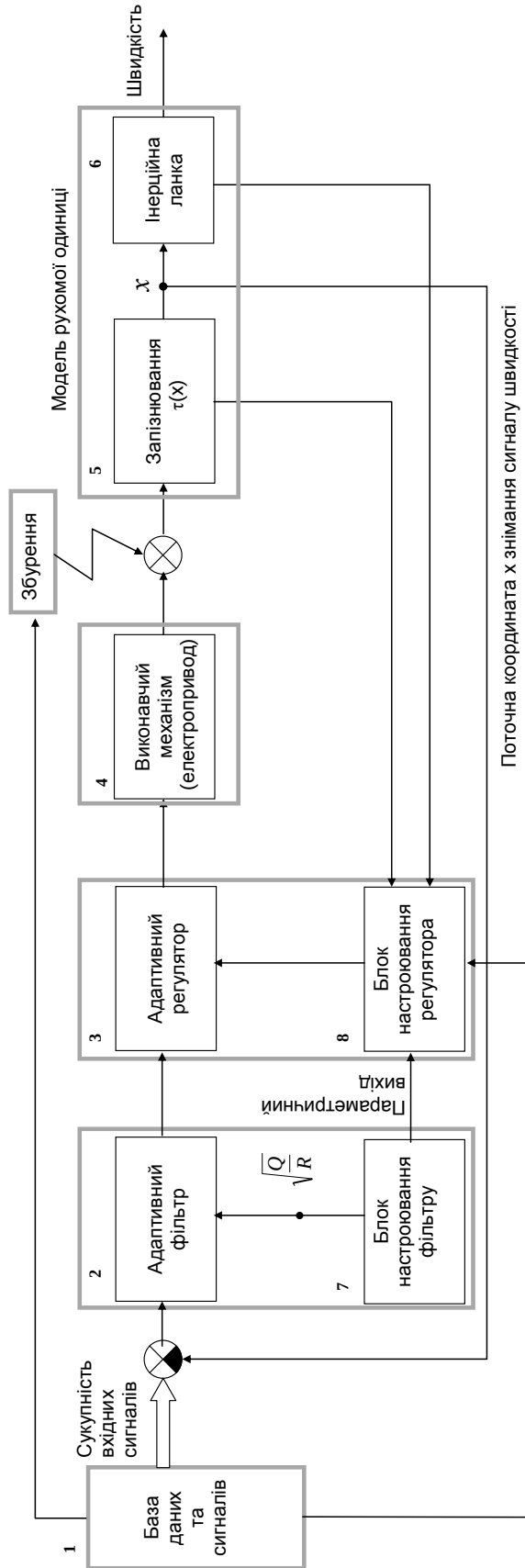


Рис. 1. Структура КК РО із еквівалентним запізнюванням і ПІ-регулятором

Обчислення сталої часу фільтра T_ϕ здійснюється за формулами

$$W_\phi(p) = \frac{1}{T_\phi s + 1}, \text{ де}$$

$$T_\phi = T_{opt} = T \beta \sqrt{\frac{Q}{R + \Delta}}$$

(Δ – мала константа, що виключає ділення на нуль).

Обчислення критерію КМСС та параметрів настроювання регулятора виконуються відповідними блоками моделі.

При дослідженні динамічних властивостей КК використано ПІ-регулятор, у припущенні, що параметри об'єкта керування, фільтра й оцінки характеристик випадкових корисних сигналів і завад у процесі експлуатації міняються в широких границях.

Нижче отримані аналітичні залежності між параметрами об'єкта, адаптивного фільтра й параметрами настроювання ПІ-регулятора, які використовуються у моделі.

Досліджується замкнутий КК для випадку, коли модель НБЧ контуру керування з урахуванням екстраполятора, описується інтегруючою ланкою з еквівалентним запізнюванням. Для даного випадку передатна функція замкнутого КК має вигляд:

$$W_3(s) = \frac{k_0 k_{II} s + k_0 k_{II}}{se^{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}} (T_{opt} s + 1) + k_0 k_{II} s + k_0 k_{II}} \quad (12)$$

КМСС дорівнює:

$$J_{ПИ} = \frac{2}{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}} + \frac{1}{2T_{opt}} - \left[\frac{1}{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{4T_{opt}} \right]^{\frac{1}{2}},$$

оптимальні параметри настроювання ПІ- регулятора

$$k_{Попт} = \frac{1}{k_0} \left[\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} + 2T_{opt} J_{ПИ} - \left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} T_{opt} J_{ПИ}^2 - 1 \right] e^{-\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} J_{ПИ}}$$

$$k_{Иопт} = \frac{1}{k_0} \left[\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} + T_{opt} - \left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} T_{opt} J_{ПИ} J_{ПИ}^2 e^{-\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} J_{ПИ}} \right],$$

а еквівалентна оптимальна передатна функція замкнутого КК дорівнює

$$W_{\Sigma}(q) = \frac{k_{\text{Понм}}s + k_{\text{Ионм}}}{(s + J_{\text{онм}})^2}.$$

Аналіз цієї передатної функції показує, що адаптація КК у перехідних процесах при будь-яких змінах параметрах РО і завад забезпечує перехідний процес, близький до аперіодичного.

Дослідження КК виконано при різних сигналах на його вході, які являють собою адитивну сукупність корисного сигналу $s(t)$ та завади $\xi(t)$:

$$u(t) = s(t) + \xi(t).$$

Як корисний сигнал обрано прямокутний сигнал з одиничною амплітудою і періодом 10 умовних (машинних) одиниць, який широко використовується у аналогічних дослідженнях [2, 5].

Сигнал завади обрано (не обмежуючи загальності) у вигляді синусоїди з більш високою частотою в порівнянні з корисним сигналом та у вигляді випадкових збурюючих сигналів. Відповідні графіки сигналів показані на рис. 2 – 5.

Аналіз отриманих графіків перехідних процесів свідчить про таке.

При наявності завад КК з адаптацією дозволяють отримати більш якісні процеси керування у порівнянні з КК без адаптації (рис. 2 – 5). Видно, що за рахунок *динамічної адаптації* значно покращується якість процесів керування – відхилення регульованої величини у контурах з адаптацією менше на порядок.

При змінюванні параметрів об'єкта, завад та збурень у широких границях адаптивний контур керування реалізує однакові аперіодичні процеси зміни швидкості. На рис. 6, рис. 7 показаний характер процесів зміни швидкості при різних параметричних збуреннях, як видно, характер процесів аперіодичний.

На рис. 2 – 5 (позиції а та б) показано зміну параметрів настроювання адаптивного регулятора у режимі *динамічної адаптації*, за рахунок якої забезпечується висока якість процесів керування.

Отримані результати моделювання дають можливість сформувати необхідні дані для використання в контурах керування мікропроцесорних контролерів, які побудовані на різних принципах функціонування [6].

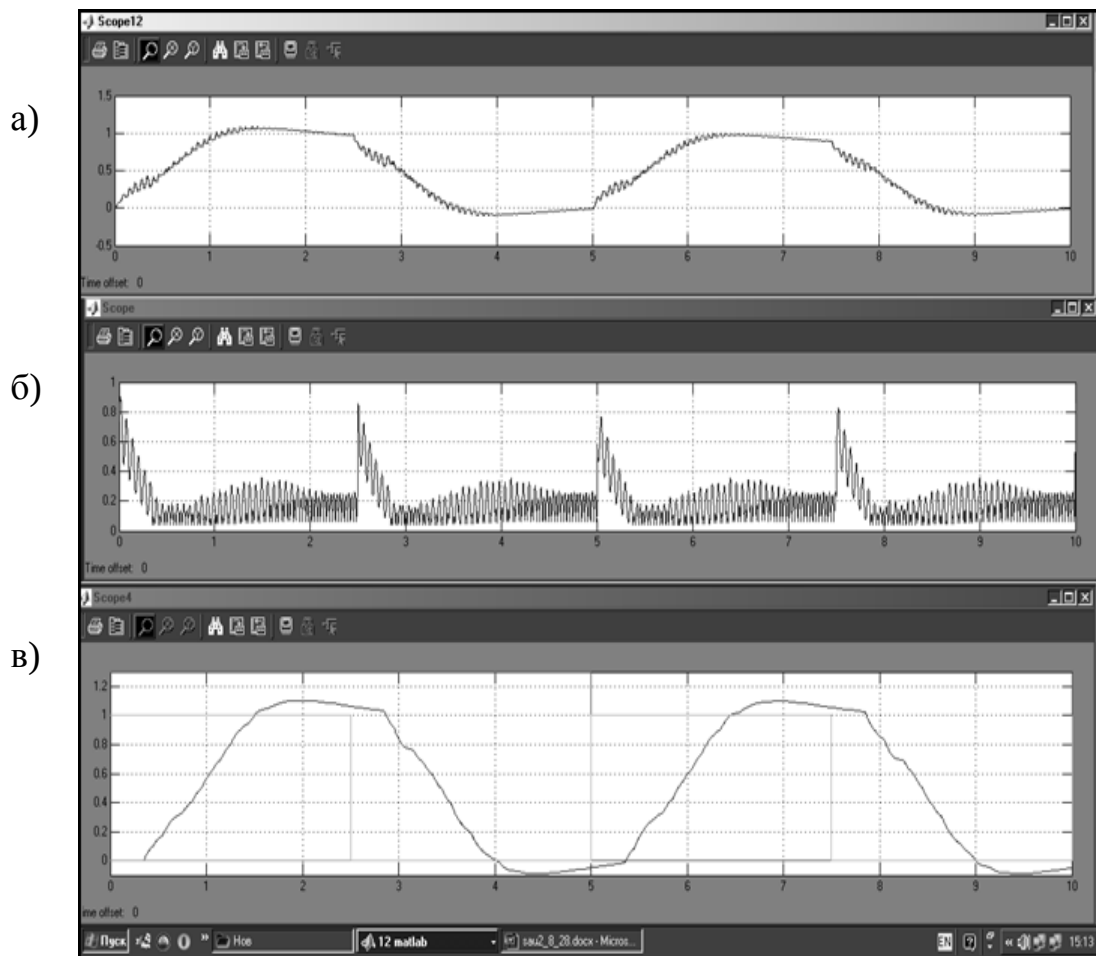


Рис. 2. Сигнали у КК з адаптацією: а) сигнал керування приводом;
 б) оптимальна стала часу адаптивного фільтру; в) вихідний сигнал;
 базові параметри настроювання моделі: вхідний східчастий сигнал $1(t)$; період 5 у.о.; $\xi(t)$ - параметри завади $0,3\sin 100t$; початкова частота сполучення адаптивного фільтру $\omega_{comp}=1,5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкта $\tau = 0,25$ у.о.; $\tau_{au} = 0,25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкта $K_0 = 1$

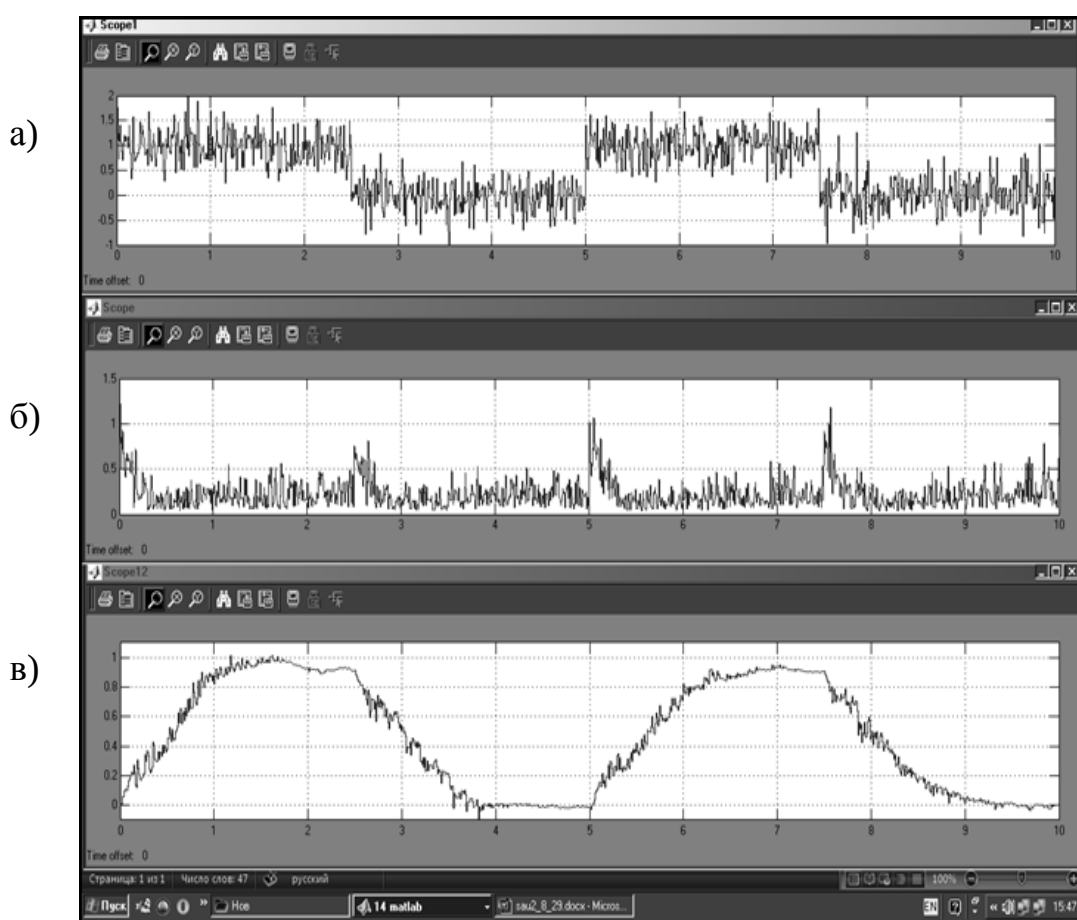


Рис. 3. Сигнали у КК з адаптацією: а) адитивна суміш вхідного сигналу та випадкової завади; б) оптимальна стала часу адаптивного фільтру; в) сигнал керування електроприводом; базові параметри настроювання моделі: вхідний сінусоїдальний сигнал $1(t)$; період 5 у.о.; завада $\zeta(t)$ з параметрами: потужність 0,001, період 0,01 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел 23341; початкова частота сполучення адаптивного фільтру $\omega_{comp}=1,5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкта $\tau = 0,25$ у.о.; $Tau = 0,25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкта $K=1$

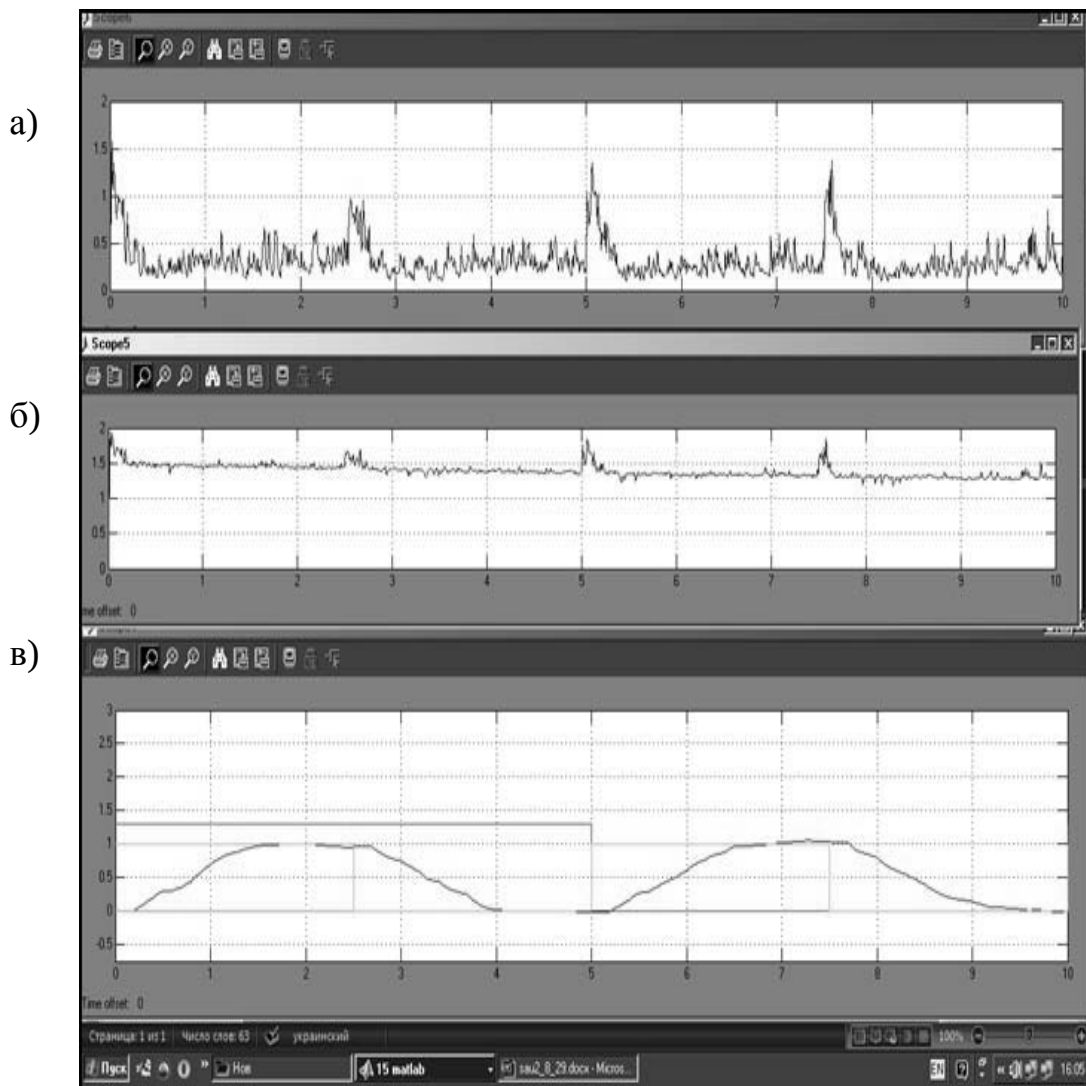


Рис. 4. Сигнали у КК з адаптацією: а) k_P ; б) k_D ; в) вихідний сигнал швидкості; базові параметри настроювання моделі: вхідний східчастий сигнал $1(t)$; період 5 у.о.; завада $\zeta(t)$ з параметрами: потужність 0,001, період 0,01 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел 23341; початкова частота сполучення адаптивного фільтра $\omega_{comp}=1,5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкта $\tau=0,25$ у.о.; $Tau=0,25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкта $K_0=1$

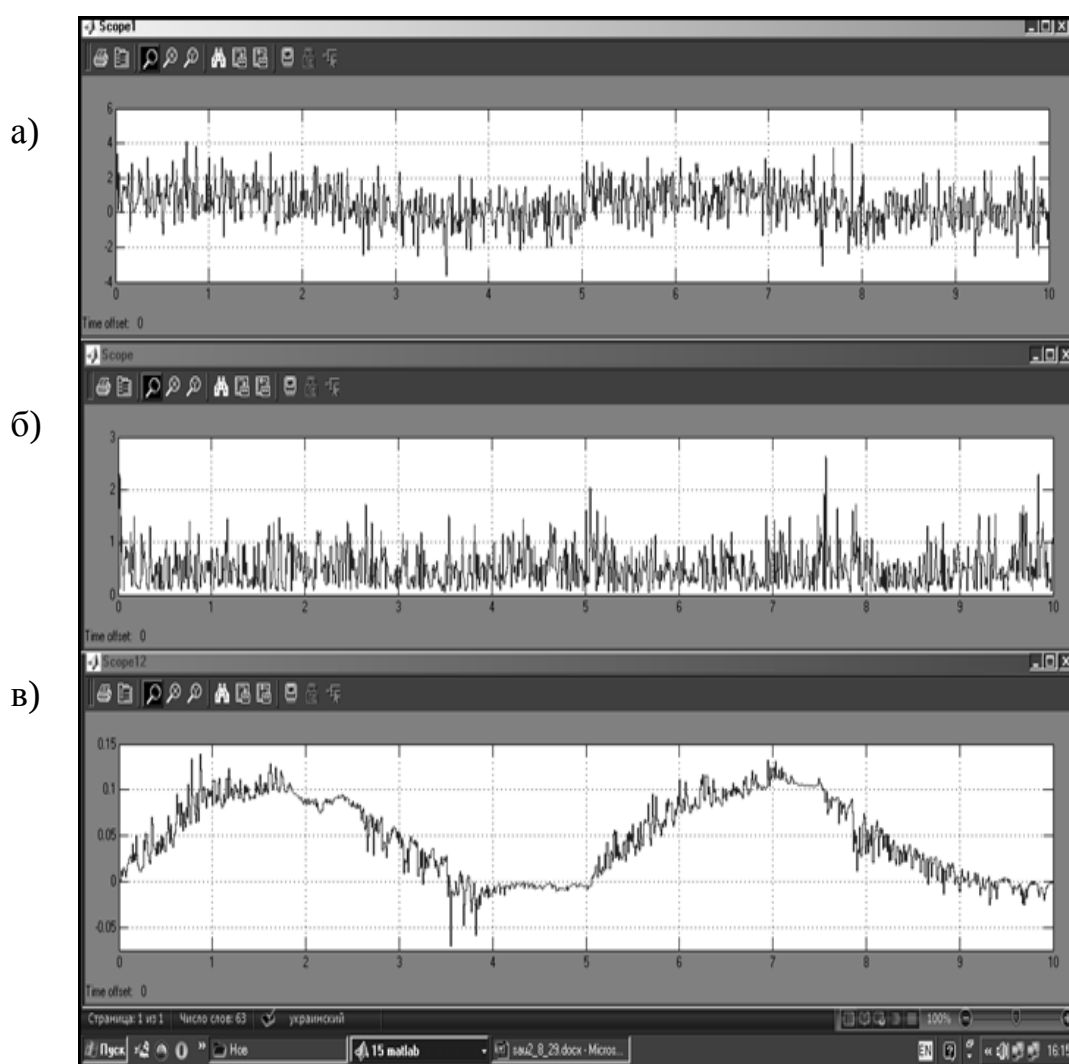


Рис. 5. Сигнали у КК з адаптацією: а) адитивна суміш вхідного сигналу та випадкової завади; б) оптимальна стала часу адаптивного фільтра; в) сигнал керування електроприводом; базові параметри настроювання моделі: вхідний східчастий сигнал $1(t)$; період 5 у.о.; завада $\zeta(t)$ з параметрами: потужність 0,01, період 0,01 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел 23341; початкова частота сполучення адаптивного фільтра $\omega_{conp}=1,5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкта $\tau = 0,25$ у.о.; $\text{Tau} = 0,25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкта $K_0=10$

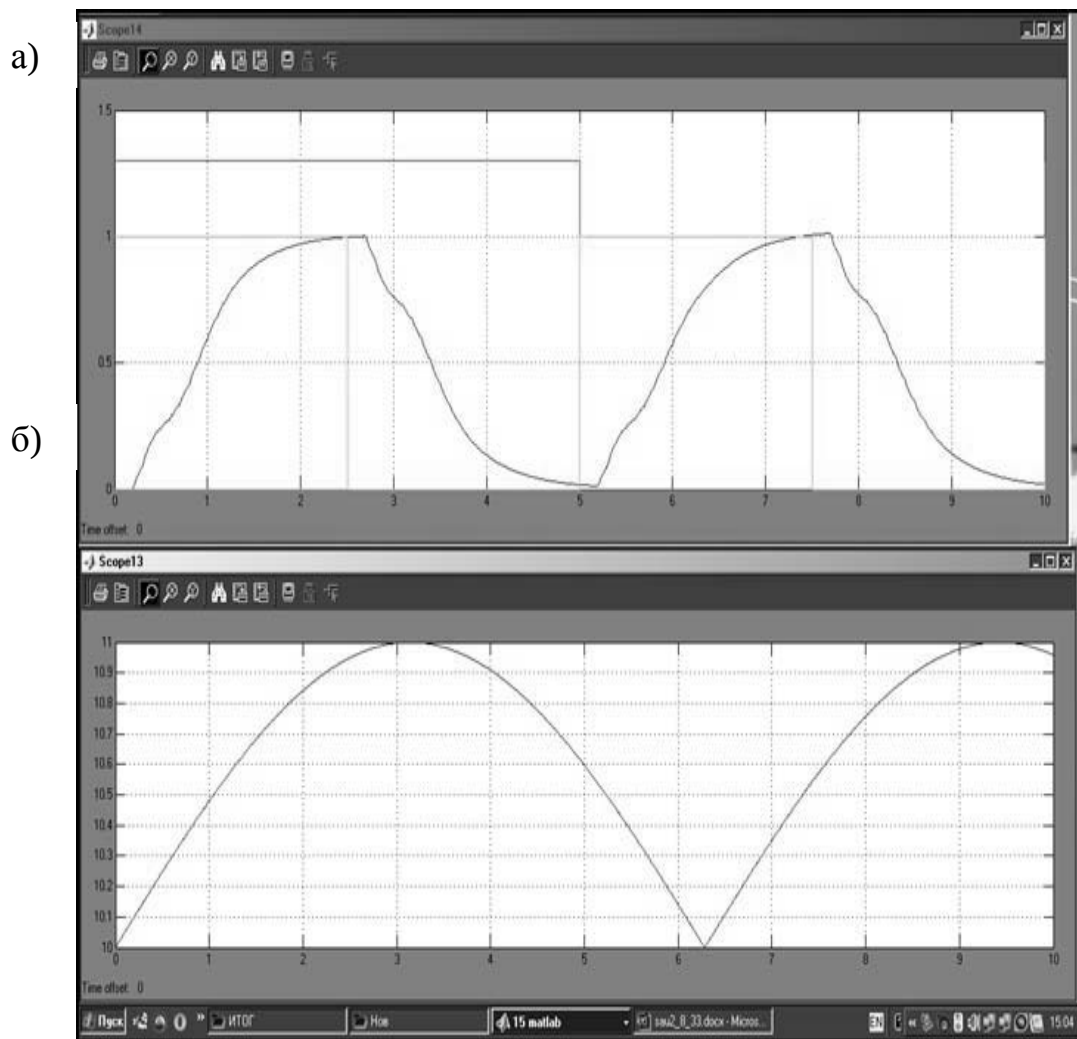


Рис. 6. Сигнали у КК з адаптацією: а) вхідний та вихідний сигнали;
 б) сигнал збурення $1\sin 0.5t$; базові параметри настроювання моделі: вхідний
 східчастий сигнал $1(t)$, період 5 у.о.; початкова частота сполучення адаптивного
 фільтра $\omega_{comp}=1,5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкта $\tau=0,25$ у.о.; $Tau = 0,25$ у.о.;
 коефіцієнт передачі об'єкта $K_0=10$;

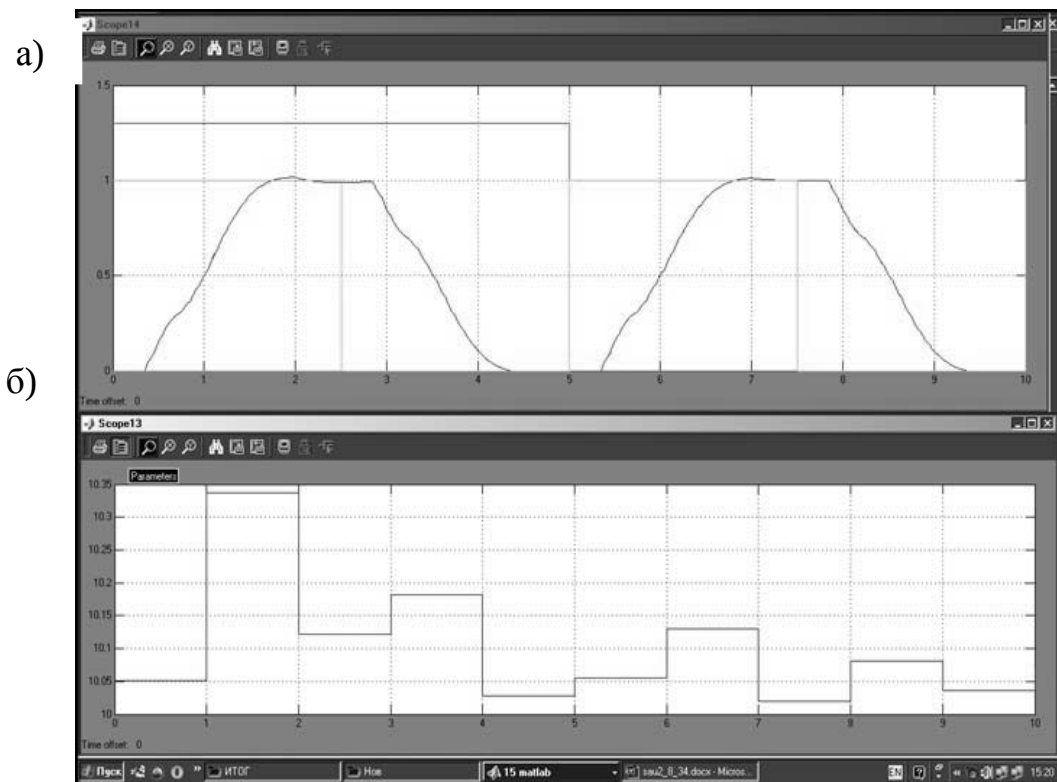


Рис. 7. Сигнали у КК з адаптацією: а) вхідний та вихідний сигнали;
 б) сигнал збурення випадковий: амплітуда 0,02, період формування 0,1, seed 23341; базові параметри настроювання моделі: вхідний східчастий сигнал 1(t); період 5 у.о.; початкова частота сполучення адаптивного фільтра $\omega_{comp}=1,5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкта τ 0,25 у.о.; $\tau_{au} = 0.25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкта $K_0=10$

Висновки

1. На основі синтезу закону безпосереднього цифрового керування для КК з бажаними характеристиками показано, що для моделі РО у вигляді двох аперіодичних ланок із запізнюванням оптимальним є ПД-регулятор. Одержано співвідношення для параметрів k_p , k_I , k_D настроювання ПД-регулятора залежно від оптимальної сталої часу адаптивного фільтра T_{opt} та еквівалентного запізнювання РО

$$\tau(x) = \left(\frac{x^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

2. Розроблено процедуру розрахунку параметрів адаптивних регуляторів за критерієм максимального ступеня стійкості. Отримані вираження для критерію максимального ступеня стійкості та параметрів настроювання регуляторів залежно від відношень рівнів завади до корисного сигналу та еквівалентного запізнювання, яке є функцією координати x вздовж РО. Обґрунтовано вибір періоду квантування

цифрового закону керування залежно від критерію максимального ступеня стійкості.

3. Розроблено структуру адаптивного контуру керування РО із еквівалентним запізнюванням, ПІ - регулятором та його універсальну MatLab - модель. До складу моделі входять: адаптивний фільтр, стала часу якого визначається блоком настроювання фільтра; адаптивний регулятор з блоком настроювання регулятора. Останній використовує сигнали з бази даних та сигналів, а також з моделі РО, яка містить блок еквівалентного запізнювання та інерційну ланку. В моделі також передбачено формування різних збурень. Зворотний зв'язок організовано за сигналом швидкості, який знімається з точки поточної координати x поїзда. База даних та сигналів містить детерміновані та випадкові сигнали та збурення. Така модель реалізує режим динамічної адаптації та дає можливість досліджувати різні режими функціонування контурів керування швидкістю РО.

4. Дослідження поведінки адаптивних контурів керування довело їх високі динамічні властивості, при цьому забезпечується реалізація аперіодичних процесів зміни швидкості, що є важливим при керуванні різними рейковими засобами залізниць. На основі виконаних досліджень можуть бути сформовані необхідні дані для використання в контурах керування швидкістю РО залізничного транспорту мікропроцесорних контролерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панченко С. В. Моделирование адаптивных дискретных систем. Оптимизация параметров управляющих импульсных последовательностей нечетких регуляторов / С.В. Панченко, Б.Т. Ситник, С. И. Яцко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №4. – С. 69-73.
2. Загарий Г.И. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости / Г.И. Загарий, А.М. Шубладзе. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 104 с.
3. Загарий Г.И. Адаптивная фильтрация сигналов в системах измерения и управления / Г.И. Загарий, С.В. Панченко, Б.Т.Сытник, В.А.Брыксин / Вісник Донецького національного університету, сер.А: Природничі науки. –2009. - Вип.1. – С. 496 - 499.
4. Загарий Г.И. Синтез адаптивных дискретных регуляторов для подвижных объектов с распределенными параметрами и запаздыванием/ Г.И.Загарий, С.В.Панченко, Б.Т.Сытник, В.А. Брыксин. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №5. – С. 44-55.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А.Пегат.- М.: Бином, 2009. – 798 с.
6. Панченко С.В. Контроллеры и процессоры с параллельной архитектурой: Учебник для ВУЗов. / И. А. Фурман, В. А. Краснобаев, М. Л. Малиновский, С. В. Панченко /Под ред.Г.И. Загария.- Харьков.: УкрГАЗТ, 2006. – 416 с.

УДК 625. 031

Геннадій Пугачов
Віталій Приходько

РОЗРАХУНОК СИЛ ПРИ ВПISУВАННІ ДВОВІСНОГО ВІЗКА В КРИВИХ

В статті на основі розгляду відношень між геометричними параметрами колісної пари і колії встановлено критерій, що визначає область застосування традиційної схеми розрахунків сил взаємодії гребенів коліс з рейками. Для ситуації, що не відповідає традиційній постановці, обґрунтована розрахункова схема і запропонована методика розрахунків діючих сил при вписуванні двовісного візка. Стаття супроводжується чисельними розрахунками.

В статье на основе рассмотрения отношений между геометрическими параметрами колесной пары и колеи сформулирован критерий, определяющий область применения традиционной схемы расчетов сил взаимодействия гребней колес с рельсами. Для ситуации, которая не отвечает традиционной постановке, обоснована расчетная схема и предложена методика расчетов действующих сил при вписывании двухосной тележки. Статья сопровождается численными расчетами.

The traditional method of bogie movement in a curve is based on the parameters of a track provided by wheelpair movement along the curve without slippage. Width reduction of a track in direct and preferential expansions of a track in the curves have led to more intensive wear process of ridges of wheels and rails that, first of all, is connected with deterioration of a description of bogies. The criterion that defines a size of the traditional scheme of calculations of interaction forces of wheels ridges with the rail is analyzed in the article on the basis of consideration of relations between geometrical parameters of a wheelpair and a tracks. In the situation that doesn't correspond to traditional statement, the calculation scheme is proved and the technique of definition of operating forces in the movement of the biaxial bogie is offered. Article is accompanied by numerical calculations.

Ключові слова: візок, колія, гребінь, колісна пара, спрямовуюча сила

Постановка проблеми

Вписування візка в криву належить до однієї з найважливіших тем при розрахунках сил взаємодії локомотива з рейками залізничного шляху, оскільки це

© Пугачов Г.С., Приходько В.М., 2012

пов'язане з визначенням швидкості руху локомотива в кривих і розрахунками елементів візка на міцність. Існуючий в учбовій літературі метод розрахунку [1, 2] витікає з розробок того часу, коли розширення колії в кривих забезпечувало для окремої колісної пари проходження кривої без ковзання і відповідало ситуації повного вписування. Сьогодні цей метод може бути використаний частково, для певних геометричних параметрів колії і колісних пар.

У зв'язку зі зменшенням ширини колії в прямих (з 1524 до 1520 мм), а також значним зменшенням пільгових розширень колії в кривих (а при залізобетонних шпалах взагалі їх ліквідація) були погіршені умови проходження рухомим складом кривих. Наслідки проведених змін, що пов'язані з інтенсивним зношуванням гребенів коліс і зношенням рейок у горизонтальному напрямку, добре відомі залізничникам-експлуатаційникам. Проте нова ситуація взаємодії коліс з рейками не знайшла відображення при розрахунках силових факторів. В статті на основі розгляду відношень між геометричними параметрами колісної пари і колії встановлено критерій для визначення обмежень використання традиційної схеми розрахунків. Для ситуації, що не відповідає традиційній постановці, необхідно обґрунтувати розрахункову схему і дати методику розрахунків діючих сил при вписуванні візка. Запропонована методика розглянута стосовно двовісного візка.

Аналіз стану проблеми

Характер і величина сил взаємодії візка з колією при проходженні кривої традиційно визначається за допомогою схеми, приведеної на рис.1.

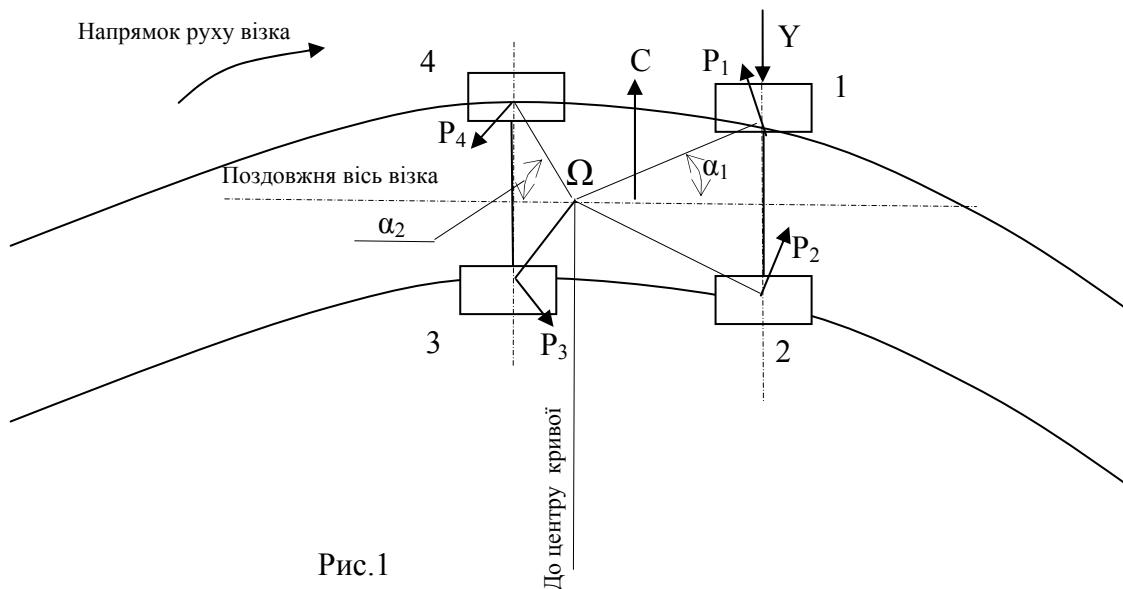


Рис.1

Згідно зі схемою, переносний рух візка (обертання довкола центру кривої) викликає з боку рейок горизонтальні сили протидії, а відносний рух, пов'язаний з обертанням візка навколо полюса Ω , викликає ковзання з відповідними силами

тертя (P_1, P_2, P_3, P_4), що спрямовані перпендикулярно до радіуса-вектора точки контакту бандажа з рейкою. З того складаються рівняння статички для діючих сил і визначаються спрямовуюча сила Y і швидкість руху при даному положенні полюса. Звернемо увагу на те, що при положенні полюса Ω між осями колісних пар вертикальна складова напрямку пересування другої по ходу руху колісної пари буде спрямована до зовнішньої рейки. Відзначимо, що при наявності контакту гребеня 4-го колеса таке пересування стане неможливим і тому така розрахункова схема не може бути використана. Ця обставина вимагає інших підходів для розв'язання і, в першу чергу, іншої розрахункової схеми.

Основний матеріал

Ключова проблема вписування візка у криву виходить з можливості проходження цієї кривої окремою колісною парою без ковзання. Саме на такий вид пересування орієнтована розрахункова схема на рис.1. При цьому припускається, як передумова що забезпечує проходження кривої даного радіуса, радіальне положення осі колісної пари. Це можливе тільки у тому разі, коли радіуси поверхонь кочення коліс знаходяться у певному зв'язку з радіусом кривої. Оскільки радіус поверхні кочення коліс залежить від положення колісної пари відносно осі колії, то вказана можливість забезпечується за рахунок двох факторів: конічності профілю кочення і можливості поперечного зміщення колісної пари відносно колії.

Розглянемо ці залежності. На рис. 2 приведено план радіального положення колісної пари в кривій радіуса R . При симетричному розташуванні колісної пари відносно осі колії радіуси кочення колії однакові і дорівнюють r . Принциповим є твердження, що проходження кривої без ковзання можливо при поперечному зміщенні колісної пари і набутті нею збільшеного радіуса поверхні кочення колесом на зовнішній рейці і зменшеного на внутрішній. Враховуючи симетрію поверхонь, це будуть, відповідно:

$$r_{\text{зов}} = r + \Delta r \text{ і } r_{\text{вн}} = r - \Delta r$$

Якщо крива має кут сектора α рад, то колесо, що рухається по зовнішній рейці з радіусом:

$$R_{\text{зов}} = R + S$$

і має радіус поверхні кочення $r_{\text{зов}} = r + \Delta r$ здійснить обертів:

$$n_{\text{з}} = \frac{\alpha \cdot (R + S)}{2 \cdot \pi \cdot (r + \Delta r)} \quad (1)$$

Друге колесо котиться по кривій меншого радіуса ($R - S$), але і по меншому радіусу поверхні кочення ($r - \Delta r$). Воно обернеться

$$n_{\text{в}} = \frac{\alpha \cdot (R - S)}{2 \cdot \pi \cdot (r - \Delta r)} \quad (2)$$

У відсутності ковзання кількість обертів обох коліс буде однаковим. Тому, порівнюючи праві частини виразів (1) і (2), після нескладних перетворень отримаємо:

$$\Delta r = \frac{S \cdot r}{R} ,$$

При конічності поверхні 1/10 зміні радіуса Δr буде відповідати поперечний зсув на

$$\Delta S_H = 10 \frac{S \cdot r}{R} \quad (3)$$

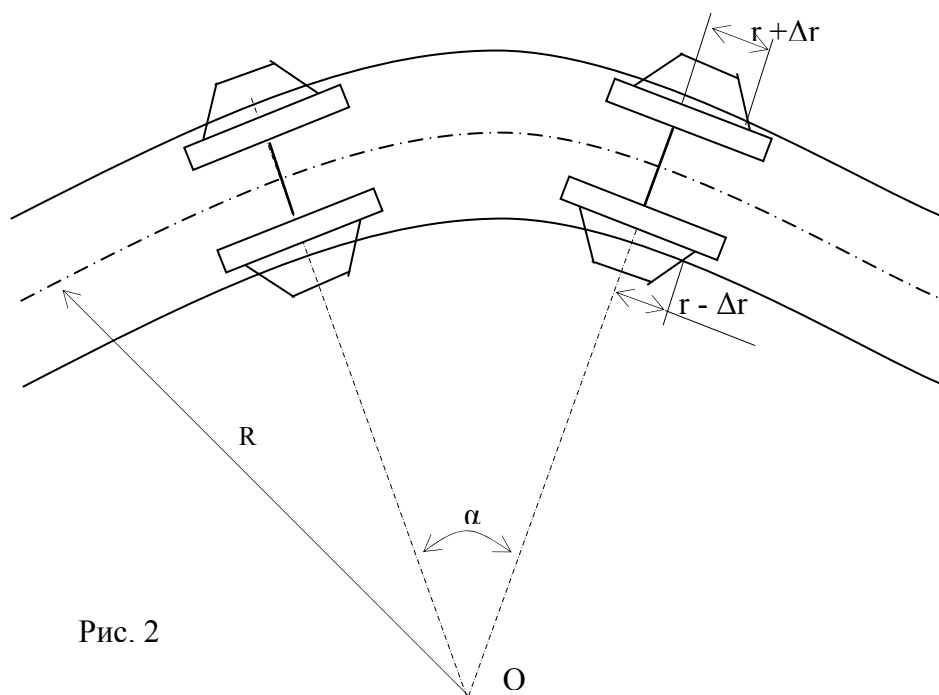


Рис. 2

Сформульована вимога забезпечує для заданого радіуса кривої проходження колісної пари без ковзання і є критерієм чистого кочення незалежно від того поодинокі ці колісна пара чи вона знаходиться у складі візка.

Поперечний розбіг колісної пари становитиме:

$$2\Delta S_d = 2K - (2b + 2t) \quad (4)$$

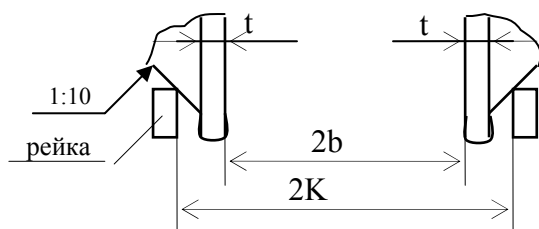


Рис.3

Умова кочення колісної пари без ковзання полягає в дотриманні відношення

$$\Delta S_H \geq \Delta S_D \quad (5)$$

Розглянемо можливість поперечного переміщення колісної пари залежно від ширини колії (2K), відстані між внутрішніми гранями бандажів (2b) і товщини гребеня (t)

Якщо конкретні умови проходження колісної пари не задовольняють відношенню (5), то має місце набігання гребеня на рейку і проходження даної кривої з ковзанням. Це стосується і колісних пар, що знаходяться у складі візків. При цьому набігання першої по ходу колісної пари природно пов'язане з необхідністю дії спрямовуючої сили, яка повертає візок. Але гребінь другої по ходу колісної пари буде теж набігати на рейку.

Приведений нижче приклад дає підстави стверджувати про широке розповсюдження цієї ситуації.

Так, при номінальних розмірах ширини колії (2K=1520мм), відстані між внутрішніми гранями бандажа (2b = 1440 мм) і при повній товщині гребенів (t = 33 мм) поперечний розбіг колісної пари згідно з (4) становитиме:

$$2\Delta S_D = 1520 - (1440 + 2 \cdot 33) = 14 \text{ мм.}$$

Радіус кривої, здатної для чистого кочення колісної пари, згідно (3) визначимо при таких значеннях: r = 0,625 м, S = 0,79 м.

Підстановка дає

$$R = 10 \frac{0,79 \cdot 0,625}{0,007} = 705 \text{ м}$$

Тобто при даній геометрії колії і бандажа колісної пари вписування візка в криві з радіусом, меншими за 705 метрів, потребує застосування розрахункової схеми, що включає взаємодію з рейками гребенів обох колісних пар.

На рис. 4 приведена схема діючих на візок сил при вписуванні його в криву при набіганні гребеня другої колісної пари на рейку. Центром обертання візка стає точка Ω , що і є точкою контакту гребеня другої колісної пари з рейкою. В горизонтальній площині до візка прикладені такі сили:

– відцентрова сила C, що припадає на частину маси локомотива, яка віднесена до одного візка. Сила прикладена у центрі візка в радіальному напрямку від центру кривої;

– сила скочування ваги віднесеної до візка частини локомотива від нахилу опорної площини візка F_{ck} . Лінія дії сили співпадає з лінією дії відцентрової сили, але має протилежний напрямок;

– сили, які діють на гребені коліс з боку рейок (спрямовуюча Y і реактивна Y_1);

– сили тертя P_1 , P_2 і P_3 , що спрямовані перпендикулярно до радіуса-вектора, проведеного в точку опору колеса з центру обертання Ω .

Для визначення сил з боку рейки для прийнятої схеми складемо два рівняння статичної рівноваги:

рівноваги діючих сил відносно вертикальної осі y;

рівноваги моментів відносно центру обертання Ω .

$$\Sigma y = C - F_{ck} - Y - Y_1 + P_1 + P_2 \cdot \cos \alpha = 0; \quad (6)$$

$$\Sigma M_{\Omega} = (C - F_{ck}) \cdot a - Y \cdot 2a + P_1 \cdot 2a + P_2 \cdot \sqrt{((2S)^2 + (2a)^2)} + P_3 \cdot 2S = 0. \quad (7)$$

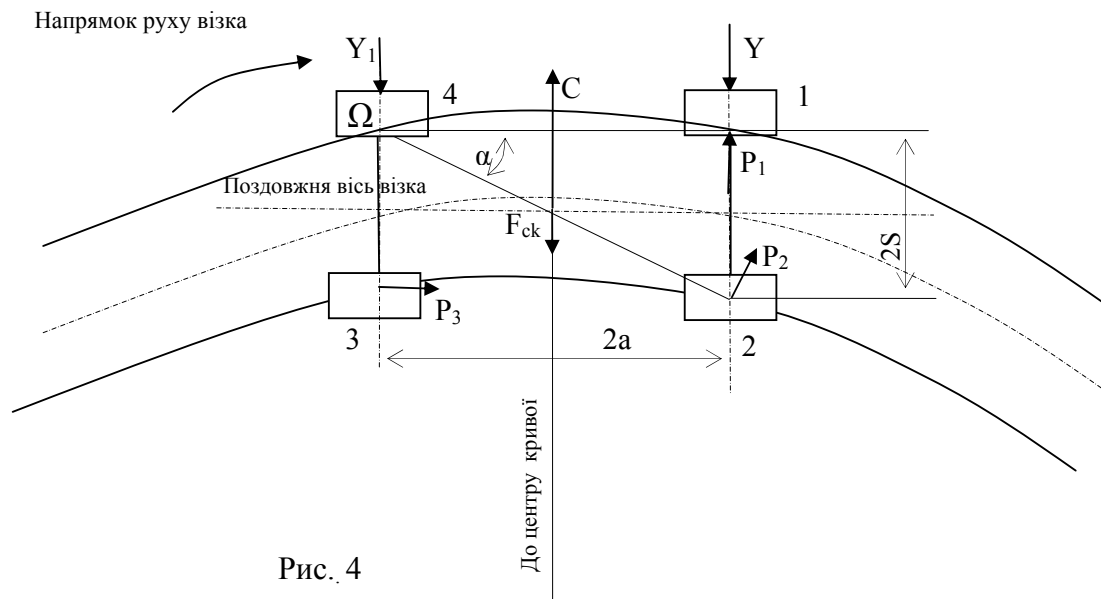


Рис. 4

Проведемо деякі спрощення приведеної системи з урахуванням таких значень розмірів і виразів для відцентрової сили, сили скочування і сил тертя:

$$C = m \cdot V^2 / R ;$$

$$F_{ck} = m \cdot g \cdot h / 2S ;$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = f \cdot m \cdot g / 4 ,$$

де m – маса локомотива, віднесена до одного візка;

h – підвищення зовнішньої рейки;

f – коефіцієнт тертя.

Приймаючи,

$$2S = 1,58 \text{ м}; 2a = 3,0 \text{ м}; f = 0,25; g = 9,81 \text{ м/с}^2 ;$$

і враховуючи

$$\sqrt{((2S)^2 + (2a)^2)} = 3,4 \text{ м}; \cos \alpha = 0,882; P_1 = P_2 = P_3 = 0,625 \cdot m; F_{ck} = 6,2 \cdot h \cdot m;$$

рівняння (7) матиме вигляд:

$$Y = m \cdot [V^2 / (2R) - 3,1 \cdot h + 1,63], \quad (8)$$

а підстановка цього визначення в рівняння (6) дає:

$$Y_1 = m \cdot [V^2 / (2R) - 3,1 \cdot h - 0,48]. \quad (9)$$

Проведемо аналіз отриманих рівнянь.

Користуючись співвідношеннями (8) і (9), можна встановити, що при хордовому положенні різниця між силами реакцій гребенів становить величину, яка не залежить від швидкості руху і радіусу кривої і дорівнює:

$$Y - Y_1 = 2,11 \cdot m.$$

Так, при осьовому навантаженні 20 тс різниця становитиме 84,4 кН. Вираз (9) дає можливість визначити область позитивних значень реактивної сили. Вона визначається відношенням:

$$V^2 / (2R) - 3,1 \cdot h > 0,48,$$

звідки можна встановити швидкість локомотива, що забезпечує хордове положення візка при різних значеннях радіуса кривої і підвищення h .

Так, для кривої радіуса $R = 400\text{м}$ і підвищення рейки $h = 50\text{мм}$ швидкість становитиме:

$$V = 22,5\text{м/с} = 81\text{ км/год.}$$

Тобто хордове положення візка в кривих має місце при досить високих швидкостях локомотива.

При зменшенні швидкості локомотива в кривих візок набуває положення найбільшого перекосу, при якому друга колісна пара притискається гребенем до внутрішньої рейки. Розрахункова схема для цього положення відрізняється від схеми на рис. 4 положенням точки прикладання і напрямком сили Y_1 а також напрямком сил тертя. Проте, для розрахунків можуть бути використані рівняння (6) і (7), а від'ємне значення сили Y_1 слід розуміти як ознаку переходу візка в положення найбільшого перекосу з переносом реактивної сили до внутрішньої рейки і збереженням абсолютного значення.

Перехід візка в нове положення викличе деякі зміни в орієнтації відцентрової сили і реактивних сил, діючих на гребені, відносно поздовжньої осі візка. При цьому відзначимо, що пов'язані з перекосом візка зміни довжини плечей в рівнянні (7) і довжина проекцій сил в рівнянні (6) зміняться несуттєво.

Так, при наявності зміщення другої колісної пари на величину зазору $2\Delta S = 14\text{ мм}$ (для розглянутого вище прикладу) кут повертання становитиме $\alpha = 14 / 3000 = 0,0046\text{ рад}$ або $0,26\text{ град}$. Тому при використанні рівнянь (6) і (7) для положення перекосу візка будемо нехтувати його повертанням.

Звернемо увагу на обставину, пов'язану з використанням поняття полюса обертання в традиційній методиці вписування візка. Згідно з нею, найбільша полюсна відстань буде мати місце при положенні візка в стані «найбільший перекид». При цьому полюсна відстань визначається від центру візка до точки перетину поздовжньої осі візка з перпендикуляром, проведеним з центру кривої. При хордовому положенні візка полюсна відстань дорівнює нулю, бо підстава перпендикуляра знаходиться у центрі візка. При повертанні візка на кут α на цей самий кут α довкола центру кривої повернеться і перпендикуляр. Якщо кут повертання становитиме (як приведено вище) $0,0046\text{ рад}$, то полюсна відстань при радіусі кривої 400м дорівнюватиме

$$p = R \cdot \sin \alpha = 400 \cdot 0,0046 = 1,8\text{м}$$

Нами були проведені розрахунки за традиційною методикою при стані чистого кочення колісних пар. При визначеному вище положенні полюса швидкість візка становитиме $6,9\text{ м/с}$ або 25 км/год . Для маси локомотива, віднесеної до одного візка $m = 40\,000\text{ кг}$, і при підвищенні зовнішньої рейки на $h = 50\text{мм}$, розрахунок за схемою на рис.1 визначає величину спрямовуючої сили $Y = 63\text{ кН}$.

Підкреслимо, що умовою застосування прийнятої схеми є чисте кочення колісної пари. Використовуючи формули (3), (4), (5), визначимо для цього стану відповідну товщину гребеня. Початкові дані такі: радіус кривої $R=400\text{м}$, ширина колії $2K=1520\text{мм}$ і відстань між внутрішніми гранями бандажів $2b=1440\text{мм}$. Розрахунок встановлює, що чисте кочення можливе при товщині гребеня $27,5\text{мм}$. Така товщина гребеня відповідає стану повного зношення.

Надалі розрахунки сил взаємодії візка з рейками були проведені за пропонованою схемою (рис.4) по формулах (6) і (7).

Були отримані такі результати:

величина спрямовуючої сили $Y = 61,38 \text{ кН}$;

реактивна сила, діюча на гребінь другої колісної пари, $Y_1 = -23 \text{ кН}$.

По-перше, спрямовуюча сила Y трохи зменшилась.

По-друге, має місце контакт гребеня другої колісної пари з внутрішньою рейкою, ознакою чого є від'ємне значення реактивної сили Y_1 . Ця сила досить значна і становить близько 36% від спрямовуючої сили Y . Щодо сумарної сили тиску на гребені візка, то вона в 1,34 рази перевищує спрямовуючу силу і викликає пропорційне збільшення енергетичних витрат на переміщення візка і більш інтенсивне взаємне зношування бандажів і рейок.

Висновки

1. На основі аналізу вписування в криву окремої колісної пари сформульована математична залежність для можливості проходження кривої без ковзання і на його основі визначено відношення, що обмежує застосування традиційної схеми вписування візка в криву.

2. Розроблена розрахункова схема сил, діючих на візок в кривих, для яких не забезпечується проходження окремої колісної пари без ковзання і на її основі сформульовані математичні відношення для визначення діючих сил.

3. Проведено зіставлення результатів розрахунків зусиль, прикладених до гребенів при відсутності ковзання (традиційна постановка задачі) і для кривої того самого радіуса при наявності ковзання (запропонована постановка), яке показало, що в разі другої ситуації спрямовуюче зусилля не на багато зменшується порівняно з першою, але разом з тим сила дії на гребінь другої колісної пари сягає 36% від спрямовуючої сили.

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»: Частина 1, 2. —К.: КУЕТТ, 2004.— 30 с.

УДК 693.9

Геннадій Талавіра
Тетяна Резник
Дмитро Новак

МОЖЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІБРОДІАГНОСТИКИ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

У статті розглянуті питання ефективності застосування вібродіагностики на мостових конструкціях. Здійснено аналіз пасивних і активних методів вібродіагностики та вказані основні недоліки та переваги даних методів.

В статье рассмотрены вопросы эффективности применения вибродиагностики на мостовых конструкциях. Осуществлен анализ пассивных и активных методов вибродиагностики и указаны основные недостатки и преимущества данных методов.

In the article the considered questions of efficiency of application of vibrodiagnostics are on bridge constructions. The analysis of passive and active methods of vibrodiagnostics and indicated basic defects and advantages of these methods are carried out.

Ключові слова: мостові конструкції, методи вібродіагностики.

Однією з головних цілей випробувань є отримання експериментальної інформації для уточнення розрахункової моделі конструкції. Прийнята в даний час система статичних випробувань залізничних мостів має такі основні недоліки:

при статичному навантаженні конструкцій результати вимірів не можуть відображати вплив постійної складової (маси елементів конструкції), оскільки немає надійної методики виміру залишкових деформацій або напруги від постійної складової навантажень;

більшість систем виміру прогину або переміщення, які застосовуються при статичних випробуваннях, належать до контактного типу, тобто потребують наявності вимірювальної бази і жорсткого зв'язку з нею, що важко забезпечити в вертикальному напрямку при великій висоті опор мосту, а в горизонтальному напрямку – при великій довжині прольоту.

© Талавіра Г.М., Резник Т.С., Новак Д.П., 2012

В цьому сенсі система динамічної діагностики (вібродіагностики) має такі переваги:

вона більш інформаційна, оскільки параметри коливань залежать і від маси елементів конструкції, тобто впливу постійної складової навантажень безпосередньо відображається на результатах вимірів;

вимірювання динамічних реакцій конструкції можна вести безконтактними вимірювальними системами інерційного типу, які не потребують наявності вимірювальної бази;

вібродіагностика базується на поєднанні розрахункових та експериментальних методів дослідження реакції на динамічну дію в низькочастотному діапазоні власних форм коливань [1].

В даний час у вібродіагностиці відомо декілька десятків різних способів навантаження, вимірів та обробки експериментальних даних. В загальному разі методи вібродіагностики можуть бути умовно розділені на пасивні і активні.

В методах пасивної вібродіагностики відсутня спеціальна система навантаження досліджуваної конструкції, а як режим навантаження використовується фонові дії технологічного характеру. Практичне використання таких методів опирається на випадкову дію рухомого навантаження, одиночного навантаження, вітру, сейсмічного навантаження і т.д. По суті всі види випадкової дії носять непостійний характер

По визначенню до залізничних мостів це означає, що в випадку дослідження параметрів динамічного відгуку під дією рухомого навантаження навіть при значному збільшенні часу спостереження і реєстрації параметрів реакції можливість отримання відповідних результатів залишається невисокою. Проблематичним є отримання стійких форм коливань і передаточних функцій параметрів реакції конструкції, оскільки параметри силової дії конструкції залишаються невідомими [4]. Залежно від способу реєстрації і обробки експериментальних даних характеристиками відгуку конструкції можуть виступати: частоти нижніх поясів коливань прогонних споруд, спектри потужності, величина добавки динамічного коефіцієнта і т.д. Співставлення результатів з даними розрахункової моделі конструкції носить відносний характер.

Методи активної вібродіагностики характеризується штучним додатком до конструкції споруди імпульсного або гармонічного (вібраційного) навантаження. Як окремий випадок може застосовуватися стохастичний процес навантаження, який має стабільні статичні характеристики (стаціонарний ергодичний процес).

Практичне використання імпульсного навантаження в активній вібродіагностиці здійснюється: прогоном одиночної колісної пари через спеціально створені нерівності, відтяжкою конструкції тросом через розмикаючу ланку, скиданням вантажу або ударом через практичну прокладку і т.д. При імпульсному навантаженні конструкції (через низьку тривалості дії) отримання стійких, стаціонарних коливань складно, що

призводить до необхідності багаторазових повторних навантажень. Залежно від способу реєстрації і обробки експериментальних даних характеристиками реакції конструкції можуть бути: частоти коливань нижчих поясів прогонових споруд, спектри потужності або відносних амплітуд, величина добавки динамічного коефіцієнта. Співставлення результатів з даними розрахункової моделі конструкції носить якісний характер.

Використання гармонічного навантаження в активній вібродіагностиці більш ефективне, але потребує застосування досить складних і дорогих віброзбудників, серед яких найвідоміші 2-вальні ексцентриккові вібромашини конструкції ЦНДІМК зі змінною частотою обертання, яка допускає сканування робочої частоти. Зусилля дії в них змінюється поступово, зміненням дебалансу ексцентриків. За кордоном замість механічних вібромашин широко застосовуються електросервогідравлічні віброзбудники, які дозволяють проводити навантаження і реєстрацію вимірюваних параметрів в режимі «керування експерименту», з використанням керівної ЕОМ. Основною особливістю вищевказаних збудників є їх стаціонарне базування, тобто необхідність їх жорсткого анкерного кріплення на експериментальній конструкції.

Загальними недоліками перерахованих методик є:

- неможливість дослідження взаємодії конструкції з ґрунтовим масивом;
- неможливість визначення передаточних функцій реакції конструкції від щодо вхідної дії, з повним урахуванням фазової складової.

Сучасні віброзбудники, які допускають як пряме, так і зворотне сканування робочої частоти, можна вважати сейсмівібратор типу СВ-5-150 російського виробництва, використання якого підвищує технологічність вібродіагностики залізничних мостів за рахунок значного скорочення обсягів підготовчих робіт [2]. Застосування сучасних інформаційних технологій управління експериментом, реєстрації і обробки експериментальних даних по реакції конструкції дозволяє отримати весь обсяг інформації у вигляді матриці передаточних функцій (амплітудно-фазочастотні характеристики (АФЧХ) динамічних прогинів в ключових точках прогонової споруди). Це дає можливість проводити кількісну оцінку і співставлення результатів з даними розрахункової кінцево-елементної моделі (МКЕ) конструкції, що дозволяє використовувати сучасні методи модельного аналізу. Висока мобільність і оперативність технології вібродіагностики базується на технічних і програмних засобах МКВК, які забезпечують його використання виключно в режимі «керування експерименту». Можливості МКВК дозволяють ефективно його використовувати для моніторингу великої кількості залізничних мостів і для вирішення складних дослідних завдань з діагностики унікальних об'єктів. На базі первинних дослідів для цілей моніторингу складається система об'єктно-орієнтованих баз даних (ООБД) по кожній конструкції, яка вміщує як традиційні форми звітних матеріалів, так і експериментальні дані

сертифікованих дослідів, які об'єктивно визначають стан моста на момент проведення дослідів (динамічний паспорт конструкції). У разі проведення повторної експрес-діагностики моста використовується раніше створена ООБД; при цьому час і вартість проведення робіт скорочується приблизно в 4 рази. Експрес-діагностика стає інструментальним засобом оцінки стану, який фіксує будь-які зміни характеристик конструкції та зниження впливу суб'єктивних факторів [3]. Застосування МКВК не потребує виводу мосту з експлуатації, для проведення навантаження і серії вимірів, необхідні лише перерви в русі тривалістю по 10-15 хв., всі підготовчі роботи виконуються до них.

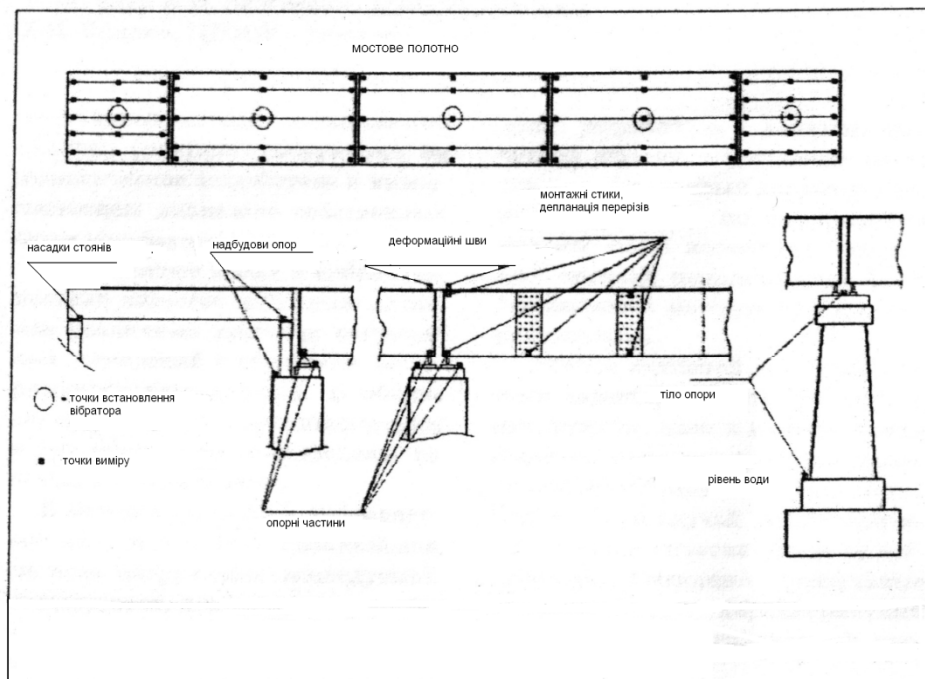


Рис. 1. Схема навантаження і вимірів при вібродіагностиці мосту

Вібродіагностику різних конструктивних елементів можна розглянути на рис.1. Загальна кількість вимірювальних точок на конструкції досягає декількох сотен. Час проведення цих робіт може складати 1-3 робочих дня, але принципи збору і обробки інформації в активній вібродіагностиці дозволяє складати загальну, інтегральну картину динамічного відгуку конструкції практично без втрат і викривлень, на відміну від методів пасивної вібродіагностики, де встановлення зв'язку між вимірами, які проведені в різний час, досить важко [5]. Тому в пасивній вібродіагностиці для отримання інтегральної картини реакцій повинна використовуватися

система вимірів, яка має декілька сотен вимірювальних каналів, що негативно відображається на мобільності і оперативності такої технології.

Для ефективнішого використання МКВК весь комплекс вимірювань проводиться в три етапи:

- по мостовому полотну;
- по нижньому поясу головних балок (ферм), насадкам і ригелям опор;
- для перевірки працездатності опорних частин, деформаційних швів і т.д.).

Виміри, проведені в мостовому полотні, дозволяють отримати таку інформацію:

- в багатопрольотному мосту – виявлення прольоту з найаномальнішими характеристиками;

- в прогоновій споруді – виявлення найслабших елементів;
- в балці (фермі) – виявлення, з точністю до $1/4L_p$, найслабшого перерізу;
- оцінка жорсткості і несучої здатності опор в вертикальному, горизонтальному повздовжньому і поперечних напрямках;
- оцінка працездатності опорних частин;
- взаємодія прогонових споруд і стоянів з підходами (насипами);
- оцінка несучої здатності основ опор.

Виміри, які були проведені по нижньому поясу балок (ферм), насадкам, ригелям і тілу опор, дозволяють отримати наступну інформацію:

- пряма оцінка жорсткості і несучої здатності опор на вертикальні навантаження, на згин опор вздовж і поперек осі моста;
- оцінка цілісності тіла опори і глибини занурювання паль в ростверк;
- згин і кручення насадок і ригелів опор.

Виміри, які були проведені по опорних частинах, деформаційних швах і тріщинах, дозволяють отримати таку інформацію:

- працездатність і межа заклинювання опорних частин;
- динамічне розкриття деформаційних швів;
- динамічна робота монтажних стиків;
- оцінка природи виникнення тріщин (силові або усадочні), прогноз амплітуди її розкриття в просторовій постановці.

Окрім перерахованих вимірів проводиться:

- оцінка депланації перерізів в прогонових конструкціях;
- оцінка стійкості стійок різного призначення;
- ймовірна оцінка динамічної дії на різні елементи конструкції.

Ще раз слід відмітити, що перераховані можливості відносяться до активної вібродіагностики. В разі застосування засобів пасивної вібродіагностики можливе отримання якісніших характеристик, а для збору кількісних характеристик, треба використовувати технічні і програмні засоби активної вібродіагностики, здатні проводити аналіз реакцій конструкції в передаточних функціях за вхідною динамічною дією.

Ефективність вібродіагностики залізничних мостів особливо висока у двох випадках:

при необхідності створення системи моніторинга інженерної інфраструктури. Періодична діагностика великої кількості об'єктів в цьому разі базується на інструментальній інформації;

на стадії проектних досліджень при реконструкції (ремонті) мостів. Тільки засобами вібродіагностики можливий суцільний (100%), інструментальний контроль всіх несучих конструкцій мосту, включаючи реєстрацію невидимих дефектів, а також опор і основ.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Цернант А.А.* Системология измерений параметров природно-технических систем (ПТС)/ 7-я Всес. конф. «Экспериментальные исследования инженерных сооружений (методы, приборы, оборудование, метрологическое обеспечение)», Сб. тр.– Сумы, 2001.
2. *Звягинцев А.Н.* Мобильный комплекс для динамической диагностики транспортных сооружений// Сб. науч. тр. ЦНИИС, Юбил. вып. 202.– М., ЦНИИС, 2005.
3. *Звягинцев А.Н.* Методологические аспекты технологии вибродиагностики мостов// Тр. ЦНИИС, вып. 202. – М., 2010.
4. *Бондарович Б.А., Переселенков Г.С., Звягинцев А.Н., Матвеев И.К.* Повышение надежности малых искусственных сооружений на железных дорогах// «Наука и техника в дорожной отрасли». – №1. – 2010.
5. Методические рекомендации по вибродиагностике железнодорожных мостов. Государственная служба дорожного хозяйства. – М, 2001.

УДК 656.225.016

Геннадій Талавіра
Сергій Сахнік

**ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗСТИКОВИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ТИПУ
Р65 МАРКИ 1/11 НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БРУСАХ У СКЛАДІ
БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗРІВНЮВАЛЬНИХ
ПРИЛАДІВ**

В статті досліджені умови міцності та стійкості стрілочних переводів та обґрунтоване застосування безстикових стрілочних переводів у складі безстикової колії.

В статье исследуются условия прочности и стойкости стрелочных переводов и обосновывается применение бесстыковых стрелочных переводов в составе бесстыкового пути.

In the article investigational terms of durability and firmness of pointer peregodiv and grounded application of jointless pointer peregodiv are in composition jointless track.

Ключові слова: стрілочний перевод, безстикова колія, зрівнювальні пристрої.

Стрілочні переводи типу Р65 марок 1/11 проектів з хрестовинами з безперервною поверхнею кочення зі стрілочною та хрестовиною гарнітурами з зовнішніми замкачами призначені для переводу рухомого складу з однієї колії на іншу і застосовуються на головних коліях залізниць України зі змішаним вантажопасажирським поїздопотокм як у складі ланкової колії так і у складі безстикової колії з обов'язковим використанням зрівнювальних приладів. Максимальна швидкість руху по боковій колії – 60 км/год., по прямій – 160 км/год. Крім того, рейки у складі стрілочних переводів зварені між собою та з гостряками та хрестовиною термітною зваркою. Обмежуючим фактором при впровадженні даних стрілочних переводів для швидкісного руху пасажирських поїздів є те, що максимальна швидкість по зрівнювальних приладах – 140 км/год.

Тому, одним зі шляхів вирішення цієї технічної проблеми є дослідження можливості застосування безстикових стрілочних переводів проектів ДН 30.00.000 та ДН 400.00.000 у складі безстикової колії без використання

© Талавіра Г.М., Сахнік С.В., 2012

зрівнювальних приладів, що додатково дозволить зменшити капітальні витрати та витрати на експлуатацію колії.

Згідно з пам'яткою ОСЖД 8709/11 року передбачається улаштування на підходах до стрілочного перевodu протиугінних ділянок довжиною 50-100 м з посиленою епюрою шпал – 2160 шт/км (по 54 шпали на 25м з відстанями між осями сусідніх шпал – 47см) з плечем баластної призми – 45 см. Крім того, на рейках з'єднувальних колій запропоновано встановлювати протиугони. Інструкції щодо їх розміщення повинні визначати та затверджувати залізниці самостійно. При цьому запропоновано на ділянках, які примикають до стрілочних переводів обов'язково застосовувати динамічний стабілізатор баласту. Крім того на ділянках з посиленою епюрою шпал запропоновано застосовувати пружні рейкові скріплення, які здатні забезпечити погонний опір по одній рейковій нитці $r=450$ Н/см (450 кгс/см), що є абсолютно безпідставною вимогою, бо при добре ущільненому динамічними стабілізаторами баласті погонний опір пересуванню шпал у баласті не перевищує $r_6=100$ Н/см (10 кгс/см) у літній період та $r_6=180$ Н/см (18 кгс/см) у зимовий період.

За результатами спостережень значно більше проблем виникає в межах стрілочного перевodu, який є більш послабленою конструкцією у порівнянні з примикаючою колією через наявність безстикової кривої ділянки малого радіусу та через наявність послабленої рейкошпальної решітки в зоні рамних рейок (рис 1).

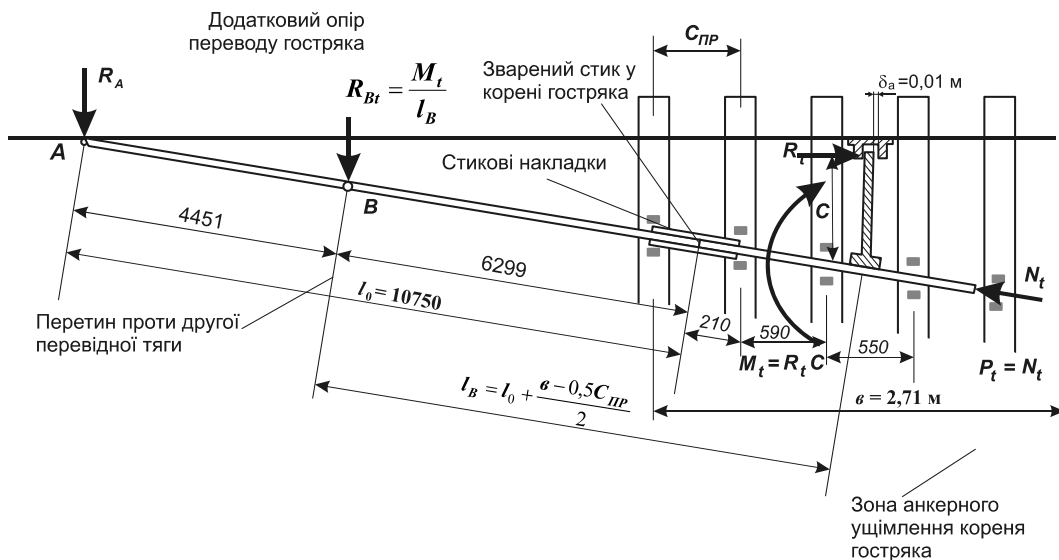


Рис. 1. Схема дії температурних сил на гостряк стрілочного перевodu

Для забезпечення умов міцності застосування безстикового стрілочного переводу у складі безстикової колії необхідно дотримання вимог, які є обов'язковими:

- забезпечення оптимального температурного інтервалу укладання безстикової колії за умов міцності рейок;
- забезпечення величини зазору при розтягненні рейки при дії низьких температур повітря не більше 50 мм.

Для дотримання першої з обов'язкових вимог, перевіримо, чи можемо використовувати існуючу конструкцію, у якій відсутня підуклонка рейок.

На підставі результатів експериментальних досліджень при швидкостях руху $V=60$ км/год на боковий напрямок стрілочного переводу при пошерстному русі в переводі типу Р65 марки 1/11 з залізобетонними брусами в передньому вильоті рамної рейки найбільші за величиною кромочні напруження в підшві рейки дорівнювали 196 МПа (1960 кг/см^2) а бокові віджимні головки рейки досягали 8,4 мм. Якщо керуватися чинними нормами, то допустиму величину зниження температури рейкової пліті порівняно з температурою її закріплення можемо визначити за відомою формулою де $[\sigma_{0,2}]$ – умовна межа текучості рейкової сталі, $[\sigma_{0,2}] = 349 \text{ МПа} = 350 \text{ кг/см}^2$;

α – температурний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

E – модуль пружності рейкової сталі, $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$

$\kappa_{3П}$ – коефіцієнт запасу, для нових рейок $\kappa_{3П} = 1,3$

– найбільші напруження в кромці підшви рейки, $= 1960 \text{ кг/см}^2$

Знайшли $= 38^\circ\text{C}$

Допустима величина Δt_{λ} зниження температури рейкової пліті з рейками Р65 згідно з нормою дорівнює 72°C .

Допустима величина зниження температури рейкової пліті при роботі рейок на розтягнення Δt_p була визначена умовою:

$$38^\circ\text{C}, \quad t_{\min \min} > 37^\circ\text{C}$$

Для більшості станційних колій залізниць України визначена величина максимальної (верхньої) межі температурного інтервалу закріплення рейкових плітей становитиме:

$$\max_3^P = t_{\min \min} + \Delta t_p = -37 + 38 = \pm 1^\circ\text{C} \quad (2)$$

Отримані результати є несприятливими для залізниць України, а для більшості країн західної Європи навпаки (при $t_{\min \min} = -15^\circ\text{C}$) сприятливими, бо найбільші напруження у кромках підшви при компенсації бокових сил від осьових ресор рухомого складу не перевищують $\sigma_{\text{кГ}} = 800 \text{ гк/см}^2$, $\Delta t_p \approx 80 - 90^\circ\text{C}$, що завжди забезпечить будь-які умови укладання безстикової колії в умовах більш слабких дій низьких температур Західної Європи.

Резервами є використання нахилу рейок, який дозволяє зменшити величини нормальних напружень в рейках. Використовуючи формулу (1):

$$\Delta t_{III} = \frac{3500 - 1,3 \cdot (0,7 \cdot 1560)}{25} = 83^{\circ} C;$$

$$\Delta t_p = \min \begin{cases} \Delta t_{III} = 83^{\circ} C \\ \Delta t_{\lambda} = 72^{\circ} C \end{cases} = 72^{\circ} C;$$

$$\max t_3^P = -37 + 72 = +35^{\circ} C.$$

Отже, застосування стрілочних переводів з нахилом рейок дозволяє використовувати стрілочні переводи типу Р65 марки 1/11 у складі безстикової колії за умовами міцності рейок.

Експериментальні дослідження жорсткості рейкошпальної решітки в зоні рамної рейки стрілочного переводу типу Р65 з маркою хрестовини 1/11 довели, що величина приведенного моменту інерції цієї ділянки становить величину $J_{\text{пр-пр}} = 1842 \text{ см}^4$ (у горизонтальній площині). Відомо також, що для колії з рейками типу Р65, із залізобетонними шпалами та проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 величини приведенного моменту інерції рейкошпальної решітки становить величину $J_{\text{пр}} = 4,3167 \text{ см}^4$, $J_p = 2417 \text{ см}^4$.

Відомо також з енергетичного методу дослідження стійкості безстикової колії, розробленого проф. К.Н. Міщенко, що відношення величини критичних сил для конструкції колії з різними значеннями приведенного моменту інерції рейкошпальної решітки при її вигині у горизонтальній площині пропорційно відношенню приведених моментів інерції у ступені $\frac{1}{4}$, тобто:

$$\frac{P_{K_{\text{рш}}}}{P_{K_{\text{рр}}}} = \sqrt[4]{\frac{J_{\text{пр-рш}}}{J_{\text{пр-рр}}}}, \quad (3)$$

де $P_{K_{\text{рш}}}$ – величина критичної сили для рейкошпальної решітки звичайної конструкції;

$P_{K_{\text{рр}}}$ – величина критичної сили для рейкошпальної решітки рамної рейки:

$$J_{\text{пр-рш}} = 2417 \text{ см}^4; J_{\text{пр-рр}} = 1842 \text{ см}^4.$$

Але відомо, що:

$$\frac{\Delta t_{\text{опт рш}}}{\Delta t_{\text{сн нш}}} = \frac{P_{K_{\text{рш}}}}{P_{K_{\text{рр}}}}. \quad (4)$$

З (3) та (4) знайдемо для рейкошпальної решітки в зоні рамної рейки

$$\Delta t_{CT-PP} = \frac{\Delta t_{CT-PШ} \sqrt[4]{J_{PP-PP}}}{\sqrt[4]{J_{PP-PШ}}} = 0,934 \Delta t_{CT-PШ} . \quad (5)$$

Для зони рамних рейок, де одна рейка пряма, а інша має кривизну радіусом, близьким до радіусу гострия, величина Δt_{CT} може бути визначена як середня для прямої та кривої ділянки, з урахуванням коефіцієнта у виразі (6.3), тобто, якщо прийняти $\Delta t_{CT-PШ}$ за нормативними даними [5]

$$\Delta t_{CT-PP} = 0,934 \Delta t_{CT-PШ} = 0,934 \left(\frac{\Delta t_{CT\infty} + \Delta t_{CT300}}{2} \right), \quad (6)$$

де $\Delta t_{CT\infty} = 57^{\circ}\text{C}$ – допустиме підвищення температури рейкової пліти прямого напрямку;

$\Delta t_{CT300} = 26^{\circ}\text{C}$ – допустиме підвищення температури рейкової пліти з криволінійної рамною рейкою.

Отримаємо з (6.4) $\Delta t_c = \Delta t_{CT-PP} = 38,7 \approx 39^{\circ}\text{C}$

Для більшості станційних колій залізниць України $t_{\max \max} < +58^{\circ}\text{C}$. Отримаємо нижню границю температурного інтервалу закріплення рейкових плітей в зоні стрілочного переводу:

$$\text{mint}_3^P = t_{\max \max} - \Delta t_c = 58 - 39 = +19^{\circ}\text{C}$$

Отриманий результат є задовільним, якщо верхня межа буде забезпечена на рівні не менше $+35^{\circ}\text{C}$, щоб мати ті умови, які є оптимальними для залізниць України.

Висновки. Незалежно від того, чи улаштовані до та після стрілочних переводів зрівнювальні пристрої, які значно знижують додаткові поздовжні температурні сили від суміжних ділянок безстикової колії, виконання рекомендацій, які розроблені на підставі виконаних розрахунків, спроможні значно покращити роботу стрілочних переводів при одночасному підвищенні їх експлуатаційної надійності:

Слід удосконалити конструкцію протиугінних пристроїв за рахунок збільшення на 5 мм розміру отвору в лафетній частині в напрямку, що співпадає з віссю залізобетонного бруса з метою виключення роботи робочої анкерної частини на згин під час дії бічних сил на головку рейки, у тому числі і за рахунок відсутності підуклонки рейок.

У конструкції гострякового протиугінного пристрою – гострякового анкера величину зазора слід збільшити до 15 мм з метою зменшення або

виключення впливу додаткового натиснення рейки, яке створює додатковий опір переведенню гостриків.

Замість скріплень типу КПП-2 або КПП-12 необхідне впровадження більш надійних проміжних скріплень, наприклад КБ65.

Не слід допускати одночасного з'єднання шляхом зварювання стрілочних переводів з безстиковою колією прямого та бічного напрямків, бо існуюча конструкція не відповідає умовам стійкості та міцності при одночасній температурній роботі сусідніх безстикових колій.

Для забезпечення температурних умов укладання та експлуатації безстикової колії з ввареними у її склад стрілочними переводами без зміни конструкції залізобетонних брусів необхідно обов'язково укладати зрівнювальні пристрої.

Без укладання зрівнювальних пристроїв можна експлуатувати безстикові стрілочні переводи у складі безстикової колії виключно такі, що мають нахил рейок. Можливо, що за короткий проміжок часу не можна владнати всі наявні проблеми, та виявити всі недоліки в роботі найскладніших інженерних конструкцій в колійному господарстві. Проте подальші дослідження роботи стрілочних переводів дозволять максимально підвищити експлуатаційну надійність роботи безстикових стрілочних переводів у складі безстикової колії з метою суттєвого зниження експлуатаційних витрат на забезпечення надійної та безпечної експлуатації залізничної колії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектирование железнодорожного транспорта / Под ред. Г.М. Шахунянца // Учебное пособие. – М.: Транспорт, 1972. – 320 с.
2. Расчет и проектирование железнодорожного пути: Учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др.// Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. – М.: Транспорт, 2003. – 486 с.
3. *Шахунянец Г.М.* Железнодорожный путь: Учебник для студентов железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
4. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України: ЦП/0081 [Текст]: Затверджено наказом Укрзалізниці від 25 січня 2002 р. – К., 2002. – 106 с.
5. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути расчеты и проектирование):/ Э.И. Даниленко, С.Д. Тараненко, А.П. Кутах// Под ред. д.т.н. профессора Э.И. Даниленко: Киевский институт железнодорожного транспорта. – К., 2001. – 296 с.

УДК 629.423.1:621.313

Юрий Черных

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ РЕМОНТНОГО ЦИКЛА ЭЛЕКТРОВОЗА С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ

На основании сравнительного анализа эксплуатационных и ремонтных затрат по электровозам с асинхронными и коллекторными тяговыми двигателями предложена схема ремонтного цикла электровоза с асинхронным тяговым приводом.

На основі порівняльного аналізу експлуатаційних і ремонтних витрат по електровозах з асинхронними і колекторними тяговими двигунами запропонована схема ремонтного циклу електровоза з асинхронним тяговим приводом.

Based on comparative analysis of the operating and repairs costs for electric locomotives with asynchronous traction engines and collector proposed by scheme of repairing cycle of an electric asynchronous traction engines.

Ключові слова: аналіз затрат, схема ремонтного циклу електровоза, асинхронний тяговий привід.

Как известно, перспективность электровозов с асинхронным тяговым приводом заключается прежде всего в отсутствии коллекторно-щеточного аппарата, что снимает ограничения по условиям коммутации и механической прочности коллектора, кроме того при одинаковой мощности и других равных параметрах асинхронный тяговый двигатель (АТД) имеет меньшую массу чем коллекторный (КТД) на 10–15 %, уменьшается расход ряда материалов, в частности исключается расход коллекторной меди, а общий расход меди на двигатель снижается в 2–2,5 раза (см. табл. 1) снижается трудоемкость изготовления АТД примерно на 20 %, обслуживания в эксплуатации на 10–15 %, повышается надежность тягового двигателя [1].

Кроме того, использование АТД позволяет реализовать следующие преимущества:

- повышение производительности электровозов за счет увеличения осевой мощности и повышения тяговых свойств;
- автоматизация режимов ведения поезда;
- улучшение энергетических показателей системы электрической тяги на переменном токе в целом;
- повышение надежности и сокращение расходов на содержание и ремонт электровозов в целом за счет бесконтактной силовой схемы и схемы цепей управления.

© Черных Ю. М., 2012

Таблица 1. Данные о расходе активных материалов асинхронных (АД) и коллекторных (КД) тяговых двигателей

	Параметры	НБ-602Ф5 (АД ВЛ86)	НБ-418К6 (КД ВЛ80Р, ВЛ80С)
1	Масса меди двигателя, кг	230	623
2	Масса меди коллектора, кг	0	129
3	Масса электротехнической стали, кг	1458	546
4	Удельная масса двигателя, кг/кВт	4,28	5,51
5	Удельная масса меди, кг/кВт	0,255	0,842
6	Удельная масса стали, кг/кВт	1,62	0,74
7	Мощность продолжительного режима, кВт	900	740
8	Масса двигателя, кг	3850	4080

Так, например, опыт двухлетней эксплуатации электровозов Е1200 на железных дорогах ФРГ показал, что годовые расходы на содержание и ремонт уменьшились более чем в 2 раза (см. табл. 2) (с 97000 до 45000 марок) по сравнению с электровозом ЕА1000, имеющим коллекторный привод, при увеличении объема перевозок на 1 электровоз в 1,5 раза (с 20 млн до 30 млн т. км) [2.8].

Таблица 2. Сравнение годовых затрат на ремонт и обслуживание электровозов с коллекторными и асинхронными тяговыми двигателями на железных дорогах Германии

Показатель	Тип электровоза		Уменьшение (-), увеличение (+), %
	с асинхронным двигателем (Е 1200)	с коллекторным двигателем (ЕА1000)	
Объем работы, млн т. км в год	30	20	+150
Эксплуатационные расходы, ПФ/т. км брутто*, в т. ч.:	2,28	3,04	-130
- затраты на техническое обслуживание и ремонт	0,15	0,485	-320
- затраты на содержание и ремонт, марки	45000	97000	-215
- износ бандажей на 10 тис. км пробега, мм	0,45	0,545	-120
- относительный износ бандажей, % на единицу работы	65	100	-35
- расход песка, кг/млн. т км брутто	176	504	-280
Число отказов в месяц	0,4	0,9	-225

*В эксплуатационные расходы включены расходы на электроэнергию, техническое обслуживание и ремонт, заработная плата, стоимость подвижного состава и системы энергоснабжения.

В результате удельная стоимость перевозок при использовании указанных локомотивов уменьшилась в 1,3 раза (с 3,04 до 2,28 пфеннигов на 1 т. км). Снижению затрат на обслуживание и ремонт электровоза с АТД способствует высокая надежность оборудования: количество отказов не превышает 0,4 на электровоз в месяц (для электровоза ЕА1000 тот же показатель равен 0,9). Повышенные противобоксовочные свойства асинхронного привода обеспечивают уменьшение износа рельсов и бандажей колес, а также увеличение реализуемого коэффициента сцепления (на 20-40% в диапазоне скоростей 0-40 км/ч, максимальные абсолютные значения в пусковой области достигали значения 0,42). Отмечено также, что, несмотря на увеличенную на 50% массу состава, расход песка на электровозе Е1200 сократился по сравнению с электровозами ЕА1000 более чем в 2 раза.

Исследования, проведенные на германских дорогах (по электровозам Е1200, Е120, 182.001, BR121-АТД; 156, 183, 243/112/- КТД), показывают, что стоимости содержания в эксплуатации электровоза с КТД и электровоза с АТД соотносятся в следующей пропорции (см. табл. 3) [3].

Таблица 3. Соотношения стоимости содержания в эксплуатации германских электровозов с коллекторными и асинхронными тяговыми двигателями (Е1200, Е120, 182.001, BR121)

Наименование затрат	Соотношение затрат
Годовые затраты на содержание и ремонт	56:30
Затраты, отнесенные к 1 брутто·км	32:30
Суммарные затраты на эксплуатацию, содержание и ремонт	75:41

По результатам эксплуатационных испытаний электровозов серии Е120 затраты на текущее содержание электровозов ввиду опытного и разнопланового характера их эксплуатации еще не смогли оценить количественно, но общая тенденция по отдельным элементам оборудования была определена. За период испытаний (3 года) трансформаторы, тяговые двигатели и приводы практически не требовали технического обслуживания.

Состояние ходовых частей в процессе испытаний было удовлетворительным, они не требовали специального обслуживания, износы гребней и бандажей колесных пар не превышали установленных значений. Затраты на текущее содержание кузовов электровозов серии Е120 не превышали соответствующих затрат по другим сериям электровозов.

Вследствие отсутствия контроллеров на Е120 расходы на их техническое обслуживание заменяются расходами на техническое обслуживание 4-квadrантного регулятора тока и инвертора. Эти затраты превышали соответствующие затраты на силовые и управляющие электронные устройства электровоза 420. Однако с учетом того, что анализ затрат производился только для пяти электровозов, находящихся в опытной эксплуатации, а часть возникающих отказов имела повторяющийся характер и за рассматриваемый период (3 года) не производилась доработка и усовершенствование рассматриваемых устройств,

следует ожидать, что уровень указанных затрат для серийных электровозов серии E120 будет ниже соответствующего уровня для электровозов серии 420 с КТД.

Специалисты ФРГ считают, что электровозы E120 можно эффективно использовать как при грузовых, так и при пассажирских перевозках, и это приведет к уменьшению парка электровозов и снижению на 5–10 % капиталовложений и эксплуатационных расходов, в т.ч. можно ожидать экономии электроэнергии в пассажирском движении на 3–7 %, а в грузовом – на 8–10 %.

Имеется опыт эксплуатации электровозов с АТД на железных дорогах США с 1982 г., где на начало 1989 г. общее их количество достигало 400 единиц и был заключен договор с фирмой ABB Traction на изготовление еще 130 секций типа Agrow-III для фирмы «Нью Джерси транзит» (см. табл. 4). Стоимость электропоезда с АТД и тиристорными преобразователями составляла (на 1990 г.) 250 тыс. долл. США, а традиционного электропоезда с двигателями постоянного тока со ступенчатым контактно-реостатным регулированием – 230 тыс. Однако ремонтные затраты за весь срок эксплуатации поезда составляют в первом случае 449 тыс. долл., во втором – 678 тыс., т.е. уменьшаются в 1,5 раза. На основании этого сделан вывод о том, что следует ожидать как массовых заказов на новые электропоезда, так и модернизации существующего подвижного состава с целью замены коллекторных тяговых двигателей постоянного тока на АТД [4].

Таблица 4. Затраты на ремонт электропоездов на ж.д. США за период их эксплуатации

Наименование затрат	Электропоезд	
	с асинхронными двигателями и тиристорными преобразователями	с коллекторными двигателями постоянного тока со ступенчатым контактно-реостатным регулированием
Ремонтные затраты, тыс. долл. США (по сост. на 1989 г.)	449 (при стоимости электропоезда 250 тыс. долл.)	678 (при стоимости электропоезда 230 тыс. долл.)

На британских железных дорогах намечается массовый переход на ЭПС переменного тока 25 кВт 50 Гц на АД; обеспечено снижение массы ТД в 2 раза и значительно повышена его надежность. Сейчас пробег применяемых коллекторных тяговых двигателей до отказа составляет 804 тыс. км, при переходе на АТД этот показатель будет улучшен в 1,5 раза [7].

Эксплуатация и испытания новочеркасских электровозов показывает, что использование АТД повышает надежность и сокращает расходы на содержание и ремонт.

При сопоставлении в идентичных условиях эксплуатации электровозов ВЛ85 и ВЛ86 оказалось, что эксплуатационные затраты на выполнение годового объема перевозок при использовании электровозов с АТД уменьшились с 5 млн 433 тысяч до 5 млн 413 тысяч рублей, в т.ч. затраты на ремонт и реновацию электровозов с 503 тыс. до 426 тысяч рублей, т.е. уменьшились на 15 %. Капитальные вложения у потребителя уменьшились с 1 млн 138 тыс. до 1 млн 66 тыс., а всего затраты у потребителя – с 6 млн 571 тыс. до 6 млн 479 тыс. рублей (см. табл. 5) [5].

Таблица 5. Сравнительный анализ затрат на выполнение годового объема перевозочной работы

Показатель	Тип электровоза		Отношение к ВЛ85, %
	ВЛ86 с асинхронным двигателем	ВЛ85 с коллекторным двигателем	
Эксплуатационные затраты, т. р. в т. ч. на:	5413	5433	99,6
ремонт и реновацию локомотивов	426	503	85
ремонт и реновацию вагонов	1520	1518	100,1
содержание локомотивных бригад	165	177	93
ремонт, содержание и одиночную смену материалов верхнего строения пути	1353	1333	101
тормозные колодки	152	143	106
потребляемую электроэнергию	2101	2037	103
обслуживание постоянных устройств	0	8	-
Капитальные вложения у потребителя, в т.ч.:			
стоимость вагонов	495	514	96
стоимость грузов в пути	572	594	96
дополнительные расходы в постоянные устройства на развитие пропускной способности	0	29	-
Всего затрат у потребителя	6479	6571	98

Здесь необходимо отметить, что для преобразовательных устройств и систем управления электровоза ВЛ86 использовались электронные компоненты, а также конденсаторы с достигнутыми в настоящее время (в странах бывшего СССР) технико-экономическими параметрами. При использовании преобразовательных устройств, разработанных западноевропейскими фирмами, эффект от применения электровозов с АТД должен возрасти.

В качестве иллюстрации этого тезиса можно привести опыт эксплуатации на государственных ж.д. Норвегии электровозов с АТД серии EL17, разработанных совместно фирмами BBC и Хеншель.

При эксплуатации электровозов с фазным тяговым приводом, оборудованных четырехквadrантным преобразователем, потребляемый из контактной сети ток на 18–20 % меньше, чем у электровозов с фазовым регулированием напряжения, причем эти данные не учитывают экономии электроэнергии вследствие применения рекуперативного торможения.

Известно, что пробег любого электровоза во многом зависит от эксплуатационной готовности, в частности, частоты отказов, которые распределялись в течение года следующим образом:

– ползуны, повреждения буксовых подшипников	– 4
– пневматическое оборудование, тормоза	– 1
– токоприемник	– 3
– тяговое оборудование, высоковольтные устройства	– 4
– вспомогательные машины (питание)	– 5
– электронная аппаратура	– 8
– прочее электрооборудование	– 13
– причина отказа неизвестна	– 9
Итого	47

Число отказов приблизительно соответствует среднему значению этого показателя у локомотивов других типов (порядка 40). Явного снижения числа отказов пока нет, что объясняется появлением некоторых новых неисправностей, во многом случайных и распространяющихся на большее число систем или узлов. Тем не менее среднесуточный пробег электровоза с АТД (EL17) на 5-16% выше чем у электровоза с КТД (EL16, EL14) при меньшей среднемесячной продолжительности работы.

Кроме того на величину пробега сравнительно сильное влияние оказывают работы по техническому обслуживанию.

Система профилактического технического обслуживания электровозов серии EL17 построена, в принципе, таким же образом, как и локомотивов с КТД. На норвежских ж.д. различают технические осмотры (К), проводимые в локомотивном депо, текущие ремонты (Т) в локомотивных мастерских, а также средний и капитальный ремонт (Р), осуществляемые на ремонтных заводах.

Уменьшение трудоемкости ремонта и обслуживания электровозов с АТД позволили увеличить продолжительность работы между техническими осмотрами К2 с 3 суток до 4–6 суток (см. табл. 6), а норму пробега между текущими ремонтами Т1 с 15 тыс. км до 25 тыс.; между текущими ремонтами Т2 – с 30–50 тыс. км до 100 тыс., и полностью исключить текущие ремонты Т3, проводящиеся через 60–100 тыс. км пробега электровозов с КТД и Т4 (через 180–200 тыс. км), Т5 (через 400 тыс. км) [6].

Таблица 6. Эксплуатация подвижного состава на государственных железных дорогах Норвегии (фирмы изготовители: BBC, Hensehel)

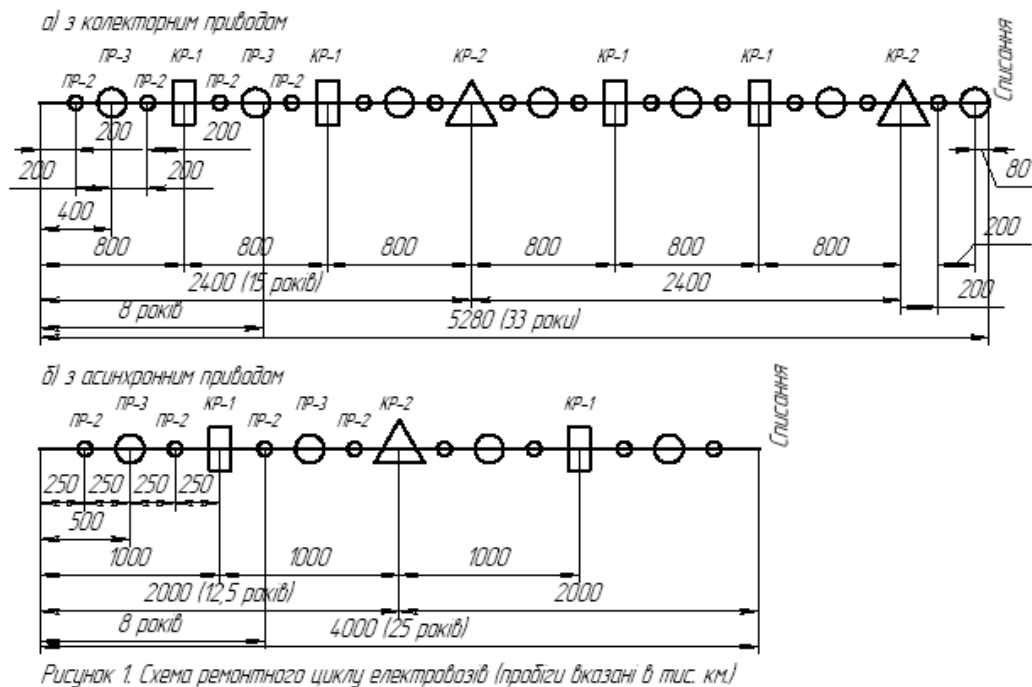
Наименование	Тип электровоза		
	С асинхронными тяговыми двигателями (EL17)	С коллекторными тяговыми двигателями	
		(EL16) с фазовым регулированием напряжения	(EL14) со ступенчатым регулированием напряжения
1. Нормы пробега между осмотрами и ремонтами:			
Технический осмотр К1, сут.	1	1	1

Продолжение табл. 6

Технический осмотр К2, сут.	4-6	7	3
Текущий ремонт Т1, тыс. км	25	25	15
Текущий ремонт Т2, тыс. км	100	50	30
Текущий ремонт Т3, тыс. км	-	100	60
Текущий ремонт Т4, тыс. км	-	200	180
Текущий ремонт Т5, тыс. км	-	400	-
Средний ремонт R1, тыс. км	600	1200	700-900
Капитальный ремонт R2, тыс. км	1200	-	1400-1800
2. Показатели использования:			
Среднемесячный пробег, тыс. км	16,5	15,6	13,8
Среднемесячная продолжительность работы, локомотиво-сутки	21,25	23,5	25,75

Учитывая все изложенное при разработке схемы ремонтного цикла для электровоза с асинхронным тяговым приводом типа ДС-3, спроектированного и изготовленного научно-производственным комплексом «Электровозостроение» из схемы ремонтного цикла, применяемого для электровозов с КТД, были исключены, ТО-2 и ТР-1, а нормы пробега между ТО-3 увеличены с 10 до 125 тыс. км, между ТР-2 – с 200 до 250 тыс. км, между ТР-3 – с 400 до 500 тыс. км, между КР-1 с 800 до 1000 тыс.км.

Предлагаемая схема ремонтного цикла электровоза с асинхронным тяговым приводом приведена на рис.1.



ЛИТЕРАТУРА

1. Жулев О.Н., Иванченко Н.К., Курочка А.Л., Янов В.П.. Проблемы создания электровазов с асинхронными тяговыми двигателями. – М.: Известия высших учебных заведений, «Электромеханика», № 11, 1983.
2. Трехфазный асинхронный тяговый электропривод на локомотивах промышленного транспорта. Экспресс-информация. – Промышленный транспорт. №13, 1980 г. Teich Werner. Drehstrom-Antriebstechnik fur Industrielokomotiven. "Eisenbahntechn. Rundsch". 1979, №11, 813-819, 819-822 (нем).
3. Испытания электроваза с асинхронным тяговым приводом. – М.: Железнодорожный транспорт. – Реферативный журнал, 21Л, Электрооборудование транспорта, 1980, № 7.
4. Эксплуатация электровазов с асинхронными тяговыми двигателями на железных дорогах США. – М.: Железнодорожный транспорт, реферативный журнал, 11В, Техническая эксплуатация подвижного состава и тяга поездов, 1990, № 1.
5. Манаенко В.В., Швец Т.Е. Техничко-економические аспекты создания электровазов с асинхронным тяговым приводом. – Н.: Электровазостроение, т. 28, 1987.
6. Крот Я., Растен Э.. Опыт эксплуатации электровазов серии EL17 с трехфазным тяговым приводом. – М.: Железные дороги мира, 1989, № 4.
7. Преимущества электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями, реферативный журнал. 11В, 1990, №2, 2В65 Special train to test new energy saving traction motors//Railways. – 1989. – aug-sept. С. 39-англ.
8. Трехфазные локомотивы на частных железных дорогах ФРГ. – Реферативный журнал. 11В, 1988, 11Л61.

УДК [629.423.15:621.333](035)

Юрий Черных

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПРУЖИН РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Дан анализ отказов пружин рессорного подвешивания промышленных электровозов, эксплуатируемых в разных климатических зонах на горных предприятиях; проведены тензометрические исследования пружин рессорного подвешивания в реальных условиях эксплуатации. Получены осциллограммы изменения нагрузок в пружинах электровоза и моторного думпкара, определены усилия в пружинах, частота колебаний изменения нагрузок, периодичность. Определены максимальные и минимальные усилия и касательные напряжения в пружинах рессорного подвешивания.

Подано аналіз відмов пружин рессорного підвішування промислових електровозів, які експлуатуються в різних кліматичних зонах на гірничих підприємствах; проведені тензометричні дослідження пружин рессорного підвішування в реальних умовах експлуатації. Отримані осцилограми зміни навантажень в пружинах електровоза і моторного думпкара, визначено зусилля в пружинах, частота коливань зміни навантажень, періодичність. Визначено максимальні і мінімальні зусилля і дотичні напруження в пружинах рессорного підвішування.

The analysis of failures spring suspension springs, industrial locomotives operating indifferent climatic zones in mining enterprises, research carried out strain-gaugespring suspension springs in actual use. Received waveform changes in the loadsprings and an electric motor dumpcars determined effort in the springs, the oscillation frequency change of load, the frequency. Defined minimum and maximumeffort and tangential stresses in the springs of spring suspension.

Ключевые слова: отказы, пружины рессорного подвешивания электровозов, динамическая нагруженность.

Днепропетровским научно-производственным комплексом «Электровозостроение» серийно выпускаются тяговые агрегаты (промышленные электровозы) постоянного и переменного тока. Это мощные комплексы, состоящие из электровоза управления и двухмоторных думпкаров (тяговые агрегаты постоянного тока типа ПЭ2У, ПЭ2М) или электровоза управления, моторной

© Черних Ю.М., 2012

дизельной секции и моторного думпкара (тяговые агрегаты переменного тока типа ОПЭ1А, ОПЭ1Б) с силой тяги, соответственно 681 и 650 кН, мощностью 5460 и 5325 кВт в часовом режиме. Более 400 таких локомотивов эксплуатируется сейчас на горнорудных предприятиях министерств черной и цветной металлургии, угольной промышленности и промышленности строительных материалов, в Украине, Узбекистане, Казахстане, России.

Все тяговые агрегаты работают устойчиво и показывают высокую эксплуатационную надежность, однако работоспособность ряда узлов не соответствует современным требованиям.

Значительное число отказов приходится, в частности, на пружины рессорного подвешивания, что вызывается специфическими условиями эксплуатации локомотивов на постоянных и передвижных путях карьеров. Результаты осцилографирования процесса работы этих пружин в условиях горно-обогатительного комбината показали, что они испытывают большие динамические нагрузки, которые вызывают касательные напряжения в витках, иногда превышающие допустимые.

Повреждаемость пружин рессорного подвешивания подвижного состава изучалась рядом исследователей [2, 3, 5, 6, 7]. Практически во всех работах отмечается усталостный характер поломок пружин. Основной причиной появления трещин усталости является наличие дефектов на поверхности прутков и обезуглероженность поверхностного слоя [1, 4].

При анализе отказов тяговых агрегатов выбирались места эксплуатации, расположенные в разных климатических зонах: Заполярье – Оленегорский горно-обогатительный комбинат (ОГОК), Средняя Азия – производственное объединение «Средазуголь», Урал – производственное объединение «Челябинскуголь», средняя полоса Европейской части страны – Лебединский горно-обогатительный комбинат (ЛГОК).

Результаты анализа представлены в табл. 1

Таблица 1. Данные по эксплуатации тяговых агрегатов

	Тип агрегата			
	ПЭ2М, ПЭ2У			ОПЭ1А
	Предприятия			
	ОГОК	ПО Челябин скуголь	ПО Средаз уголь	ЛГОК
Количество эксплуатируемых агрегатов, шт.	22	15	23	20
Количество отказов по пружинам рессорного подвешивания	95	30	48	62
Время простоя агрегата в связи с одним отказом пружины, ч.	4	3	8	4

Анализ эксплуатационных данных показывает, что по приведенным предприятиям отказывает в год примерно 11% пружин рессорного подвешивания. Излом пружин связан в основном, с началом разрушения на внутренних волокнах рабочих витков. Такие разрушения обусловлены высоким уровнем действующих напряжений.

Для определения величин этих напряжений были проведены тензометрические исследования пружин рессорного подвешивания, в реальных условиях эксплуатации тягового агрегата на горно-обогатительном комбинате. В результате проведенных исследований получены осциллограммы изменения нагрузок в изучаемых пружинах, которые представлены на рис. 1. В нижней части рисунка изображена напряженность пружины рессорного подвешивания электровоза, в верхней – пружины рессорного подвешивания моторного думпкара. Нулевые линии осциллограмм расположены, соответственно, ниже изменяющихся величин.

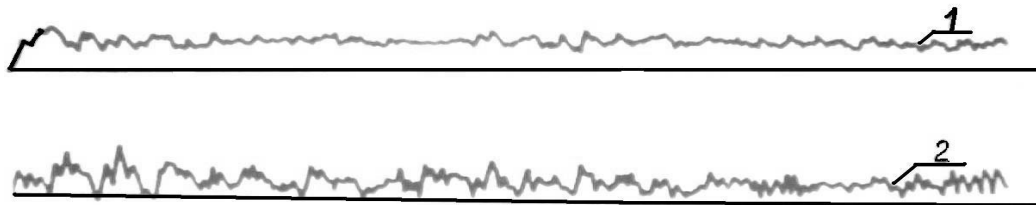


Рис. 1. Типовая осциллограмма измерения усилий в пружинах рессорного подвешивания тягового агрегата постоянного тока типа ПЭ2М

- 1 – Пружина моторного думпкара
- 2 – Пружина электровоза.

Расшифровка осциллограмм позволила сделать следующие выводы:

1. Усилие в пружине электровоза изменяется, в основном, по знакопостоянному асимметричному циклу. Частота колебаний изменения нагрузок находится в пределах 2...4 Гц, а периодичность – 0,25...0,5 с. Коэффициент асимметрии цикла изменяется на всем промежутке осциллограммы и имеет значение 0,2...0,6. Максимальное усилие составляет 27,6 кН, минимальное – 2,2 кН, касательные напряжения, соответственно, – 237 МПа и 18,9 МПа.

2. Усилия в пружине думпкара также изменяются по знакопостоянному асимметричному циклу. Частота колебаний 1...3 Гц, периодичность изменения нагрузки 0,35...1 с. Коэффициент асимметрии цикла колеблется также в достаточно широком диапазоне – 0,35...0,65. Максимальное усилие составляет 32,9 кН, минимальное – 23,3 кН. Экстремальное значение напряжений кручения в витках пружины думпкара достигает 277 МПа. Наиболее часто встречающееся значение напряжений – 167...176 МПа.

Литература

1. *Зарембо Е.Г.* О влиянии обезуглероживания на долговечность рессор и пружин // *Вопр. повышения долговечности деталей ж.-д. тр-та*: Тр. Моск. ин-та инж. ж.-д. тр-та. – 1962. – Вып 160.
2. *Иванников Д.Г.* Наклеп дробью как средство увеличения долговечности железнодорожных рессор и пружин // *Вестн. машиностроения*. – 1953. - №10. – С. 59-68.
3. *Иванников Д.Г.* Состояние рессорного хозяйства и пути его улучшения на железнодорожном транспорте // *Усовершенствование технологии пр-ва деталей подвижного состава*: Тр. Моск. ин-та инж. ж.-д. то-та. – 1957. Вып. 93. – С 125-185.
4. *Листгартен Д.С.* Влияние состояния поверхности и термообработки на усталостную прочность рессорной стали // *Повышение усталостной прочности деталей машин поверхностной обраб.* – М.: Машгиз, 1952. –С. 177-199.
5. *Черепанов А.М.* Анализ эксплуатационных повреждений пружин рессорного подвешивания локомотивов // *Динамические исследования подвижного состава железных дорог*: Тр. Уральск. электромеханическ. ин-та инж. ж.-д. тр-та. – 1969. – Вып. 28. – С. 23-32.
6. *Шапиро Е.А.* Исследование напряженного состояния и усталостной прочности винтовых пружин тележки грузового вагона // *Тр. Уральск. юбил. науч. сессии по итогам н.-и. работ в обл. машиностроения*. – Курган, 1968. – С. 37-46.
7. *Шашин М.Я.* Дробеструйное упрочнение в напряженном состоянии деталей, работающих при переменном кручении // *Вестн. машиностроения*. – 1963. – №4. – С. 63-56.

УДК 629.4.014.24

*Юрій Черняк
Андрій Гаюр
Михайло Ревчук*

АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ ПУТЕМ УСТАНОВКИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

У даній статті запропонований один із способів вирішення питань енергозбереження на залізничному транспорті, шляхом встановлення накопичувачів енергії на електропоездах, для зменшення витрат електричної енергії на тягу рухомого складу. Проведений теоретичний аналіз існуючих накопичувачів електричної енергії.

В данной статье предложен один из способов решения вопросов энергосбережения на железнодорожном транспорте путем установки накопителей энергии на электропоездах для уменьшения расходов электрической энергии на тягу подвижного состава. Проведен теоретический анализ существующих накопителей энергии.

The article researches one of the ways to solve a problem of energy saving on rail transport by the way of installation energy storage devices on electric trains to decrease costs for electricity used in traction of a rolling stock. The theoretical analysis of existing energy storage devices is conducted.

Ключевые слова: накопители энергии, аккумуляторный накопитель, сверхпроводящий накопитель, инерционный накопитель, суперконденсаторы.

В связи с острыми, в последнее время, вопросами энергосбережения и рационального использования энергетических ресурсов, активно исследуется идея создания гибридного транспорта. Широкое использование чисто электрического транспорта плотно связано с решением проблем создания батарей, которые обладают высокой удельной энергией. В большом количестве теоретических исследований и экспериментов изучается возможность использования достаточно мощного накопителя энергии, который способен осуществлять рекуперацию энергии торможения подвижной единицы и отдавать накопленную энергию для ускорения движения.

В решении транспортных проблем больших городов нашей страны в целом и их связь с населенными пунктами весомое место занимают пригородные перевозки, а

© Черняк Ю.В., Гаюр А.В., Ревчук М.О., 2012

именно, использование для перевозки пассажиров мотор-вагонного подвижного состава (электропоездов).

Характерным для электропоездов режимом работы есть: разгон – движение на выбеге – торможение – стоянка, что обусловлено небольшим между остановочным расстоянием посадочных узлов (станций, посадочных платформ и т.п.) и сравнительно высокой загруженностью участков их оборотов, что предусматривает быстрый разгон до установленной скорости и частые остановки.

Такой режим движения электропоездов ставит задачу уменьшения использования электрической энергии, которая потребляется из внешней тяговой сети, путем использования рекуперации при торможении и накоплении этой энергии для дальнейшего ее использования при разгоне.

Нынешний электротранспорт, как правило, использует реостатное электрическое торможение, когда энергия, которая генерируется электродвигателями, поступает на резисторы и преобразовывается в тепло. Эффективность рекуперативного торможения, которое используется на некоторых линиях железных дорог, когда энергия возвращается непосредственно в контактную сеть, в реальных условиях не превышает 8-10%. Это связано с тем, что рекуперированная энергия своевременно не потребляется другими электропоездами, которые разгоняются, и фактически бесплатно передается поставщику либо теряется на нагрев контактного провода. Часто рекуперация не используется вследствие возникновения больших перегрузок в сети поезда и на подстанциях, что приводит к срабатыванию защитного оборудования или выхода его из строя, поэтому рекуперированную энергию целесообразно использовать для дополнительного питания того же электропоезда без возвращения в электрическую сеть.

Известны следующие разновидности накопителей: аккумуляторные, сверхпроводящие, инерционные и высокоемкостные конденсаторы.

Аккумуляторный накопитель. В качестве накопителей можно использовать батареи свинцовых и никель-кадмиевых аккумуляторов. Другие типы аккумуляторов не могут быть использованы из-за неудовлетворительных экономических показателей.

Высокую кратковременную мощность можно получить только при очень большой емкости батареи аккумуляторов, что обуславливает большие размеры и массу накопителя. К другим недостаткам аккумуляторных батарей относятся невысокая циклическая стабильность и, следовательно, ограниченный срок службы, а также наличие в них кислоты, свинца, кадмия и других экологически опасных материалов.

По этим причинам аккумуляторные батареи, вероятно, не найдут применения в качестве накопителей энергии для систем тягового электроснабжения.

Сверхпроводящий накопитель. Речь идет о современном принципе накопления энергии с помощью сверхпроводящих электромагнитов. Такие накопители используют в настоящее время только в сложной медицинской аппаратуре и в системах, где необходимо бесперебойное электроснабжение. Пригодность накопителей на сверхпроводящих катушках для работы в условиях городских и пригородных железных дорог представляется проблематичной.

Инерционный накопитель. Первые публикации о применении инерционных накопителей, или гидроаккумуляторов, появились еще в 1992 г. С тех пор значительно возросла прочность материалов, из которых их изготавливают, что позволяет при большой частоте вращения накапливать значительное количество

енергии в небольшой массе. На периферии маховика возникают слишком большие для традиционных материалов центробежные силы, поэтому его изготавливают из композитов с армирующим углеродным волокном.

Новые силовые полупроводниковые приборы, обладающие высоким быстродействием и низкими потерями, позволили создать статические преобразователи для привода скоростных электрических машин, работающих в чередующемся двигательно-генераторном режиме и являющихся звеном преобразования накапливаемой энергии.

Прогресс в области магнитных, а также сверхпроводящих материалов для электромагнитов позволил создать «магнитные подшипники» без трения для быстро вращающихся масс (в данном случае ротора и маховика), не требующие технического обслуживания в течение долгого времени.

Высокоемкостные конденсаторы (суперконденсаторы).

Суперконденсаторами, или ионисторами, называют конденсаторы большой электрической емкости, накапливающих энергию в двойном электрическом слое на поверхности высокопористой структуры. Они характеризуются: большой удельной емкостью; большой удельной мощностью; низкими токами потерь; большим количеством циклов заряд-разряд.

Существуют серии суперконденсаторов емкостью от 10 Фарад до 12,000 Фарад и рабочим напряжением от 1 до 15 Вольт. Удельная энергия приборов достигала 10 кДж/литр, а удельная мощность – 2,9 кВА/литр.

Конденсатор на двойном электрическом слое представляет собой вторичный источник тока, объединяющий в едином приборе свойства аккумулятора и электролитического конденсатора. В частности, обладая плотностью запасаемой энергии, близкой к аккумуляторам, суперконденсатор в тоже время имеет электрические свойства (закономерности изменения емкости при последовательном соединении, симметричные токи заряда и разряда, возможность изменения рабочего напряжения в широком диапазоне, возможность глубокого разряда, большое количество циклов заряда и разряда), характерные для электролитических конденсаторов. Суперконденсатор известен также под другими названиями – ионистор, Ultracapacitor, UltraCap, SuperCap, Supercapacitor.

Обладая уникальным сочетанием свойств, суперконденсаторы в наибольшей степени отвечают требованиям, предъявляемым к накопителям системой тягового электроснабжения пригородных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Habel et al. *Elektrische Bahnen*, 2003, № 7, S. 310 – 314.
2. Варакин И.И., Степанов А.Б. Конденсатор с двойным электрическим слоем // Патент РФ 205 8054. – 3 июня 1992 г.
3. Лаврус В.С. Источники энергии // Серия «Информационное издание», Выпуск 3. – 1997.
4. Инерционный накопитель для тяговой сети // Железные дороги мира. – 2004. – № 4.

УДК 539.374

Наталія Белевцова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ В ДВУХ
НАПРАВЛЕНИЯХ ПРИ НЕОСЕСИММЕТРИЧНЫХ
НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ
ИСТОРИИ ИХ ПРОТЕКАНИЯ**

В статье исследуются траектории деформирования оболочки вращения переменной жесткости в двух направлениях при неосесимметричных неизоотермических процессах нагружения с учетом истории их протекания.

В статті досліджено траєкторії деформування оболонок обертання жорсткості у двох напрямках при неосесиметричних неізотермічних процесах навантаження з урахуванням історії їх перебігу.

The paper investigated the trajectory of deformation of shells of rotation stiffness in two directions at neosesymetrychnyh non-isothermal processes of loading, taking into account the history of their course.

Ключевые слова: оболочка вращения, неизоотермические процессы, траектории деформирования.

Настоящая работа является продолжением работ [1-4]. В ней исследуются траектории деформирования оболочки вращения переменной жесткости в двух направлениях, которая находится под действием неосесимметричных поверхностных сил и неравномерного нагрева. Задача решается на основе основных зависимостей теории тонких оболочек Новожилова [5], гипотез Кирхгофа-Лява в квазистатической и геометрически-линейной постановке. Используется теория простых процессов нагружения [6] с учетом истории их протекания [7]. Физические соотношения линеаризируются методом последовательных приближений в форме переменных параметров упругости [7,8]. Механические характеристики материала считаем зависимыми от температуры, деформации ползучести не учитываем. Разрешаются системы управлений для такого класса задач, полученного в [1], и имеет такой вид:

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial S} = \Phi \left(\bar{N}; \frac{\partial \bar{N}}{\partial \theta}; \frac{\partial^2 \bar{N}}{\partial \theta^2}; \frac{\partial^3 \bar{N}}{\partial \theta^3}; \frac{\partial^4 \bar{N}}{\partial \theta^4} \right), \quad (1)$$

где $\bar{N}$ – вектор разрешающих функций.

© Белевцова Н. Л., 2012

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

К решению (1) применяем метод интегральных соотношений. Численно задачу решаем методом Рунге-Кутты с дискретной ортогонализацией по С.К. Годунову [9].

Исследуем влияние истории нагружения на напряженное состояние оболочки вращения с переменной жесткостью в меридиональном и окружном направлениях. С этой целью рассмотрим термоупруго-пластическое напряженное состояние оболочки вращения со сложной формой меридиана переменной жесткости в двух направлениях. Геометрию оболочки приведем на рис. 1. Толщина оболочки изменяется вдоль окружной координаты по закону:

$$h = h_0(1 + 0,5 \cos \theta), \quad (2)$$

где h_0 – значение толщины оболочки, определяющееся для бочкообразного звена зависимостью:

$$h_0 = \frac{h_k - h_n}{t_n} t + h_n, \quad (3)$$

Здесь h_n , h_k – значение толщин оболочки в сечении $\theta = \pi/2$ – в начале и конце бочкообразного звена соответственно; t – текущее значение угла t_n . Для цилиндрической части $h_0 = \text{const}$.

Оболочка находится в условиях конвективного теплообмена. Температура среды, омывающей оболочку с наружной поверхности, изменяется по закону:

$$\theta_1 = (380 - 360 e^{-0,3t_c}) (1 + 0,25 \cos \theta) [1 - 0,002(S - S_0)] \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

где t_c – время; S_0 – начальное и текущее значения меридиональной координаты. Внутренняя поверхность оболочки, также как правый и левый торцы ее, теплоизолированы. Теплофизические характеристики материала оболочки в процессе нагревания следующие:

$$\lambda = 0,1163 \text{ Вт/см} \cdot \text{град} ; \alpha_1 = 0,1163 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град} ; \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0 ; \quad \alpha = 0,037 \text{ см}^2 / \text{с}.$$

Температурное поле оболочки получено путем решения задачи теплопроводности, по методике, предложенной в работе [7], при разбиении оболочки: $K_s = 53$, $K_\theta = 19$, $(0 \leq \theta \leq \pi)$, $K_z = 5$.

По толщине оболочки температура аппроксимировалась полиномом пятой степени, и в решении удерживалось две гармоники по косинусам. Оболочка выполнена из стали ЭИ-435. Слева оболочка жестко закреплена, а справа шарнирно оперта. Граничные условия выражаются через основные разрешающиеся функции [1] и имеют вид: слева – $U_r = U_z = v = v_s = 0$, справа – $M_s = N_z = U_r = v = 0$.

Расчет оболочки проводился при следующем разбиении: $K_s = 53$, $K_\theta = 19$, $(0 \leq \theta \leq \pi)$, $K_z = 5$. Искомые функции представлялись первыми двумя, четырьмя и пятью гармониками по косинусам.

Расчет показал, что результаты при представлении искомых функций двумя гармониками отличаются от результатов с четырьмя гармониками на 10–13 % по деформациям и на более 7 % по напряжениям. Учет же пятой гармоники уточняет результаты, полученные при представлении искомых функций четырьмя первыми гармониками, не более 0,9 %. Поэтому в расчете искомое решение представлялось четырьмя первыми гармониками по косинусам.

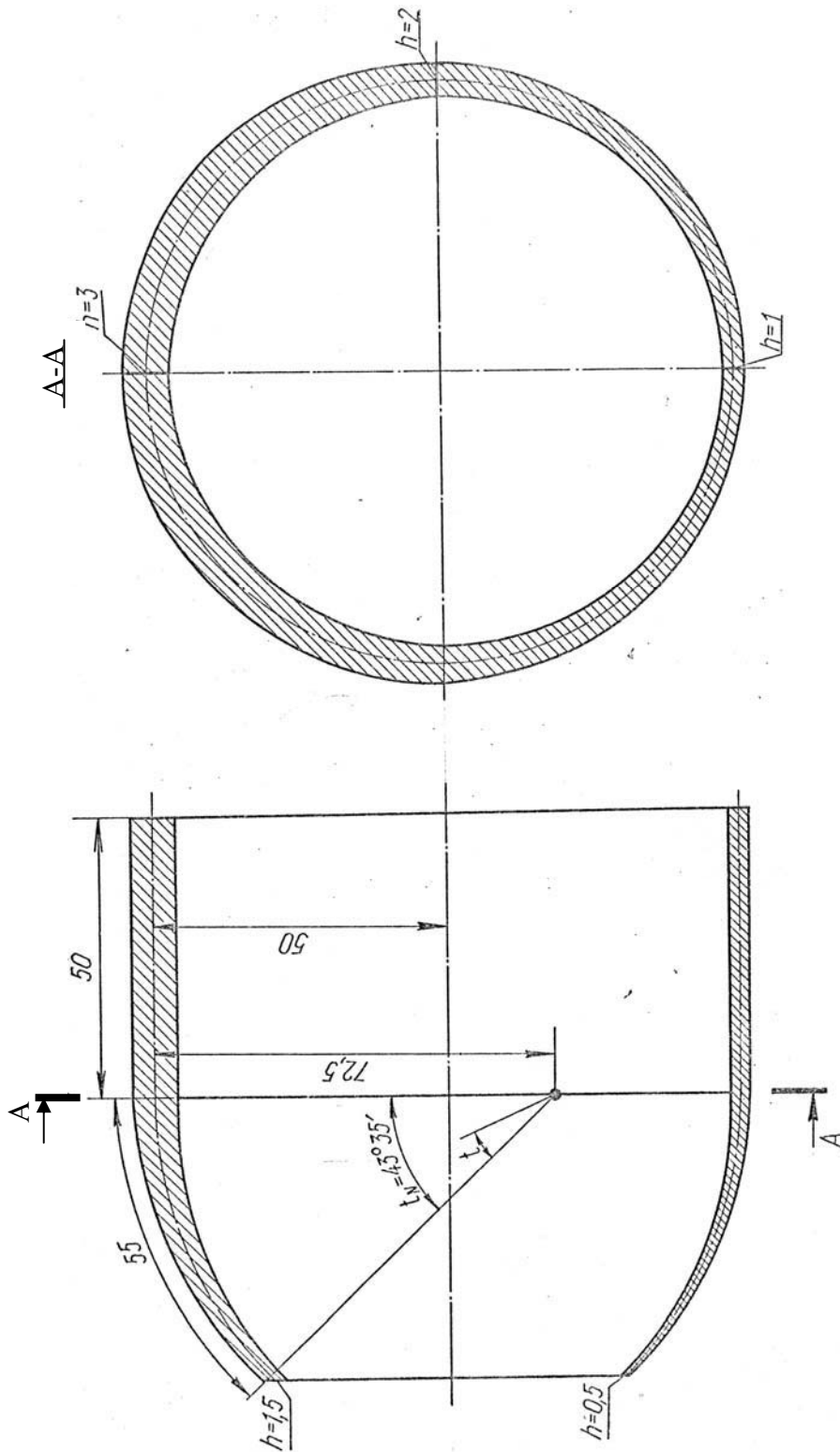


Рис. 1. Оболочка вращения со сложной формой меридиана

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

Для проверки достоверности полученных результатов задача просчитывалась и с другими вариантами разбиения:

$$1 - K_s = 106, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5 ;$$

$$2 - K_s = 106, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 7 ;$$

$$3 - K_s = 106, K_\theta = 37, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5 .$$

Причем результаты, полученные по первому варианту разбиения и по принятому выше, отличаются не более чем на 1,2%, а по второму и третьему вариантам – не более чем на 2,5% при представлении искомых функций четырьмя первыми гармониками по косинусам.

Расчет проводился поэтапно: до 10 с. – с шагом 1,2 с. (1,2,3,5,7,9,10 с.) и с 10 с. до 30 с. – с шагом 4-8 с. (10, 14,22,30 с.), а также с большим количеством этапов: до 10 с. с шагом 1с. и с 10 до 30 с. с шагом 2 с., максимальное отличие, результатов при этом не превысило 2,6%.

Так как определение переменных параметров упругости [2, 3] и пластических составляющих компонент тензора деформаций в момент начала разгрузки зависят от направленности процесса нагружения, то необходимо ввести в рассмотрение критерий направленности процесса. В качестве этого критерия принимаем приращение интенсивности пластических деформаций сдвига $\Delta\Gamma^p$. Интенсивность пластических деформаций сдвига Γ^p определяется соотношением [7]:

$$\Gamma^p = (1 - 1/2G\psi)\Gamma \quad (6)$$

Тогда условие того, что процесс будет активным

$$\Delta\Gamma^p > 0, \quad (7)$$

при упругой разгрузке

$$\Delta\Gamma^p \leq 0.$$

Соотношения [2, 3] по форме записи совпадают с аналогичными соотношениями для ортотропных упругих оболочек [10], но в случае упругих оболочек жесткостные характеристики зависят только от механических свойств материала оболочки и ее температуры и не зависят от напряженно-деформированного состояния как в рассматриваемом случае.

При исследовании неізотермического процесса нагружения оболочки возникает вопрос о применимости соотношений теории простых процессов нагружения [1 – 4, 7] к описанию этого процесса. Экспериментальные исследования показали, что соотношения теории простых процессов нагружения хорошо описывают процессы деформирования элемента тела по прямолинейным траекториям или мало отклоняющихся от них. Поэтому при исследовании неізотермических процессов нагружения рекомендуется [7] строить траектории деформирования в пятимерном пространстве А. А. Ильюшина [6]. Координаты этого пространства применительно к рассматриваемым процессам деформирования оболочек определяются формулами [7]:

$$\Theta_1 = \sqrt{\frac{3}{2}}\ell_s; \quad \Theta_2 = \sqrt{2}\left(\frac{1}{2}\ell_s + \ell_\theta\right); \quad (8)$$

$$\begin{aligned}\Theta_3 &= \ell_{s\theta} \sqrt{2}; \quad \Theta_4 = \Theta_5 = 0; \\ \ell_s &= \varepsilon_s^\xi - \varepsilon_o; \quad (S, \theta); \end{aligned} \quad (9)$$

$$\ell_{s\theta} = \varepsilon_{s\theta}^\xi,$$

$$\varepsilon_o = \frac{1}{3} (\varepsilon_s^\xi + \varepsilon_\theta^\xi + \varepsilon_\xi^\xi). \quad (10)$$

По форме построенной траектории можно судить о применимости тех или других соотношений пластичности к исследуемым процессам нагружения. В тех случаях, когда траектории деформирования для всех элементов оболочки окажутся прямыми линиями или пологими кривыми, отклоняющимися от прямой, проведенной через начало координат и точку на траектории, соответствующую пределу текучести материала, на величину, не превышающую след запаздывания векторных свойств материала [7], применяемые здесь соотношения теории простых процессов нагружения хорошо согласуются с экспериментом. При этом наименьший радиус кривизны траектории должен быть больше следа запаздывания. След запаздывания векторных свойств материала определяет память материала и величина его находится из опытов по двухзвенным ломанным. Обычно след запаздывания для упрочняющихся материалов равен 5-10 пределов текучести по деформациям.

Траектории деформирования строим в координатах $\Theta_1 - \Theta_2$, поскольку составляющая Θ_3 мала по сравнению с первыми. Координаты $\Theta_1 - \Theta_3$ определяем согласно зависимостей (8-10). На рис.2 – 4 построены траектории деформирования для значения меридиональной координаты $S=20$ см при $\theta=0$, $\theta=\pi/2$, $\theta=\pi$ для точек наружной поверхности и при $\theta=\pi/2$ для внутренних точек оболочки. На рис.3 приведены траектории деформирования для точек с координатами: $S=97$ см и $\theta=0$, $\theta=\pi/2$, $\theta=\pi$, лежащих на наружной поверхности оболочки. Из рисунков видно, что в оболочке процессы протекают по прямолинейным траекториям.

Построенные траектории дают основание утверждать, что процессы в исследуемой оболочке протекают по прямолинейным траекториям деформирования. Следовательно результаты получены в [2-4] на основании теории простых процессов нагружения с учетом истории их протекания достоверны.

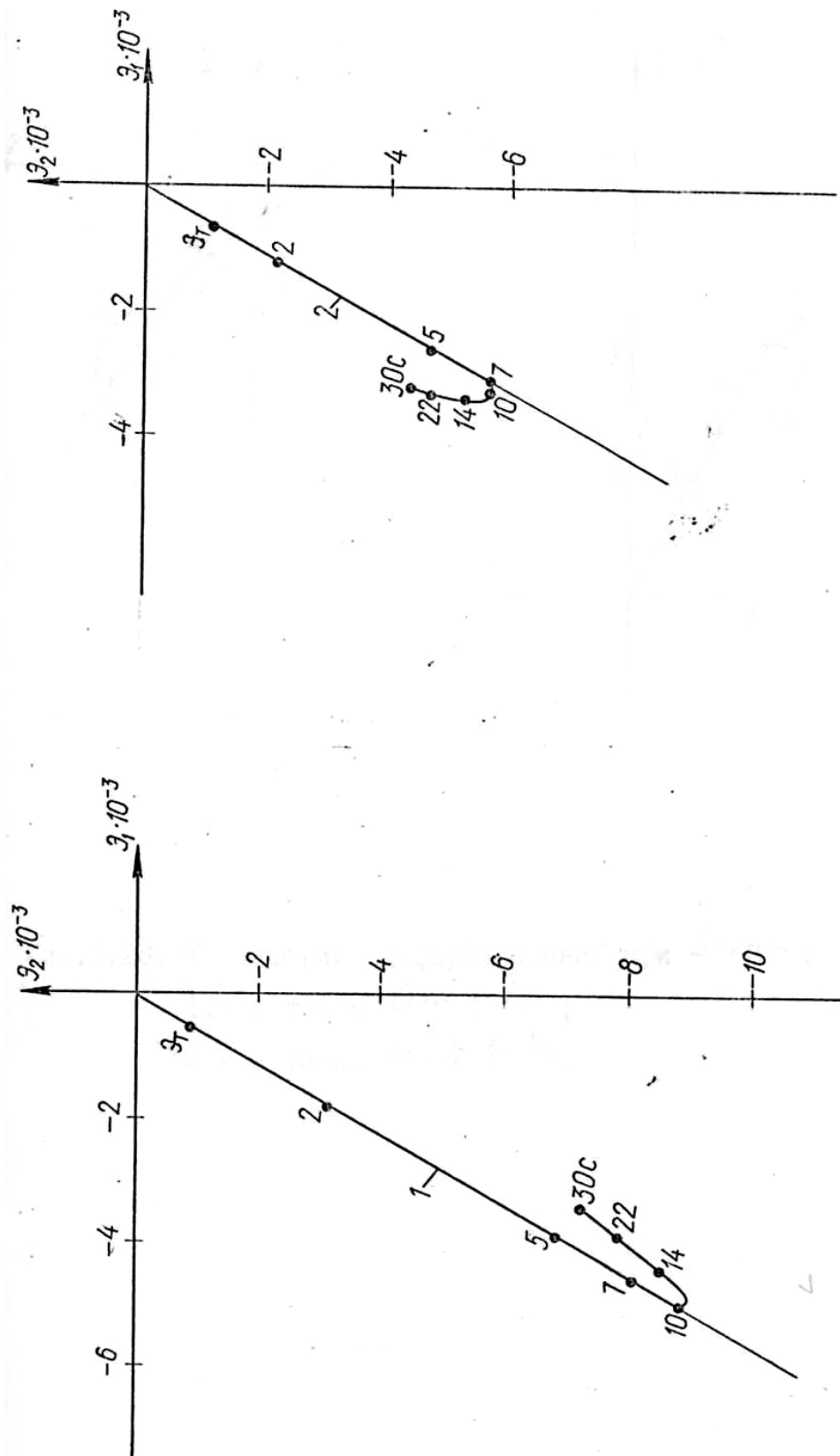


Рис. 2. Траектории деформирования при $S=20$ см: 1 – в точке $\theta=0$, $\xi=h/2$;
2 – в точке $\theta=\pi/2$, $\xi=h/2$

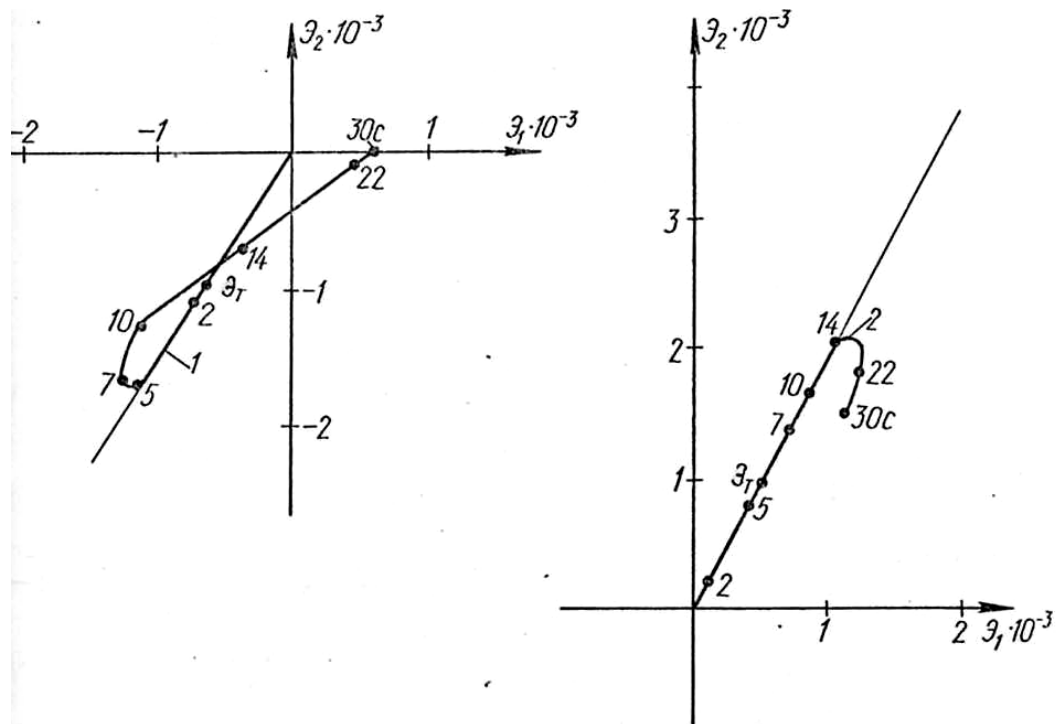


Рис. 3. Траектории деформирования при $S=20$ см:
 1 – в точке $\theta=0, \xi=h/2$;
 2 – в точке $\theta=\pi/2, \xi=-h/2$

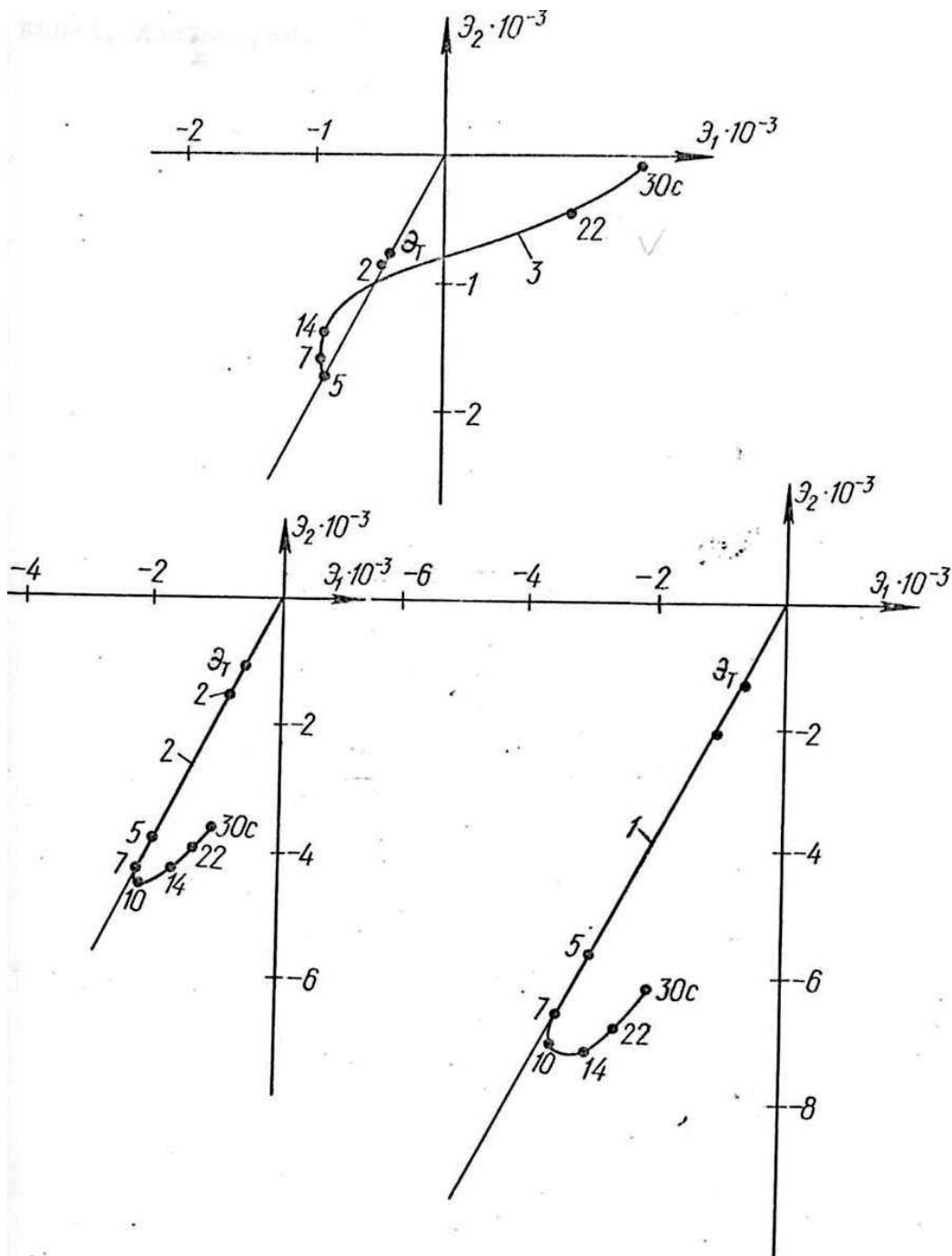


Рис. 4. Траектории деформирования при $S=97$ см:

- 1 – в точке $\theta=0, \xi=h/2$;
- 2 – в точке $\theta=\pi/2, \xi=h/2$;
- 3 – в точке $\theta=\pi, \xi=h/2$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцова Н.Л. Термоупруго-пластическое напряженное состояние оболочек вращения при неосесимметричной нагрузке с учетом истории нагружения // Прикл. механика. – 1982, – 18. – М7. – С. 117-120.
2. Белевцова Н.Л. Исследование влияния истории нагружения на напряженное состояние оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях // Прикл. механика. – 1986. – 22. – №4. – С.109-112.
3. Белевцова Н.Л. Термоупруго-пластическое напряженное состояние несимметричных оболочек вращения с учетом вторичных пластических деформаций // Збірник наукових праць. – КІЗТ, 1998. – том 1. – Вип.2. – С. 196-198.
4. Белевцова Н.Л. Термопружно-пластичний стан оболонки обертання із перемінною жорсткістю у коловому напрямку при простих процесах навантаження з урахуванням їх історії // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2010. – Вип.17. – С. 142-147.
5. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 432 с.
6. Ильюшин А. А. Пластичность. – М.: Гостехиздат. – 1948. – 376 с.
7. Шевченко Ю.Н. Прохоренко И.В. Теория упруго-пластических оболочек при неизоотермических процессах нагружения. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с. – (Методы расчета оболочек: В 5-ти т.; т.3).
8. Биргер И.И. Некоторые общие методы решения задач теории пластичности // Прикл. математика и механика. – 1951. – 15. – № 6. – С.765-770.
9. Годунов С.К. О численном решении задач // Успехи мат. наук. 1961. –16. – №3. – С.171-174.
10. Григорено Я. М. Изотропные и анизотропные оболочки вращения с переменной жесткостью. – К.: Наук. думка, 1971. – 228 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

УДК 510.21, 519.615

Олександр Кільчинський

ДО РОЛІ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ, ЗАДАЧА ПРО НАЙКОРОТШУ ВІДСТАНЬ

Розглянуто вагомую роль математичного моделювання та чисельних методів у розв'язанні проблем практики. Відзначено позитивні, стимулюючі впливи практики математичного моделювання в математичній освіті інженера.

Рассмотрено весомую роль математического моделирования и численных методов в решении проблем практики. Отмечено позитивное, стимулирующее влияние практики математического моделирования на математическое образование инженера.

We consider the important role of mathematical modeling and numerical methods in solving problem practice. Noted a positive, stimulating effect of the practice of mathematical modeling in the mathematics education of an engineer.

Ключові слова: математичне моделювання, чисельні методи, математична освіта.

Математика, як і кожна інша наука, є специфічним відображенням навколишнього світу, що виникло з практичних потреб людини, яка вивчає цей світ. Основною характерною рисою математики є її абстрактність. Ми оперуємо поняттями геометричних форм – точка, лінія, поверхня, – поняттями числа, множини, змінної величини, функціональної залежності тощо, не заглиблюючись у суть тих матеріальних об'єктів, з якими ці поняття пов'язані. Так само відбувається і в інших науках, кожна з яких з моменту виокремлення починає жити своїм власним внутрішнім життям. Природничі науки ґрунтуються на певних уявленнях про ту чи іншу форму руху матерії і постійно підживлюються новими даними про матеріальний світ, не втрачаючи з ним зв'язку і отримуючи натомість можливість активного впливу на нього. Математика, яка у своїй основі спирається тільки на незаперечні істини та логічні висновки з них, не змінюється зі зміною уявлень про навколишній світ, але й не має безпосередньої можливості впливу на нього. Всі впливи математики – тільки через контакти з іншими науками, для яких вона розробляє і постачає загальні математичні методи досліджень. Через специфіку математики як науки, яка вже сталася і може розвиватись, не виходячи за межі

© Кільчинський О.О., 2012

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

свого внутрішнього життя, її зв'язки з навколишнім світом можуть видаватись все більш прихованими. І, особливо, для тих, хто тільки починає її вивчати. За таких обставин студент-початківець скеровує свою увагу тільки на засвоєння та відтворення певного обсягу навчального матеріалу. Але отримуючи готові знання, не підкріплені практикою застосування до розв'язання практичних задач, людина не відчуває їх цінності і не зберігає у пам'яті як щось вагоме, не набуває досвіду самостійного мислення. Самостійне мислення, так потрібне сучасному інженеру, розвивається лише тоді, коли людина розв'язує нестандартні задачі або нехай, навіть, стандартні, – але нестандартними методами. Виходячи з цього, видається корисним, коли на практичних заняттях з математики або при виконанні самостійних робіт студенти отримують можливість долучитися до побудови математичної моделі прикладної задачі і розв'язати цю задачу, спираючись на комплекс ідей дослідження операцій, теорії ймовірностей, математичного аналізу або чисельних методів. Відносно молоді науки дослідження операцій та теорія ймовірностей підтримують достатньо тісні контакти з практикою і налічують багато змістовних прикладних задач, що традиційно зараховуються до числа навчальних. До розділів диференціального та інтегрального числення теж не складає проблеми підібрати багато змістовних прикладних задач на знаходження екстремальних значень, на обчислення площі, довжини дуги, об'єму, положення центра ваги тощо. Несправедливо залишаються у затінку прикладні задачі на застосування чисельних методів. Між тим саме ці методи все більше користуються попитом і є найдієвішими при розв'язанні сучасних проблем практики. Окремі розділи чисельних методів є наш час досягли такого рівня розвитку, що можуть не тільки скласти достойну конкуренцію відомим аналітичним методам, а й досягти чудових результатів в умовах, коли останні виявляються безсилими. Виходячи з цього, для популяризації чисельних методів важливо розробити підбірку відповідних прикладних задач з геометричним або фізичним змістом, що не спінт осторонь від основного курсу математики, не потребують громіздких математичних перетворень, практично виключають знаходження точного розв'язку, але розв'язуються при застосуванні чисельних методів. В якості однієї з таких задач можна рекомендувати елементарну модель задачі на знаходження найкоротшої відстані від точки спостереження до космічного об'єкта, який рухається по еліптичній орбіті навколо Сонця. Показово, що навіть у такій спрощеній постановці (при припущенні, що точка спостереження є нерухомою і міститься в площині орбіти космічного об'єкта) без застосування чисельних методів тут не обійтися.

Задача про найкоротшу відстань від точки до кривої.

Розглянемо відстань $d = d(M, N)$ від деякої фіксованої точки $M(u, v)$ площини Оху до біжучої точки $N(x, y)$ на кривій

$$(L): F(x, y) = 0. \quad (1)$$

Квадрат K цієї відстані знайдемо за формулою

$$K = d^2 = (x - u)^2 + (y - v)^2. \quad (2)$$

Переходячи від рівняння (1) до параметричної форми у вигляді

$$(L): \quad x = x(t), \quad y = y(t), \quad (t \in T), \quad (3)$$

з виразу (2) отримаємо функцію однієї змінної

$$K = K(t) = (x(t) - u)^2 + (y(t) - v)^2. \quad (4)$$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

Найкоротшу відстань від точки M до кривої (L) знайдемо як відстань до деякої точки N^* , якій відповідає найменше значення функції $K(t)$ при $t \in T$. Відповідне до точки N^* значення параметра t знайдемо серед критичних точок функції $K(t)$ з умови

$$K'(t) = 0 \quad \forall \quad t \in T. \quad (5)$$

Знаходження критичних точок функції $K(t)$ навіть для таких кривих, як еліпс та гіпербола? потребує застосування чисельних методів (точні розв'язки рівняння $K(t)=0$ звичайно знайти не вдається).

Як приклад в якості кривої (1) візьмемо еліпс з центром у точці $C(x_0, y_0)$ та півосями a, b ($a > b$):

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2} = 1. \quad (6)$$

У параметричній формі рівняння (6) задамо системою

$$\begin{cases} x = x_0 + a \cos t, \\ y = y_0 + b \sin t, \\ -\frac{\pi}{2} \leq t < \frac{3\pi}{2}. \end{cases} \quad (7)$$

Тоді за формулою (4) матимемо

$$\begin{cases} K(t) = (x_0 - u + a \cos t)^2 + (y_0 - v + b \sin t)^2, \\ K'(t) = -2a(x_0 - u) \sin t + 2b(y_0 - v) \cos t - (a^2 - b^2) \sin 2t. \end{cases} \quad (8)$$

Згідно зі співвідношенням (5) критичні точки знайдемо як корені рівняння

$$\operatorname{tg} t = \frac{a^2 - b^2}{a(u - x_0)} \sin t + \frac{b(v - y_0)}{a(u - x_0)} \quad \left(-\frac{\pi}{2} \leq t < \frac{3\pi}{2}\right). \quad (9)$$

Оскільки пошуки точних коренів θ тут не мають сенсу, то застосуємо метод ітерацій і знайдемо їх наближені значення з точністю $\Delta = 10^{-4}$. Обчислення проведемо при $a = 5, b = 3, u - x_0 = 8, v - y_0 = -3$. Тоді матимемо

$$K(t) = (-8 + 5 \cos t)^2 + (3 + 3 \sin t)^2, \quad K'(t) = 80 \sin t + 18 \cos t - 16 \sin 2t \quad (10)$$

і рівняння (9) набуде вигляду

$$\operatorname{tg} t = 0,4 \sin t - 0,225 \quad \left(-\frac{\pi}{2} \leq t < \frac{3\pi}{2}\right). \quad (11)$$

Грубі значення коренів t_0 цього рівняння можна отримати як абсциси точок перетину графіків $z = \operatorname{tg} t$ та $z = 0,4 \sin t - 0,225$ на інтервалі $\left(-\frac{\pi}{2} \leq t < \frac{3\pi}{2}\right)$. Легко переконатись, що є всього два корені: θ_1, θ_2 . Корінь θ_1 міститься в інтервалі $I_1 = \left(-\frac{\pi}{2}, 0\right)$, корінь θ_2 – в інтервалі $I_2 = \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right)$.

Для уточнення грубих значень t_0 перетворимо рівняння (11) до еквівалентного вигляду $t = \varphi(t)$ так, щоб виконувалась нерівність

$$|\varphi'(t_0)| \leq q < 1 \quad (12)$$

і побудуємо ітераційний процес

$$t_1 = \varphi(t_0), \quad t_2 = \varphi(t_1), \quad \dots, \quad t_n = \varphi(t_{n-1}), \quad \dots, \quad (13)$$

де t_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) – уточнені значення коренів рівняння в n -ому наближенні. Для забезпечення точності $|\theta - t_0| < \Delta = 10^{-m}$ потрібну кількість наближень n підберемо так, щоб при $0 \leq q \leq 0,5$ у виразах t_{n-1} та t_n співпадали і були вірними усі m значущих цифр після коми, а у випадку $0,5 < q \leq 0,9$ – $m + 1$ значуща цифра.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

При уточненні значень кореня ϑ_1 в інтервалі $I_1 = \left(-\frac{\pi}{2}, 0\right)$ покладемо $t_0 = -\frac{\pi}{4}$, а рівняння (11) приведемо до вигляду $t = \varphi(t)$, де $\varphi(t) = \arctg(0,4 \sin t - 0,225)$. Тоді матимемо $|\varphi'(t_0)| \leq 0,23 < 1$. Отже, умова (12) виконується, можна будувати ітераційний процес (13), в якому уточненні значення кореня ϑ_1 в інтервалі $\left(-\frac{\pi}{2}, 0\right)$

знаходимо як елементи послідовності

$$t_n = \arctg(0,4 \sin t_{n-1} - 0,225) \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (14)$$

Оскільки здійснюється випадок $q = 0,23 < 0,5$, то для знаходження кореня ϑ_1 із заданою точністю $\Delta = 10^{-6}$ проведемо обчислення із шістьма вірними значущими цифрами після коми. Виходячи з формули (14), послідовно отримаємо:

$$\begin{aligned} t_1 &= -0,469902; t_2 = -0,385771; t_3 = -0,359217; t_4 = -0,350519; \\ t_5 &= -0,347637; t_6 = -0,346680; t_7 = -0,346362; t_8 = -0,346256; \\ t_9 &= -0,346220; t_{10} = -0,346209; t_{11} = -0,346205; t_{12} = -0,346204; \\ t_{13} &= -0,346203; t_{14} = -0,346203. \end{aligned}$$

Оскільки у виразах t_{13} та t_{14} всі значущі цифри співпали, то із заданою точністю знайдено: $\vartheta_1 = t_{13} = -0,346203 \pm 10^{-6}$.

При уточненні значень кореня ϑ_2 в інтервалі $I_2 = \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right)$ покладемо $t_0 = \frac{3\pi}{4}$, а

рівняння (11) приведемо до вигляду $t = \varphi(t)$, де $\varphi(t) = \arctg(0,4 \sin t - 0,225) + \pi$. Тоді матимемо $|\varphi'(t_0)| \leq 0,29 < 1$. Умова (12) знову виконується. Складаємо ітераційний процес (13), в якому уточненні значення кореня ϑ_2 знаходимо як члени послідовності

$$t_n = \arctg(0,4 \sin t_{n-1} - 0,225) + \pi \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (15)$$

Оскільки, як і раніше для кореня ϑ_1 , здійснюється при оцінюванні $|\varphi'(t_0)|$ маємо випадок $q < 0,5$, при знаходженні кореня ϑ_2 із також проводимо обчислення із шістьма вірними значущими цифрами після коми. За формулою (15) знайдемо:

$$\begin{aligned} t_1 &= 3,199371; t_2 = 2,898404; t_3 = 3,013615; t_4 = 2,969367; \\ t_5 &= 2,986400; t_6 = 2,979846; t_7 = 2,982369; t_8 = 2,981398; \\ t_9 &= 2,981772; t_{10} = 2,981628; t_{11} = 2,981683; t_{12} = 2,981662; \\ t_{13} &= 2,981670; t_{14} = 2,981667; t_{15} = 2,981668; t_{16} = 2,981668. \end{aligned}$$

Таким чином, знайдено і другий корінь: $\vartheta_2 = t_{15} = 2,981668 \pm 10^{-6}$.

Досліджуючи знаки похідної $K''(t)$ у знайдених критичних точках ϑ_1 та ϑ_2 , встановлюємо, що $K''(\vartheta_1) > 0$, а $K''(\vartheta_2) < 0$. Це означає, що в точці ϑ_1 функція $K(t)$ досягає свого найбільшого, а в точці ϑ_2 найменшого значення. Після обчислень за формулою (10) знайдемо: $\min K(t) = K(\vartheta_2) = 14,715024$.

Найменшу відстань від точки M до еліпса (7) знайдемо як величину $d = \sqrt{K(\vartheta_2)}$ $= 3,836017 \approx 3,84$. Координати точки еліпса, найближчої до точки M , обчислимо за формулами (7). Такою визначимо точку $N^*(x_0 + 0,470; y_0 - 1,018)$.

УДК 681.3

**Антон Крижановский
Татьяна Крижановская**

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПУТЕЙ**

У статті представлені теоретичні дослідження особливостей роботи генетичних алгоритмів та можливість їх реалізації для вирішення широкого спектру завдань.

В статье представлены теоретические исследования особенностей работы генетических алгоритмов и возможность их реализации для решения широкого спектра задач.

The paper presents theoretical investigations of the features of genetic algorithms and their feasibility for a wide range of applications.

Ключевые слова: генетический алгоритм, задача оптимизации, моделирование.

Генетические Алгоритмы (ГА) – адаптивные методы поиска, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации. Они основаны на генетических процессах биологических организмов: биологические популяции развиваются в течении нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора и по принципу «выживает наиболее приспособленный», открытому Чарльзом Дарвином. Используя этот процесс, генетические алгоритмы способны «развивать» решения реальных задач, если те соответствующим образом внесены в программу. ГА могут быть эффективно применяться для решения задач проектирования транспортных маршрутов, управления технологическими процессами производства, оптимизации загрузки процессоров в многопроцессорных системах.

Основателем генетических алгоритмов считается Джон Холланд (John Henry Holland), основные подходы к построению ГА изложены в труде «Адаптация в естественных и искусственных системах» (1975).

В отличие от эволюции, происходящей в природе, ГА только моделируют те процессы в популяциях, которые являются существенными для развития. Точный ответ на вопрос: какие биологические процессы существенны для развития, и какие нет? – все еще открыт для исследователей. Задача формализуется таким образом, чтобы её решение могло быть закодировано в виде вектора («генотипа») генов, где каждый ген может быть битом, числом или другим объектом. В классических реализациях ГА предполагается, что генотип имеет фиксированную длину.

© Крижановский А.В., Крижановская Т.В., 2012

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

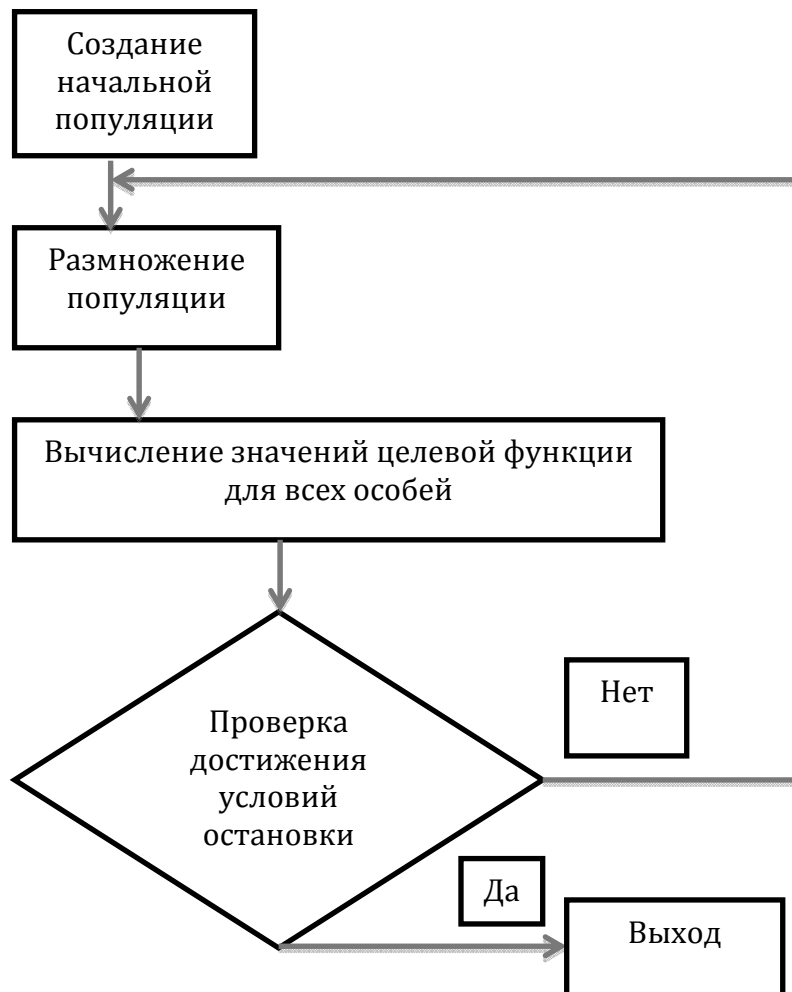
Однако существуют вариации ГА, свободные от этого ограничения.

Некоторым, обычно случайным образом создаётся множество генотипов начальной популяции. Они оцениваются с использованием «функции приспособленности», в результате чего с каждым генотипом ассоциируется определённое значение («приспособленность»), которое определяет, насколько хорошо фенотип, им описываемый, решает поставленную задачу.

Из полученного множества решений («поколения») с учётом значения «приспособленности» выбираются решения (обычно лучшие особи имеют большую вероятность быть выбранными), к которым применяются «генетические операторы» (в большинстве случаев «скрещивание» и «мутация»), результатом чего является получение новых решений. Для них также вычисляется значение приспособленности, и затем производится отбор («селекция») лучших решений в следующее поколение. Этот набор действий повторяется итеративно, так моделируется «эволюционный процесс», продолжающийся несколько жизненных циклов (*поколений*), пока не будет выполнен критерий останова алгоритма. Таким критерием может быть:

- нахождение глобального, либо субоптимального решения;
- исчерпание числа поколений, отпущенных на эволюцию;
- исчерпание времени, отпущенного на эволюцию.

Этапы генетического алгоритма:



В последние годы реализовано много вариантов ГА, и в настоящее время под термином «генетические алгоритмы» скрывается не одна модель, а достаточно широкий класс алгоритмов, подчас мало похожих друг на друга. Исследователи экспериментировали с различными типами представлений, операторов кроссовера и мутации, специальных операторов, и различных подходов к воспроизводству и отбору.

Наиболее популярное приложение ГА – оптимизация многопараметрических функций. Многие реальные задачи могут быть сформулированы как поиск оптимального значения, где значение – сложная функция от нескольких параметров. Представляет интерес нахождение значения параметров, при которых достигается наилучшее точное значение функции. В других случаях точный оптимум не требуется, так как решением может считаться любое значение, которое лучше некоторой заданной величины. В этом случае генетические алгоритмы – часто наиболее приемлемый метод для поиска «хороших» значений. ГА использовалась в сотнях прикладных программ, включая проектирование самолетов, настройку параметров алгоритмов и поиск устойчивых состояний систем нелинейных дифференциальных уравнений.

Рассмотрим использование ГА на примере задачи минимизации полиномиальных представлений булевых функций (задача кратчайшего пути с большим количеством входных переменных и сложностью эффективного прогнозирования влияния переменных на результат в связи с их нелинейным влиянием).

Любую булеву функцию можно представить в виде полинома:

$$f(x_1, x_2, x_3) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \oplus x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \oplus x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Для решения задачи минимизации полиномиального представления булевых функций был реализован ГА с использованием языка C++.

Начальные параметры алгоритма: Функция, сложность которой определяется; Количество итераций, которое должен пройти алгоритм; количество мутаций, которое произойдет за время выполнения алгоритма; количество генов, которые претерпевают мутацию; количество инверсий, которое произойдет за время выполнения алгоритма; количество генов, которые претерпевают инверсию; размер популяции; тип генерирования начальной популяции; тип кроссовера; тип закона распределения при осуществлении выборки особей. Как и в классическом ГА, в виде функций было реализовано несколько генетических операторов. Реализованный алгоритм выполняет следующие стадии:

1. Инициализация начальной популяции: на первом шаге генерируется популяция предков, которая даст в результате выполнения операторов селекции и скрещивания новое потомство. Популяция представляет собой динамический двумерный массив типа unsigned int (один элемент – 32 бита) и, в зависимости от длины функции, состоит из нескольких элементов одной записи массива. Это позволяет легко работать с функциями любой длины. Функция Gen_ind() принимает несколько параметров, главным из которых является тип генерирования первоначальной популяции:

а. Конкретная хромосома представлена набором случайных генов, представляющих собой «0» или «1»;

б. Каждый элемент хромосомы принимает случайное значение в диапазоне от 0 до $2^{32}-1$ – максимальное значение, которое может принять переменная типа unsigned int.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

с. Также как и в п.2, только каждый элемент хромосомы разбивается на 8 частей по 4 бита.

d. Случайный выбор из первых 3-х вариантов.

2. Следующим этапом происходит оценивание хромосом. В качестве функции приспособленности выступает сложность булевых функций. Для достижения этой реализована функция AbsMin(), которая возвращает точное значение сложности любой функции.

Оператор селекции Selection() возвращает двух представителей из массива случайным образом. Для этого используются следующий закон распределения вероятностей. Равномерный – вероятность выбора того или иного представителя одинакова. Случайная величина имеет непрерывное равномерное распределение на отрезке [a,b], где её плотность $f(x)$ имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b] \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases}.$$

В зависимости от количества мутаций, которое задается, как параметр ГА, следующим этапом выступает оператор мутации (функция mutation()). Далее последовательно идут несколько операторов ГА. Оператор инверсии (функция Inv()) – зеркально отображает часть генов в хромосоме конкретного представителя. Основной параметр – число генов, которые будут зеркально отображены. Сортировка (функция bubbleSort()) – сортирует представителей по возрастанию функции приспособленности, в качестве которой выступает сложность булевой функции. Завершающим этапом каждой итерации является формирование новой популяции, т.к. и родительская популяция и популяция потомков отсортированы, т.е. упорядочены от «лучших» к «худшим», поэтому в новую родительскую популяцию извлекается половина представителей родительской популяции и половина популяции потомков. Тем самым, качественные решения задачи – потомки, не выпадают в ходе дальнейшего выполнения алгоритма. После выполнения всех этих этапов алгоритм возвращается к п. 2 и продолжается то число раз, которое пользователь задал при запуске данной программы.

Сферами применения выше изложенного ГА являются оптимизация функций, игровые стратегии, оптимизация запросов в базах данных, теория приближений и моделирование процессов жизнедеятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. H. Holland. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, 1975.– 183 с.
2. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: Физматлит, 2003. – 427с.
3. R.P.Clement & A.Wren, «Genetic Algorithms and Bus-Driver Scheduling». Presented at the 6th International Conference for Computer-Aided Transport Scheduling, Lisbon, Portugal, 1993.
4. Еремеев А.В. Разработка и анализ генетических и гибридных алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации. Дисс. канд.физ.-мат.наук. Омск, 2000. – 119 с.
5. Genetic Operators, D.Whitley and K. Mathias, Parallel Problem Solving from Nature-PPSN R. Manner and B Manderick, North Holland-Elsevier, 1992.

УДК 531.53:517.938

*Вікторія Ковальчук
Микола Сипливий*

**ПРО КРИВІ СТАЦІОНАРНИХ СТАНІВ
ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА**

Показаний вплив параметрів перевернутого математичного маятника на конфігурацію кривих стаціонарних станів.

Показано влияние параметров перевернутого математического маятника на конфигурацию кривых стационарных состояний.

The overturned mathematical pendulum has been investigated. The influence of the pendulum's parameters of configuration of the curved of stationary states is shown.

Ключові слова: математичний маятник, стаціонарні стани, біфуркації.

Вступ. Перевернутий маятник є вдалою математичною моделлю стиснутого пружного стержня зі слідкуючою силою – одного з основних конструктивних елементів залізничних мостів і споруд. Диференціальні рівняння руху маятника в загальному випадку довільної кількості n ланок наведені в [1]. При $n = 3$ маємо можливість дослідити верхню ланку із пружно закріпленим кінцем і навантажену слідкуючою силою, а також нижню – базову ланку та середню ланку. Особливості динамічної поведінки такого маятника досліджені в [2]. Для визначення станів рівноваги потрійного маятника в силових полях різної структури в [3] подані математичні розрахунки щодо реалізації методу продовження за параметром. В [4] побудовані та проаналізовані фазові траєкторії при варіюванні параметрів маятника. У даній роботі автори, продовжуючи цикл указаних досліджень, побудували криві стаціонарних станів і показали, як впливають на конфігурацію цих кривих параметри маятника.

1. Постановка задачі. Перевернутий триланковий математичний маятник [1] має три пружні елементи, один із яких імітує пружне закріплення верхнього кінця маятника. Ланки маятника – невагомі абсолютно тверді стержні $OA_1 = l_1$, $A_1A_2 = l_2$ та $A_2A_3 = l_3$. Маси матеріальні точок A_1 , A_2 , A_3 , дорівнюють m_1 , m_2 і m_3 відповідно. На верхній кінець A_3 маятника діє слідкуюча сила $\vec{P}$.

Для дослідження плоскопаралельного руху визначаємо положення маятника за допомогою узагальнених координат φ_1 , φ_2 , φ_3 , фізичний зміст яких – кути відхилення ланок від вертикалі. Слідкуюча сила $\vec{P}$ утворює з вертикаллю кут

© Ковальчук В.В., Сипливий М.В., 2012

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

$\alpha = \delta + k\varphi_3$, де коефіцієнт k – параметр орієнтації, а δ – кутовий ексцентриситет. Лінійний ексцентриситет ε [1–2] враховує неточність прикладання слідкуючої сили.

Диференціальні рівняння збуреного руху перевернутого математичного маятника зі слідкуючою силою можна скласти, застосовуючи рівняння Лагранжа II-го роду. При довільній кількості ланок нормальну форму Коші цих рівнянь можна записати у вигляді

$$x'_{2i-1} = x_{2i}, \quad (1)$$

$$x'_{2i} = F_{2i}(x_1, x_2, \dots, x_{2n}), \quad \text{де } i = 1, \dots, n.$$

Тут n – кількість ланок, $x_{2i-1} = \varphi_i$ – змінні стану, φ_i – кут відхилення відповідної ланки маятника від вертикалі.

Для динамічної системи (1) стаціонарні стани задовольняють умові $\dot{x}_i = \text{const}$, що рівносильно умовам $\varphi_i = \varphi_i^*$ та $\dot{\varphi}_i = 0$, тобто стаціонарними станами є положення рівноваги маятника. Величини φ_i^* є функціями параметрів маятника. Якщо слідкуюча сила симетрична, то один із станів рівноваги є очевидним: $\varphi_i^* = 0$, що відповідає вертикальному положенню ланок маятника.

Враховуючи, що для симетричної слідкуючої сили існує стійкий стаціонарний стан для певної сукупності значень параметрів маятника, можна методом продовження за параметром отримати неперервну залежність величин φ_i^* від параметрів слідкуючої сили [3]. Вважаючи всі параметри маятника фіксованими, за винятком «статичної» складової δ асиметричної слідкуючої сили $\vec{P}$, для визначення стаціонарних станів триланкового маятника маємо рівняння

$$f_i(\varphi_1^*, \varphi_2^*, \varphi_3^*, \delta) = 0,$$

де $i = 1, 2, 3$, а структура функцій f_i наведена в [3]. Покажемо у графічному вигляді неперервну залежність величин φ_i^* від δ для дискретного набору значень параметра k .

2. Криві стаціонарних станів. Відповідно до попередніх досліджень для параметрів маятника приймаємо такі значення:

$$\begin{aligned} m_1 &= 10 \text{ кг}, & l_1 &= 0,5 \text{ м}, & c_1 &= 400 \text{ Н}\cdot\text{м}, & \mu_1 &= 10 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}, \\ m_2 &= 5 \text{ кг}, & l_2 &= 0,5 \text{ м}, & c_2 &= 400 \text{ Н}\cdot\text{м}, & \mu_2 &= 10 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}, \\ m_3 &= 5 \text{ кг}, & l_3 &= 0,5 \text{ м}, & c_3 &= 400 \text{ Н}\cdot\text{м}, & \mu_3 &= 10 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}. \end{aligned}$$

Тут μ_i – коефіцієнти в'язкості в шарнірах маятника.

Множина четвірок чисел $(\varphi_1^*, \varphi_2^*, \varphi_3^*, \delta)$ у просторі змінних $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \delta$ утворюють криву лінію – многовид стаціонарних станів, які для маятника, що розглядається, є станами рівноваги. На рис. 1 показана проекція указанного многовиду на площину (φ_1, δ) для маятника із жорсткими характеристиками пружних елементів при $k = 0,95$ (асиметрична слідкуюча сила). Для побудови кривої був застосований пакет прикладних програм MatLab. Біфуркаційні точки, відмічені на кривій, відмежовують ділянки стійкості (на яких усі точки відповідають стійким особливим точкам системи диференціальних рівнянь (1) типу вузлових або фокусних) від ділянок нестійкості (на них усі точки є особливими точками типу сідловин). У точках A, B, C, D, L, M, N, Q крива стаціонарних станів

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

має вертикальні дотичні. До таких точок підходять дві гілки кривої. При наближенні вздовж кривої до біфуркаційних точок відбуваються катастрофи складки. При переході параметра δ через відповідне значення (δ_A , δ_B та ін.) відбуваються біфуркації народження або злиття стаціонарних станів. Характер стійкості неvertикальних положень рівноваги маятника, що відповідають різним гілкам кривої, протилежний: стійкість змінюється на нестійкість (або навпаки).

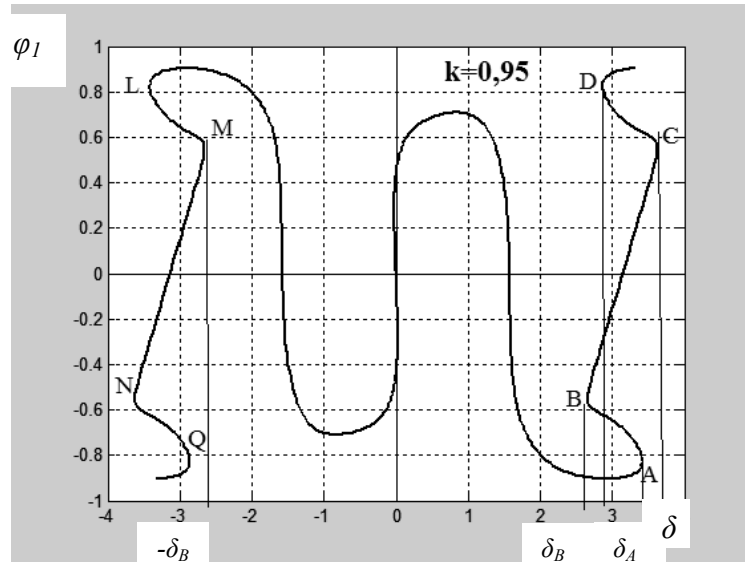


Рис. 1

Із фізичного змісту задачі зрозуміло, що функції $\varphi_i^*(\delta) \in 2\pi$ -періодичними для всіх значень параметра k . Тому вважаємо головними їхніми значеннями ті, що відповідають $\delta \in [-\pi, \pi]$.

Для маятника із симетричною слідкуючою силою ($k=1$) та з м'якими характеристиками пружних елементів головна гілка кривої стаціонарних станів зображена на рис. 2. Точки A , B , C , D , M , N є біфуркаційними. В залежності від напрямку зміни параметра δ у цих точках народжуються або зникають два стани рівноваги.

Конфігурація показаних кривих вказує на наявність також і катастроф зборки, які приводять до стрибкоподібної зміни кількості станів рівноваги маятника. При $|\delta| < \delta_B$ для маятника з жорсткими характеристиками пружних елементів маємо лише один стан рівноваги (рис. 1). При $\delta_B < |\delta| < \delta_D$ маятник має три неvertикальні ($\varphi_i \neq 0$) положення рівноваги. Якщо ж $\delta_D < |\delta| < \delta_A$, то як показує рисунок, існують п'ять станів рівноваги маятника. Ці висновки підтверджуються фазовими портретами, побудованими при $\delta = 3$ за допомогою безпосереднього інтегрування диференціальних рівнянь збуреного руху маятника аналогічно [4]. Хоча з практичної точки зору значення $\delta = 3$ є достатньо великим. Для більш реалізовних значень кутового ексцентриситета δ слідкуючої сили маємо у випадку маятника із жорсткими характеристиками лише одну гілку кривої стаціонарних

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

станів (рис. 1). Для маятника з лінійними або м'якими характеристиками пружних елементів навіть при невеликих значеннях δ на кривій стаціонарних станів маємо біфуркаційні точки.

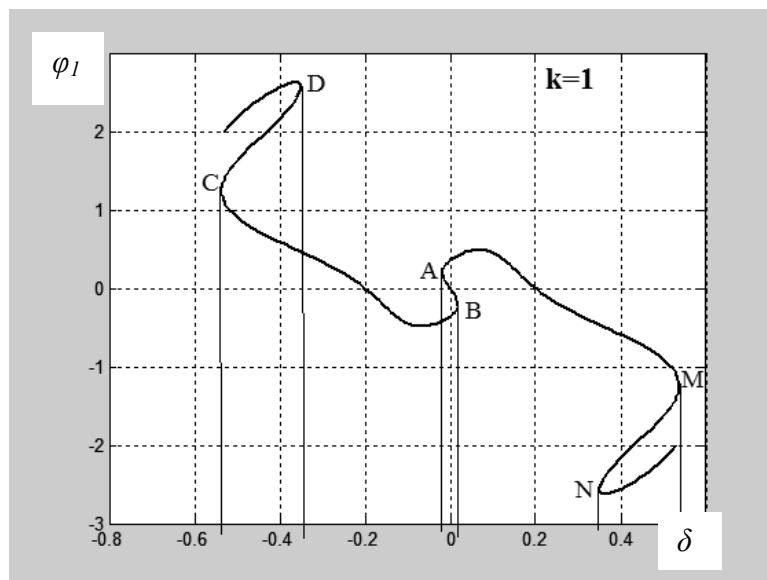


Рис. 2

Для того, щоб порівняння впливу типу характеристик пружних елементів маятника на стаціонарні стани, рис. 3 ілюструє, як змінюється конфігурація рівноважної кривої при фіксованому значенні параметра орієнтації слідкуючої сили. При цьому всі криві побудовані для маятника із симетричною слідкуючою силою ($k = 1$). Крива стаціонарних станів на рис. 3, а відповідає маятнику з лінійними характеристиками пружних елементів. Випадок м'яких характеристик показаний на рис. 3, б, а для маятника із жорсткими характеристиками рівноважна крива зображена на рис. 3, в.

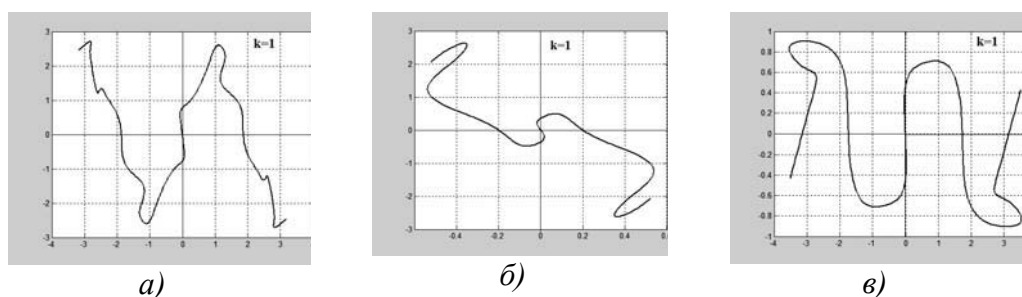


Рис. 3

Параметр орієнтації слідкуючої сили також впливає на кількість і характер стійкості стаціонарних станів маятника. Рівноважні криві, побудовані методом продовження за параметром для маятника із жорсткими характеристиками при різних значеннях k , показали, що при поступовому зменшенні параметра k крива звужується (біфуркаційні точки переміщуються в область із меншими значеннями

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

кутового ексцентриситета δ). Слід зазначити, що конфігурація кривої принципово не змінюється на ділянках, що відповідають значенням $1 \leq |\delta| \leq \pi$. Для малих же значень кутового ексцентриситета при $0,25 < k < 0,6$ крива стаціонарних станів має тим більше особливостей, чим менше значення k .

3. Висновки. При варіюванні параметрів триланкового маятника зі слідкуючою силою змінюється конфігурація кривої стаціонарних станів. Тип характеристик пружних елементів маятника, а також параметр орієнтації слідкуючої сили суттєво впливають як на кількість невертикальних положень рівноваги маятника, так і на характер їх стійкості. Отримані результати можна використовувати для оптимізації параметрів відповідних конструктивних елементів будівельних споруд для забезпечення їх міцності та стійкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лобас Л.Г. Об уравнениях опрокинутого маятника с произвольным числом звеньев под воздействием асимметричной следящей силы // Прикл. механика – 2007. – 43, № 5. – С. 106 – 114.
2. Ковальчук В.В. Особливості динамічної поведінки триланкового маятника зі слідкуючою силою // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, Серія «Транспортні системи і технології», К., 2010. – Вип. 16. – С. 118 – 123.
3. Лобас Л. Г., Лобас Людм. Г., Сипливий М. В. Про стани рівноваги потрійного перевернутого маятника в силових полях різної структури // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, Серія «Транспортні системи і технології», Київ. – 2010. – Вип. 16. – С. 150 – 156.
4. Ковальчук В.В., Льницька А.В. Еволюція фазових траєкторій при варіюванні параметрів триланкового маятника // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, Серія «Транспортні системи і технології», К., 2011. Вип. 18. – С. 132 – 138.

УДК 681.3

Катерина Рисцова

Алла Рисцова

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРАХУВАННЯ НА ОСНОВІ
УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЇ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКОВИХ
КОМПОНЕНТІВ**

У статті наводиться побудова математичної моделі для задачі нарахування страхових премій, розглянуті та обчислені три моделі для страхування з урахуванням ризиків.

В статье приведено построение математической модели для задачи начисления страховых премий, рассмотрены и рассчитаны три модели для страхований с учетом рисков.

Generalized linear regression models (GLM) are considered for the estimation of insurance premium rates. Results are obtained for three exponential distributions of data with the same risk criteria.

Ключові слова: математична модель, лінійна регресія, функція щільності, система нелінійних рівнянь, задача страхування, матриця, ваговий коефіцієнт.

Класична лінійна регресійна модель подається рівнянням $Y = X\beta + \varepsilon$, де Y – вектор значень залежної змінної, X – матриця значень незалежних змінних, β – вектор регресійних коефіцієнтів, що слід знайти, ε – випадковий вектор відхилень. У цьому випадку рішення проводиться за методом найменших квадратів (LSS).

При використанні лінійної моделі виявилися її недоліки, що звужують коло її застосування. Так, припускається, що усі компоненти змінної Y розподілені за нормальним законом з однаковою дисперсією та вектор математичних очікувань $E(Y)$ лінійно подається через стовпці незалежних змінних $E(Y) = X\beta$. Такі припущення часто не виконуються на практиці і роблять таку модель неадекватною до процесу.

Узагальнена лінійна модель містить у собі комплекс моделей, де класична модель виконується як один з випадків [1]. Узагальнена модель базується на двох положеннях: усі компоненти вектора Y незалежні і кожна з них задається імовірним розподіленням; взаємодія між випадковою компонентою Y та систематичною компонентою $\eta = X\beta$ здійснюється за допомогою спеціальної функції g , що вважається диференційованою, монотонною та взаємно однозначною.

Група експоненціальних розподілень задається як двопараметрична група

© **Рисцова К.І., Рисцова А.Ю., 2012**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

функцій щільності: $f(x, \theta, \varphi) = \exp\left\{\frac{x\theta - b(\theta)}{a(\varphi)} + c(x, \varphi)\right\}$, де функції $a(\varphi)$, $b(\theta)$,

$c(x, \varphi)$ задаються заздалегідь, параметр θ (канонічний) пов'язаний з математичним очікуванням, а параметр φ пов'язаний з дисперсією.

Для розв'язання узагальненої лінійної регресійної моделі:

$$E(Y) = g^{-1}(X\beta), \quad (1)$$

застосовуємо метод максимальної правдоподібності. Якщо компоненти вектора Y розподілені за одним з експоненціальних законів, то логарифм його функції правдоподібності буде мати вигляд:

$$Lg(Y, \theta) = \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{y_i \theta_i - b(\theta_i)}{a(\varphi)} + c(y_i, \varphi) \right\}. \quad (2)$$

Тепер необхідно виразити параметри θ_i , $1 \leq i \leq m$, через регресійні коефіцієнти β_j , $1 \leq j \leq n$,

$$\mu_i = g^{-1}(\beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_n x_{in}), \quad 1 \leq i \leq m. \quad (3)$$

Після обчислення часткових похідних отримуємо систему нелінійних рівнянь:

$$\frac{\partial Lg(Y, \beta)}{\partial \beta_j} = \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i (y_i - \mu_i) x_{ij}}{V(\mu_i) g'(\mu_i)} = 0, \quad 1 \leq j \leq n. \quad (4)$$

Для конкретних розподілень та функцій зв'язку ця система значно спрощується: для логарифмічної функції зв'язку $g(x) = \log(x)$ в разі розподілення Пуассона маємо: $V(\mu_i) g'(\mu_i) = 1$, а в разі гамма-розподілення маємо $V(\mu_i) g'(\mu_i) = \mu_i$.

Таким чином, отримані спрощені системи рівнянь:

$$\sum_{i=1}^m \omega_i (y_i - \mu_i) x_{ij} = 0, \quad \sum_{i=1}^m \omega_i \left(\frac{y_i}{\mu_i} - 1 \right) x_{ij} = 0, \quad 1 \leq j \leq n \quad (5)$$

Підставивши замість μ_i їх вираз (3), отримаємо систему нелінійних рівнянь відносно коефіцієнтів регресії. Рішення цієї системи дають оцінки для коефіцієнтів регресії та параметрів розподілення.

Наведена модель застосовувалась для рішення задачі страхування з урахуванням компонент ризику.

Вектор значень Y , структурна матриця $X = [x_{ij}]$, вагові коефіцієнти ω , обчислюються за вхідними даними та прикладними міркуваннями. Типовим для функції зв'язку в страхуванні є $g(x) = \log(x)$. В цьому випадку:

$$\mu_i = \exp(\beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_n x_{in}) = \exp(\beta_1 x_{i1}) \cdot \dots \cdot \exp(\beta_n x_{in}), \quad 1 \leq i \leq m. \quad (6)$$

Перший член в добутку відповідає базовій вартості страхування, він сталий. Решта членів являють собою надбавки, пов'язані з різними видами ризику у даній страховій групі.

Для порівняння, розраховувалося і логнормальне розподілення, розв'язане за методом найменших квадратів.

Таким чином, наведено три моделі для розрахунку страхових премій, загальні параметри розрахунків наведені у табл. 1.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

Таблиця 1

Модель	LSM	GLM1	GLM2
Розподілення	Логнормальне	Пуассона	Гамма
Функція варіації	1	x	x^2
Функція зв'язку	1	Log(x)	Log(x)
Ваги	1	Розмір вибірки	Розмір вибірки

За початкові дані обиралась вибірка з 2300 записів по автомобільним страховим виплатам. Дані розбиті на 20 груп за значенням 5 факторів: тип авто, регіон страхування, колір авто та інші. Дані підготовлені у форматі Excel, після чого таблиця транспортувалась у програму Maple для обчислення регресійних коефіцієнтів.

Отримані результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2

LSM			GLM1			GLM2		
Cr	E(Y)	log(E(Y))	Cr	E(Y)	log(E(Y))	Cr	E(Y)	log(E(Y))
9,108985	9036,117	9,108985	8,898476	7320,811	8,898476	8,892803	7279,395	8,892803
1,196915	7471,055	8,918792	1,55547	6317,18	8,751028	1,556463	6311,605	8,750145
0,376163	7732,364	8,95317	0,762007	6847,078	8,831577	0,766471	6838,287	8,830293
-0,11049	6393,114	8,762977	-0,15533	5908,392	8,684129	-0,15033	5929,142	8,687635
-0,15581	8090,863	8,998491	-0,0669	6267,574	8,743145	-0,06251	6263,371	8,742474
-0,19019	6689,52	8,808297	-0,14745	5408,334	8,595696	-0,14266	5430,66	8,599816
	13162,78	9,485148		15685,37	9,660484		15666,4	9,659274
	10882,98	9,294955		13535,02	9,513035		13583,57	9,516616
	11263,62	9,329333		14670,36	9,593584		14717,07	9,596763
	9312,754	9,13914		12659,16	9,446136		12760,45	9,454105
	11785,84	9,374654		13428,73	9,505152		13479,76	9,508944
	9744,525	9,184461		11587,75	9,357704		11687,63	9,366287
	29908,56	10,3059		34680,98	10,45395		34519,03	10,44927
	24728,38	10,11571		29926,46	10,3065		29929,75	10,30661
	25593,28	10,15009		32436,75	10,38705		32427,29	10,38676
	21160,51	9,959892		27989,9	10,2396		28116,1	10,2441
	26779,87	10,19541		29691,46	10,29861		29701,02	10,29894
	22141,58	10,00521		25620,97	10,15117		25752,29	10,15628
	37281,35	10,52625		69498,09	11,14905		69788,62	11,15323
	30824,2	10,33606		59970,39	11,00161		60510,28	11,01057

ЛІТЕРАТУРА

1. Anderson D. A Practitioner's Guide to Generalized Linear Models // CAS Discussion Paper Program. – N.Y.: Wiley, 2004. – P. 1–115.

УДК 532.528:519.6

*Владимир Семененко
Татьяна Семененко*

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
С ПЕРЕМЕННЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Исследуется устойчивость стационарного состояния и развитие самовозбуждающихся колебаний в динамической системе с переменным запаздыванием, которая моделирует нестационарное поведение вентилируемой газонаполненной суперкаверны в жидкости. Показано, что после потери устойчивости в этой системе возможно установление как разрывных, так и неразрывных автоколебаний. Установлены границы параметрической области существования неразрывных решений.

Досліджується стійкість стаціонарного стану і розвиток коливань, що самозбуджуються, в динамічній системі зі змінним запізнюванням, яка моделює нестационарну поведінку вентильованої газонаповненої суперкаверни у рідині. Показано, що після втрати стійкості в цій системі можливе встановлення як розривних, так і нерозривних автоколивань. Визначені границі параметричної області існування нерозривних розв'язків.

Stability of stationary state and development of self-induced oscillation in the dynamic system with variable lagging, which models the unsteady behavior of a ventilated gas-filled supercavity in fluid, is investigated. It is shown that both the discontinuous and the continuous self-induced oscillations are possible in this system after the stability loss. The boundaries of a parametric domain of existence of discontinuous solution are determined.

Ключевые слова: динамическая система, устойчивость, автоколебания, вентилируемая суперкаверна.

Введение

При исследовании движения высокоскоростных подводных суперкавитирующих (СК) аппаратов возникают проблемы, связанные с возникновением колебательных и волновых процессов в жидкости. Одним из источников их возникновения является неустойчивость продольного движения СК-аппаратов (см. [1]). В этом случае причинами возникновения автоколебаний являются «игра» силы веса СК-аппарата и поддерживающей силы глиссирования аппарата в каверне, а также запаздывающая реакция каверны.

© Семененко В.Н., Семененко Т.Н., 2012

Другим (независимым от первого) источником возникновения колебаний является неустойчивость вентилируемых каверн при избыточном поддуве газа в каверну (см. [2–4]). В этом случае причиной возникновения автоколебаний является упругость газа, заполняющего каверну, при этом роль постоянного источника энергии в динамической системе играет избыточный поддув газа в каверну, а роль регулятора – унос газа из каверны. С математической точки зрения в обоих случаях мы имеем дело с сугубо нелинейными динамическими системами с переменным запаздыванием. Ввиду сложности соответствующих задач для их исследования используется аппроксимационная математическая модель, основанная на принципе независимости расширения сечений тонкой нестационарной суперкаверны Г.В.Логвиновича [5]. В качестве основного метода исследования используется компьютерное моделирование течений.

Для качественного анализа нестационарного поведения вентилируемых каверн воспользуемся моделью «чистой» суперкаверны, в которой диаметр кавитатора считается пренебрежимо малым по сравнению с наибольшим диаметром каверны. При малых числах кавитации σ_0 для суперкаверны справедливы асимптотические формулы Гарабедяна [6]

$$D_c = D_n \sqrt{\frac{c_x}{\sigma_0}}, \quad L_c = D_n \frac{A \sqrt{c_x}}{\sigma_0}, \quad (1)$$

где D_c и L_c – наибольший диаметр и длина каверны; D_n и c_x – диаметр и коэффициент сопротивления кавитатора; $A = \sqrt{\ln(1/\sigma_0)}$. Модель «чистой» суперкаверны получаем, переходя к пределу $D_n/D_c \rightarrow 0$ и относя все переменные задачи к длине каверны L_c и скорости набегающего потока V_∞ . При этом стационарная суперкаверна имеет форму эллипсоида вращения единичной длины с образующей $R = D_c \sqrt{x(1-x)}$. В данной модельной постановке задача определяется двумя физическими параметрами:

$$\sigma_0 = \frac{2(p_\infty - p_c)}{\rho V_\infty^2}, \quad \beta = \frac{\sigma_v}{\sigma_0} > 1, \quad (2)$$

где σ_0 – число кавитации; p_∞ – давление в невозмущенной жидкости; p_c – давление в каверне; σ_v – паровое число кавитации при $p_c = p_v$.

1. Динамическая система. В нашей работе [7] получена система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающее поведение «чистой» нестационарной суперкаверны в предположении, что искомые функции $l(t)$, $\bar{\sigma}(t)$, $\bar{Q}_c(t)$ являются непрерывными и непрерывно дифференцируемыми функциями времени:

$$\dot{\varphi} = \frac{2l(1-\varphi)^2 \dot{\bar{\sigma}}(t-l) + 2(1-\varphi^2) \bar{\sigma}(t-l) - 2\bar{\sigma}}{2l\bar{\sigma}(t-l) - 1}, \quad (3)$$

$$\dot{l} = \varphi, \quad (4)$$

$$\dot{\bar{\sigma}} = \frac{(\beta - \bar{\sigma})\dot{\bar{Q}}_c - (\beta - 1)(\dot{q}_{in} - \dot{q}_{out})}{\bar{Q}_c - \bar{Q}_b}, \quad (5)$$

$$\dot{\bar{Q}}_c = l(2 - \varphi) - 2l^2(1 - \varphi)\bar{\sigma}(t - l). \quad (6)$$

Здесь $l(t)$ – длина каверны; $\bar{\sigma}(t) = \sigma(t)/\sigma_0$; $\bar{Q}_c(t) = \pi D_c^2 \bar{Q}_c$ – объем каверны; $\varphi(t)$ – вспомогательная функция; $\bar{Q}_b = \pi D_c^2 \bar{Q}_b$ – объем каверны, занятый корпусом аппарата. Поскольку в качестве масштаба длины нами выбрана длина каверны L_c , то коэффициенты расходов газа определяются в виде

$$\dot{q}_{in} = \frac{\dot{Q}_{in}}{V_\infty L_c^2}, \quad \dot{q}_{out} = \frac{\dot{Q}_{out}}{V_\infty L_c^2}, \quad (7)$$

где $\dot{Q}_{in}$, $\dot{Q}_{out}$ – объемные расходы поддува газа в каверну и уноса из каверны при давлении в каверне p_c . Расход газа в каверну $\dot{Q}_{in}$ является свободным задаваемым параметром. Для расхода газа из каверны $\dot{Q}_{out}$ используем универсальную степенную зависимость, введенную нами в [7]:

$$\dot{Q}_{out} = V_\infty D_n^2 C \sigma^\eta(t), \quad \eta < 0, \quad (8)$$

где C – безразмерный эмпирический коэффициент, который может зависеть от Fr , σ_0 , β и других параметров. Таким образом, динамическая система (3)–(6) содержит четыре независимых неотрицательных параметра $\bar{Q}_b$, β , $\dot{q}_{in}$ и C .

Как видно, в правые части уравнений (3), (6) входит неизвестная функция $\bar{\sigma}(t)$ и ее производная с переменным запаздыванием аргумента, которое в каждый момент времени равно значению другой неизвестной функции $l(t)$. Как известно, наличие запаздывающего аргумента равносильно увеличению размерности динамической системы, что усложняет ее динамическое поведение. Поэтому кроме практического значения, поведение решения системы (3)–(6) уравнений представляет интерес и с теоретической точки зрения как проявление нелинейных свойств сложной динамической системы нестандартного вида.

2. Линейный анализ. Динамическая система (3)–(6) имеет одну стационарную точку:

$$\varphi = 0, \quad \bar{\sigma} = 1, \quad l = 1, \quad \bar{Q}_c = \frac{1}{6}, \quad (9)$$

соответствующую стационарному решению задачи при равновесном поддуве каверны $\dot{q}_{in} = \dot{q}_{out}(0)$. Исследуем ее на устойчивость относительно малых возмущений, представляя решение в виде:

$$\varphi(t) = \varepsilon \varphi_1(t), \quad \bar{\sigma}(t) = 1 + \varepsilon \sigma_1(t), \quad l(t) = 1 + \varepsilon l_1(t), \quad \bar{Q}_c(t) = \frac{1}{6} + \varepsilon Q_1(t),$$

где $\varepsilon \sim \sigma(1)$ – малый параметр. Собирая члены порядка ε , исключая функции $\varphi_1(t)$, $l_1(t)$ и $Q_1(t)$ и представляя решение в виде $\sigma_1(t) = e^{\mu t}$, где $\mu = \lambda + jk$, получаем характеристическое уравнение:

$$\frac{a\mu^3}{\beta-1} + b\mu^2 + 2[\mu(e^{-\mu} + 1) + 2(e^{-\mu} - 1)] = 0, \quad \text{где} \quad a = \frac{1 - \bar{Q}_b}{6}; \quad b = -\frac{C\eta\sigma_0^{\eta+1}}{\pi c_x}. \quad (10)$$

Задача об устойчивости стационарного решения (9) состоит в исследовании комплексных корней уравнения (10) в зависимости от неотрицательных параметров a , b . Параметр b характеризует интенсивность уноса газа из вентилируемой каверны. Значение $b = 0$ соответствует теоретически допустимому случаю постоянства массы газа в каверне [2, 4]. При этом уравнение (10) имеет бесконечную серию чисто мнимых корней ($\lambda = 0$), т.е. частот нейтральных колебаний

$$k_n = 2\pi n \quad \text{при} \quad \beta_n = 1 + a(\pi n)^2, \quad n = 1, 2, \dots \quad (11)$$

При $b > 0$ корни уравнения (10) с заданной точностью определяются численно. Полагая в (10) $\lambda = 0$ и разделяя действительную и мнимую части, получаем два уравнения для определения параметров нейтральных колебаний k_n , β_n :

$$bk^2 - 2[k \sin k + 2(\cos k - 1)] = 0, \quad (12)$$

$$\beta = 1 + \frac{ak^3}{2[k(\cos k + 1) - 2 \sin k]}. \quad (13)$$

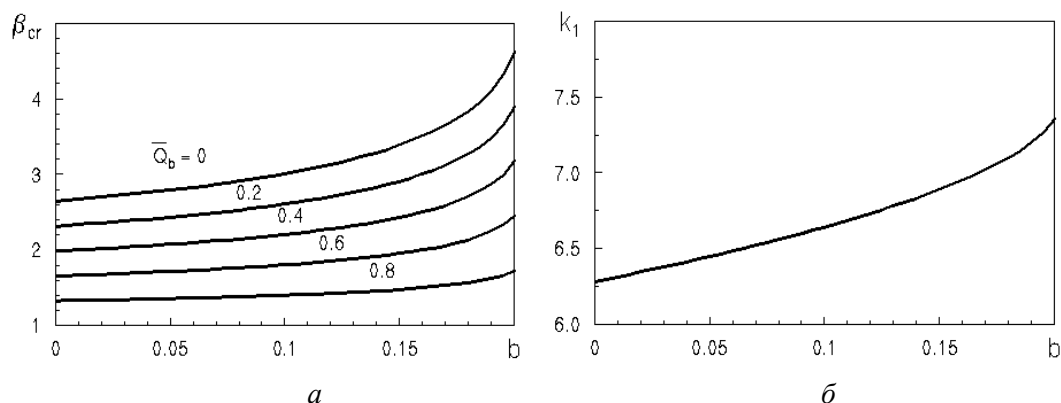
Анализ показал, что при $0 < b < 0,2036$ уравнение (12) имеет конечные серии корней, причем количество корней в серии уменьшается с ростом b . При $b > 0,2036$ уравнение (12) корней не имеет, при этом $\lambda < 0$, т.е. каверна асимптотически устойчива при любых значениях β (см. подробнее в [7]).

Основное практическое значение имеет наименьшее значение параметра $\beta_1 = \beta_{cr}$, поскольку при $\beta < \beta_1$ каверна асимптотически устойчива ($\lambda < 0$), а при $\beta > \beta_1$ – неустойчива ($\lambda > 0$). На рис. 1 показаны графики зависимости критического параметра β_{cr} и приведенной частоты нейтральных колебаний 1-й моды k_1 от параметра b , рассчитанные для ряда значений параметра $\bar{Q}_b$.

Представляет практический интерес характер влияния степени загромождения каверны корпусом СК-аппарата $\bar{Q}_b$ на устойчивость вентилируемой каверны. Действительно, наличие твердого корпуса аппарата внутри каверны уменьшает ее «активный» объем, занятый сжимаемым газом, и тем самым изменяет динамические характеристики каверны. На рис. 2 приведены графики зависимости β_{cr} от $\bar{Q}_b$, рассчитанные для ряда значений параметра b . Как видно, значения

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

параметра β_{cr} лінійно зменшуються з ростом загромодження каверны. Это значит, что при прочих равных условиях загромождение каверны приводит к уменьшению порога ее неустойчивости.



**Рис.1. Влияние интенсивности уноса газа из каверны
на параметр устойчивости β_{cr} (а) и приведенную частоту k_1 (б)**

Как видно из уравнения (12), приведенные частоты нейтральных колебаний k_n не зависят от параметра a , т.е. от $\bar{Q}_b$. Легко видеть, однако, что размерная частота $f = k_1 V_\infty / (2\pi L_c)$ (в Гц) будет расти при увеличении $\bar{Q}_b$. Действительно, для СК-аппарата, движущегося на постоянной глубине при постоянном числе кавитации σ_0 , уменьшение параметра β_{cr} может достигаться только за счет уменьшения парового числа кавитации σ_v , т.е. за счет увеличения скорости аппарата V_∞ (см. 2). Поэтому уменьшение β_{cr} соответствует увеличению скорости V_∞ , и, следовательно, увеличению частоты f .

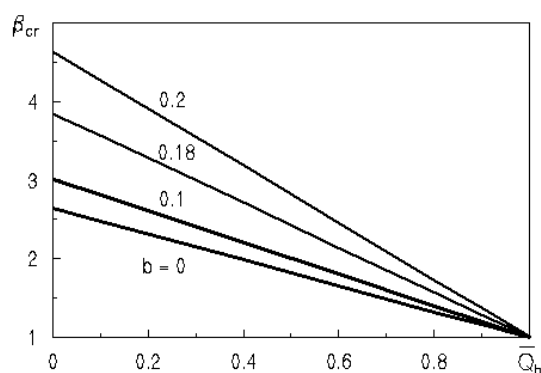


Рис.2. Влияние загромождения каверны корпусом аппарата

3. Расчет нелинейных автоколебаний. После потери устойчивости в динамической системе (3) – (6) развиваются нелинейные автоколебания, спектральный состав и амплитуда которых зависят от значений вышеперечисленных параметров. Вследствие колебаний давления в каверне граница каверны приобретает волнообразную форму, результатом чего может быть разрывной характер функций $l(t)$ и $\bar{Q}_c(t)$. Автоколебания вентилируемых каверн, развитие которых рассчитывается при избыточном поддуве газа $\dot{q}_{in} > \dot{q}_{out}(0)$ и без учета непрерывного уноса газа из каверны, обычно являются разрывными (см. [3, 4]). В нашей работе [4] разработан эффективный численный алгоритм расчета разрывных колебаний каверн.

Однако, при поддуве газа, близком к равновесному $\dot{q}_{in} = \dot{q}_{out}(0)$, и наличии непрерывного уноса газа после потери устойчивости могут устанавливаться и неразрывные автоколебания каверны. При этом все три искомые функции $l(t)$, $\bar{\sigma}(t)$ и $\bar{Q}_c(t)$ являются непрерывными и непрерывно дифференцируемыми функциями времени, и для исследования поведения вентилируемой каверны удобно использовать систему обыкновенных дифференциальных уравнений (3)–(6). Она интегрировалась численно методом Рунге-Кутты при начальных условиях:

$$\varphi = 0, \quad l = 1, \quad \bar{\sigma} = 1, \quad \bar{Q}_c = \frac{1}{6} \quad \text{при} \quad t \leq 0.$$

Особенность расчетного алгоритма заключался в необходимости сохранять массивы значений функции $\bar{\sigma}(t)$ и ее производной $\dot{\bar{\sigma}}(t)$, полученных на предыдущих шагах расчета, для вычисления функций запаздывающего аргумента $\bar{\sigma}^{(n)}(t_n - l^{(n)})$ и $\dot{\bar{\sigma}}^{(n)}(t_n - l^{(n)})$. Полученные временные ряды $l^{(n)}$, $\bar{\sigma}^{(n)}$, $\bar{Q}_c^{(n)}$, $t_n = nh$, $n = 1, 2, \dots, N$ подвергались спектральному анализу и другим стандартным процедурам анализа нелинейных колебаний [8]. В результате получены подробные данные о зависимости решения $(l, \bar{\sigma}, \bar{Q}_c)$ от параметров и установлены границы области существования неразрывных решений системы (3)–(6).

4. Результаты расчетов. Ниже приводятся некоторые результаты расчетов неразрывных колебаний вентилируемых каверн при различных значениях параметров β и $\bar{Q}_b$. Как и следовало ожидать, автоколебания в системе возбуждаются при $\beta > \beta_{cr}$. Кроме основного параметра устойчивости β и степени загромождения каверны $\bar{Q}_b$, частота и амплитуда автоколебаний определяется величиной параметра $q_0 = \dot{q}_{in} - \dot{q}_{out}(0)$, т.е. величиной начального избыточного поддува газа в каверну. На рис. 3 показана форма трехмерных фазовых портретов установившихся неразрывных автоколебаний вентилируемой каверны (предельные циклы) для двух значений параметра $\bar{Q}_b$. Для наглядности вместо $\bar{\sigma}$ на графике нанесена величина безразмерного давления в каверне $p_c = \sigma_0(\beta - \bar{\sigma})$. Общие параметры расчета: $C = 0,0211$; $\eta = -1,5$; $\sigma_0 = 0,02$; $\beta = 3,2$; $q_0 = 0$. Отметим, что во втором случае амплитуда автоколебаний на порядок больше.

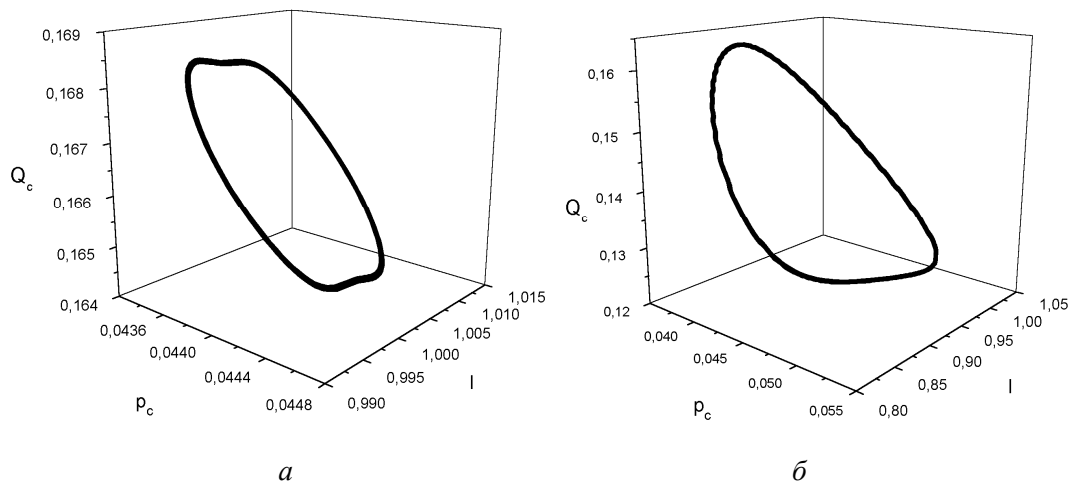


Рис.3. Предельные циклы в фазовом пространстве (l, p_c, Q_c)
 1 – $\overline{Q}_b = 0$; 2 – $\overline{Q}_b = 0,2$

На рис. 4 показана область существования неразрывных колебаний (заштрихована) на плоскости параметров $(\overline{Q}_b, \beta)$. Параметры расчета: $C = 0,0211$; $\eta = -1,5$; $\sigma_0 = 0,02$; $q_0 = 0$. Нижняя кривая рассчитана по уравнениям (12), (13) при $b = 0,0868$. Снизу от заштрихованной области автоколебания не возникают (каверна устойчива), а сверху становятся разрывными и уже не могут рассчитываться с помощью системы (3)–(6). Внутри заштрихованной области при фиксированном $\overline{Q}_b$ приведенная частота и амплитуда колебаний возрастают с ростом β . При этом время выхода на установившийся режим автоколебаний уменьшается с ростом β .

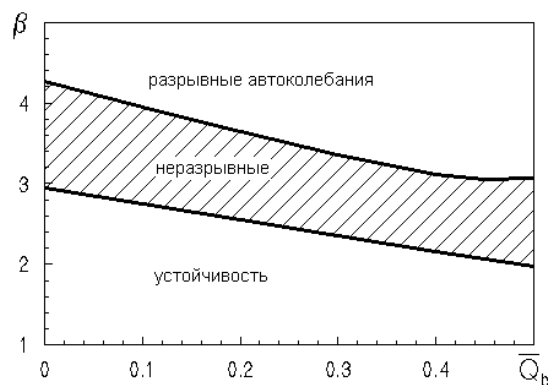


Рис.4. Область существования неразрывных автоколебаний

Графики на рис. 5 показывают, как изменяются приведенная частота k и размах установившихся колебаний длины каверны $\Delta l = l_{\max} - l_{\min}$ при возрастании степени

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

загромождження каверны телом $\bar{Q}_b$. Параметри расчета: $C = 0,0211$; $\eta = -1,5$; $\sigma_0 = 0,02$; $\beta = 3,0$; $q_0 = 0$.

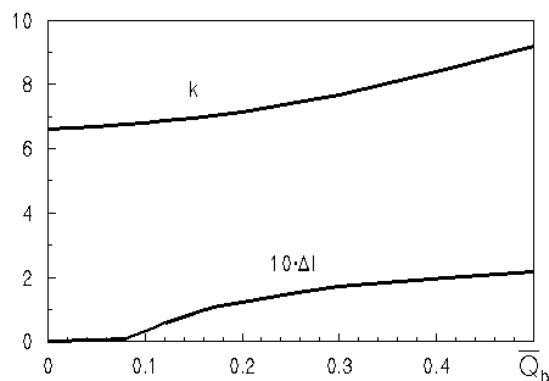


Рис.5. Залежність частоти та розмаху автоколебаний від $\bar{Q}_b$

Отметим, что в отличие от приведенной частоты k_1 нейтральных колебаний, которая не зависит от параметра $\bar{Q}_b$ (см. (12)), приведенная частота нелинейных автоколебаний возрастает с ростом $\bar{Q}_b$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована устойчивость стационарного решения и развитие неразрывных автоколебаний в динамической системе с переменным запаздыванием, моделирующей нестационарное поведение вентилируемой газонаполненной суперкаверны в жидкости. Расчеты показали, что система уравнений (3)–(6) имеет неразрывное решение при относительно небольших значениях $\beta > \beta_{cr}$ и при значениях коэффициента поддува газа $\dot{q}_{in}$, лишь ненамного превышающих свое равновесное значение $\dot{q}_{in} = \dot{q}_{out}(0)$. При увеличении каждого из параметров β , $\dot{q}_{in}$ автоколебания каверны становятся разрывными. Установлены границы области существования неразрывных решений системы (3)–(6). Показано, что возрастание степени загромождения каверны корпусом аппарата $\bar{Q}_b$ ведет к росту приведенной частоты автоколебаний и размаху колебаний длины каверны.

При движении реальных подводных СК-аппаратов с вентилируемыми кавернами возникновение автоколебаний (пульсаций) каверн является весьма нежелательным и опасным явлением. На практике его можно ожидать при сравнительно небольших скоростях движения и больших расходах газа на поддув каверны, что характерно, например, для участка разгона аппарата. Пользуясь результатами данной работы, можно в каждом конкретном случае указать, каким образом следует изменять параметры движения и поддува каверны, чтобы избежать развития автоколебаний или ослабить их амплитуду.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

ЛИТЕРАТУРА

1. Семененко В.Н., Семененко Т.Н. Устойчивость и стабилизация продольного движения суперкавитирующих аппаратов // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології», 2009, Вип. 15, С.134-143.
2. Парышев Э.В. Теоретическое исследование устойчивости и пульсаций осесимметричных каверн // Тр. ЦАГИ. – 1978 – Вып. 1907. – С. 17 – 40.
3. Парышев Э.В. Численное моделирование пульсаций вентилируемых каверн // Тр. ЦАГИ. – 1985. – Вып. 2272. – С. 19–28.
4. Семененко В.Н. Компьютерное моделирование пульсаций вентилируемых суперкаверн. Гидромеханика. – 1997. – Вып. 71. – С. 110–118.
5. Логвинович Г.В. Гидродинамика течений со свободными границами. – К: Наукова думка, 1969. – 208 с..
6. Semenenko V.N. Artificial cavitation. Physics and calculations. RTO-AVT/VKI Special Course on Supercavitating Flows. VKI, Brussels, Belgium. – 2001.
7. Семененко В.Н. Пульсации вентилируемых каверн при различных условиях замыкания – Прикладна гідромеханіка. – 2011. – Т. 13, № 4. – С. 62–67.
8. Гринченко В.Т., Мацыпура В.Т., Снарский А.А. Введение в нелинейную динамику. – К: Наукова думка, 2005. – 263 с.

УДК 514.18

Віктор Тюнін

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙ ВЗАЄМНОГО ПЕРЕТИНУ
ДВОХ ТРИГРАННИХ ФІГУР ПРИЗМИ І ПІРАМІДИ ЗАГАЛЬНОГО
ПОЛОЖЕННЯ СПОСОБОМ ПОЧЕРГОВОГО ПОСЛЕДОВНОГО
ПЕРЕТИНУ КОЖНИМ З ТРЬОХ РЕБЕР ПІРАМІДИ ГРАНЕЙ
ПРИЗМИ**

Надаються скорочено особливості визначення ліній взаємного перетину двох тригранних фігур призми і піраміди загального положення щодо площин проєкцій комплексного креслення, коли жодна з фігур не займає проєкційного положення і тому не відома жодна з проєкцій ліній перетину фігур. Для вирішення подібних задач вибрано спосіб почергового послідовного перетину ребер піраміди з гранями призми в двох точках «входу» і «виходу» на двох суміжних гранях призми. А також використані проєкційні січні площини «посередники».

Предоставляются сокращенно особенности определения линий взаимного пересечения двух тригранных фигур призмы и пирамиды общего положения по отношению к плоскостям проекций комплексного чертежа, когда ни одна из фигур не занимает проецирующего положения и поэтому не известна ни одна из проекций линий пересечения фигур. Для решения подобных задач выбран способ поочередного последовательного пересечения ребер пирамиды с гранями призмы в двух точках «входа» и «выхода» на двух смежных гранях призмы. А также использованы проецирующие секущие плоскости «посредники».

Provides short definitions particularly interimnogo lines of intersection of two shapestrigrannh prism and pyramid common indecomposition with respect to the plane of projection complex drawing, when none of thefigures does not take a projecting position and therefore do not know none of theprojections of the lines of intersection of the shapes. To solve such problems vibranalternate method of successive intersection of the edges of the pyramid with the faces ofthe prism at the two points of "entry" and "exit" on two adjacent faces of the prism. Also used in projecting intersecting plane "intermediaries".

© Тюнін В. Д., 2012

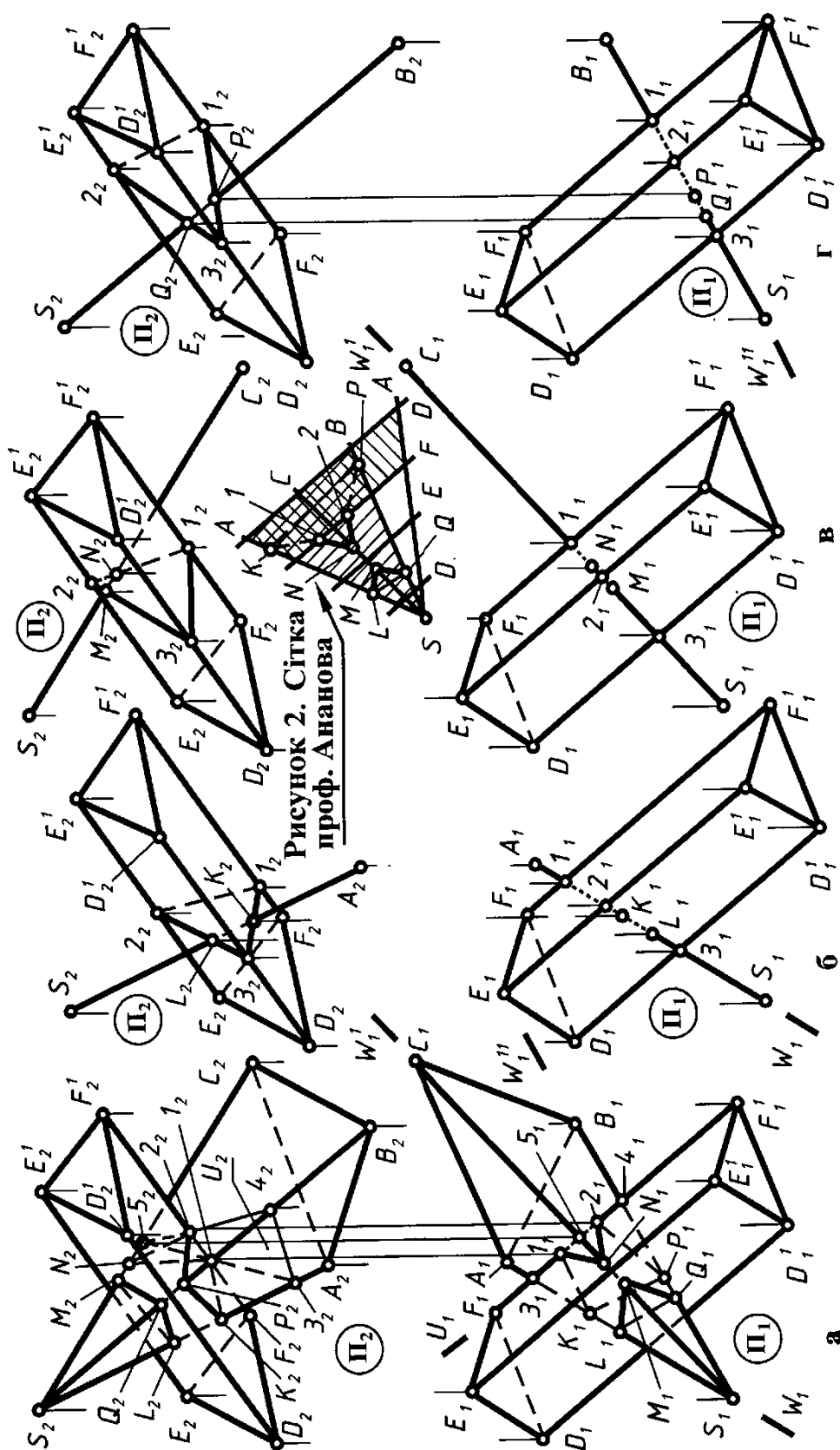


РИС.1. Побудова лінії взаємного перетину багатогранників загального положення

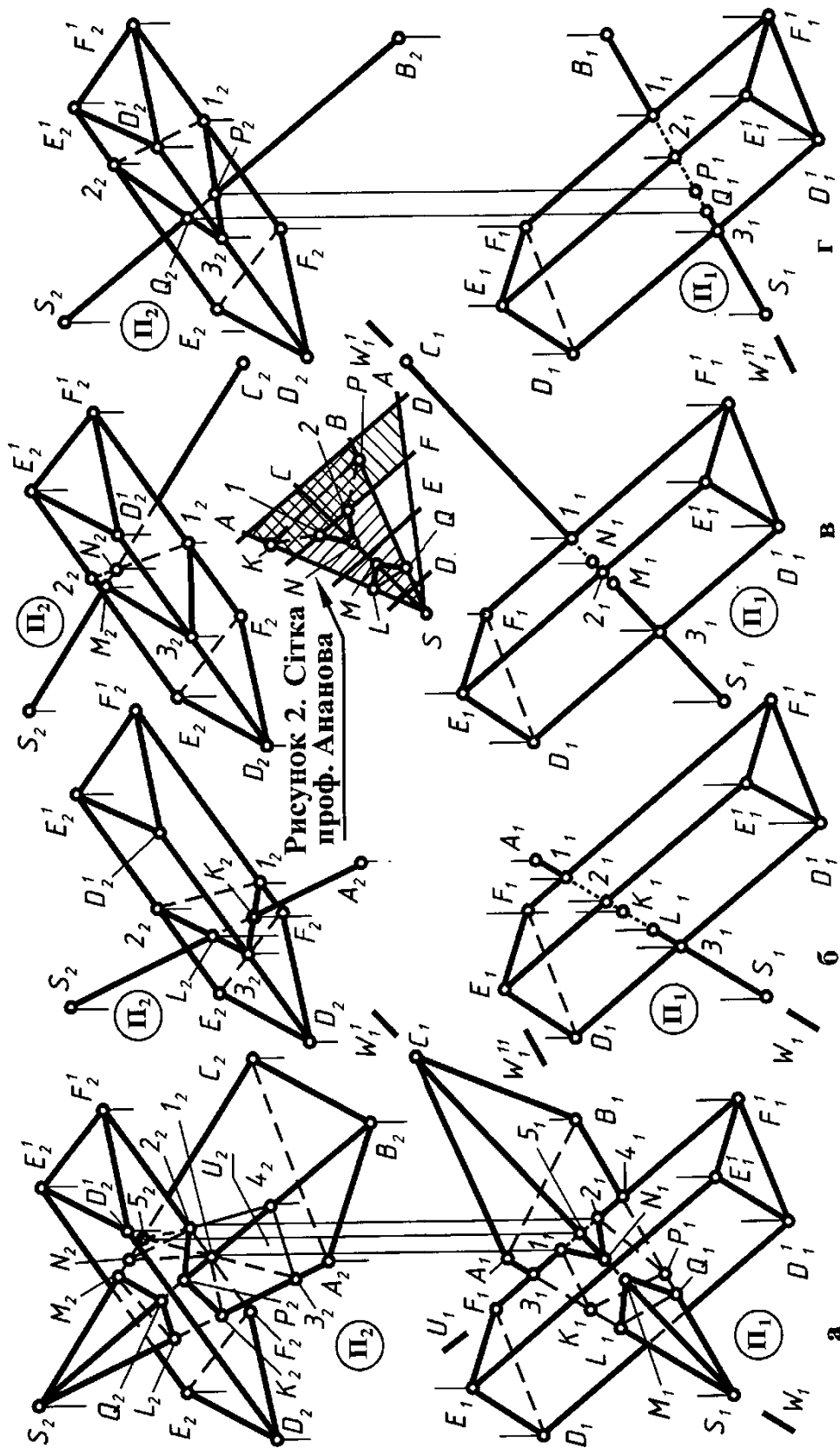


Рис.1. Побудова лінії взаємного перетину багатогранників загального положення

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

В загальному випадку, якщо призма і піраміда займають загальне положення відносно площин проєкцій (**рис. 1, а**), для знаходження точок $L (L_1, L_2)$ і $K (K_1, K_2)$, у яких ребро SA перетинає грані призми, через ребро проводиться горизонтально-проєкційна площина $W (W_1)$. Для ясності креслення побудова точок L і K показана справа від основного креслення (**рис. 1, б**).

Горизонтальна проєкція перерізу призми площиною W_1 є пряма $1_1 2_1 3_1$, а фронтальна – трикутник $1_2 2_2 3_2$. Фронтальна проєкція ребра перетинає контур трикутника в точках K_2 і L_2 , яким відповідають точки K_1 і L_1 на горизонтальній проєкції того ж ребра.

Повторюючи цей прийом для ребер SC і SB , знаходимо точки M, N (**рис. 1, в**) і Q, P (**рис. 1, г**). Потім знаходимо перетин ребер призми з гранями піраміди, також використовуючи допоміжні проєкційні площини.

Дослідження ребер DD^1 і EE^1 призми, проведене за допомогою аналогічних побудов, приводить до висновку, що вони не перетинаються з гранями піраміди. Ребро ж FF^1 перетинається з гранями піраміди в точках 1 і 2 (**рис. 1, а**). Залишається з'єднати побудовані точки перетину відрізками прямих за допомогою зазначеного правила і сітки професора Ананова (**рис. 2**). Схематично зображують розгортки поверхонь і накладають одна на другу в вигляді сітки пересічних ребер, що позначені відповідними буквами, причому перше ребро кожної поверхні повторюється двічі (з початку й у кінці розгортки). Смужки між ребрами відповідають граням поверхонь (**рис. 2**). Побудовані на кресленні точки відзначають на сітці так, щоб вони були на відповідних ребрах однієї поверхні і гранях другої. Наприклад, точки K і L відзначають на ребрі SA і в границях граней DED^1E^1 і FDF^1D^1 , з котрими дійсно перетинається дане ребро. Точку M відмічають на ребрі SC в границях грані DED^1E^1 піраміди і т. д. Потім відрізками прямих з'єднуються між собою точки, що лежать на сторонах однієї і тієї ж клітки. Тоді сітка покаже, що перетин з гранню DED^1E^1 призми грані SAC піраміди є відрізок LM , грані SCB – відрізок MQ , грані SAB – відрізок QL . Порядок з'єднання буде таким: $L-M-Q-L$. Таким чином, піраміда перетинає грань DED^1E^1 призми по трикутнику LMQ .

За цим же правилом з'єднані між собою точки $N-1-K-F-2-N$. Відзначимо, що не можна з'єднати відрізком прямої, наприклад, точки K і 2 , тому що відрізок $K2$ не належить одночасно граням призми і піраміди. Дійсно, точки K і 2 належать грані DFD^1F^1 призми і двом різним граням піраміди, тому перетин граней по відрізку $K2$ відбутися не може. Результати аналізу переносяться з сітки на основне креслення, на якому вказуються видимі і невидимі відрізки ліній перетину фігур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тюнін В. Д. Нарисна геометрія та інженерна графіка. Конспект лекцій з нарисної геометрії: ДЕТУТ, 2009. - 221 с.
2. Тюнін В. Д. Методичні вказівки та завдання до практичних занять з нарисної геометрії: КУЕТТ, 2006. - 172 с.

УДК 681.325

Ірина Воронко

**КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ
У ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ТА ЇХ МОНІТОРИНГ**

У даній статті запропонована класифікація видів коротких замикань у лініях електропередач і показаний їх моніторинг за допомогою комп'ютерної системи контролю й ідентифікації режимів функціонування.

В данной статье предложена классификация видов коротких замыканий в линиях электропередач и показан их мониторинг с помощью компьютерной системы контроля и идентификации режимов функционирования.

In this paper the classification of short circuits in power lines and them to for monitoring by the computer system to monitor and identifications modes of operation.

Ключові слова: лінії електропередач, коротке замикання, електрична мережа, моніторинг.

Актуальність. На сьогодні для забезпечення ефективного функціонування електричних мереж і силового електроустаткування залізниці, а отже, надійності їхньої роботи, створені комп'ютерні методи і технічні засоби реєстрації й аналізу сталих і перехідних режимів їх функціонування. Згідно із статистичними даними, більшість аварій, які виникають в електроенергетичних системах, припадає на лінії електропостачання (ЛЕП). Враховуючи той факт, що залізничні транспортні системи представляють собою територіально-розподілені об'єкти, то дуже важливою є задача визначення виду пошкодження та знаходження відстані до місця короткого замикання (КЗ) з точки зору оперативності знаходження і ліквідації наслідків аварії. На основі проведених досліджень[1-3] можна зробити висновок, що методи визначення місця короткого замикання в електричній мережі базуються в першу чергу на параметрах електропостачальної системи і результатів виміру параметрів режимів при виникненні аварії та виду самої аварії.

Мета. Провести аналіз видів пошкоджень в електричних мережах, зробити класифікацію видів коротких замикань і навести осцилограми моніторингу електричних параметрів ліній електропередач.

Тривалий досвід експлуатації систем електропостачання показує, що у зв'язку з їхньою специфікою більшість аварій на лініях електропередачі становлять КЗ, які можуть бути миттєвими та стійкими. Миттєві короткі замикання є самоусуваючими. У випадку стійких КЗ варто визначити місце КЗ і проконтролювати усунення пошкодження.

© Воронко І. О., 2012

Причини виникнення КЗ у повітряних або в кабельних лініях, в генераторах чи трансформаторах є дуже різноманітними. Вони виникають у результаті електричних і механічних пошкоджень ізоляції; в результаті розвитку дефектів в ізоляторах і ізоляційних конструкціях; при перекритті забрудненої і зволоженої ізоляції; в результаті обривів проводів і тросів; розривів струмоведучих частин і фаз кабелів у з'єднуючих муфтах при зміщенні землі; в результаті часткових пошкоджень ізоляції при монтажі й будівництві; при часткових розрядах, що змінюють напруженість електричного поля на границях між елементами ізолюючих конструкцій; а також в результаті дії грозових і внутрішніх перевантажень, замикання на землю однієї фази в мережі з ізольованими нейтраллями; помилкових дій персоналу й ін. У зв'язку з цим методи та засоби підвищення надійності роботи електричних мереж у першу чергу мають бути направлені на підтримку визначеного експлуатаційного рівня електричної міцності ізоляції і на попередження умов для розвитку аварій, які, наприклад, можуть сприяти переходу однофазних замикань на землю в міжфазні КЗ. У більшості випадків у місці КЗ виникає електрична дуга з високою температурою, що призводить до руйнувань струмоведучих частин, ізоляторів і електричних апаратів. При КЗ до місця пошкодження підходять більші струми (струми КЗ), вимірювані тисячами амперів, які перегрівають неушкоджені струмоведучі частини й можуть викликати додаткові пошкодження, тобто розвиток аварії. Отже, замикання, при якому струми в лініях електропередач і в електрообладнанні, що примикають до місця його виникнення, різко зростають, перевищуючи найбільший допустимий струм тривалого режиму, називається коротким замиканням [7], вони поділяються на симетричні та несиметричні короткі замикання. Основні види короткого замикання показані рис. 1.

- Міжфазні короткі замикання – трифазні та двофазні – вони у свою чергу виникають у мережах як із заземленою, так із ізольованою нейтраллю.

- Однофазні короткі замикання – відбуваються тільки в мережах із заземленою нейтраллю.

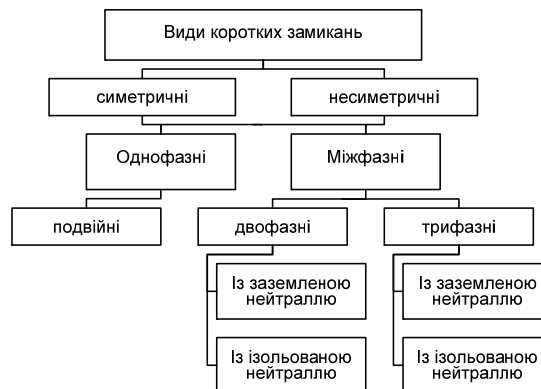


Рис. 1. Види коротких замикань

Отже, на ЛЕП виникають трифазні, двофазні та однофазні короткі замикання (КЗ), як у мережах із заземленою, так і з ізольованою нейтраллю. Найбільша кількість пошкоджень на ЛЕП припадає на однофазні КЗ – до 85 %. Визначення відстані до місця пошкодження [1, 2] під час виникнення двофазних та особливо трифазних КЗ ніяких труднощів не становить. Більш істотні труднощі виникають з визначенням місця пошкодження під час однофазних КЗ. Тому під час виникнення

на лінях коротких замикань важливе значення має визначення виду пошкодження та які з фаз були пошкоджені. Пошкодження можна визначити за допомогою спеціальних цифрових реєстраторів [5, 6], які здійснюють моніторинг і діагностику електричної мережі. Залежно від особливостей електричної мережі моніторинг може здійснюватись неперервно (на базі стаціонарних пристроїв), періодично (з певною визначеною періодичністю, наприклад, раз у рік) або за необхідністю (у процесі впровадження нових потужних електроприймачів, компенсувальних пристроїв тощо).

Приклад дослідження моніторингу і реєстрації параметрів нормальних і аварійних режимів, які виконуються синхронно за часом і роботою системи захисту, включаючи також визначення відстані до місця аварії для мереж електропостачання на Південно-західній залізниці. За допомогою комп'ютерної системи [6] контролю та ідентифікації режимів функціонування проводились дослідження на рівні тягових підстанцій. На рис. 2, 3 показано результат моніторингу параметрів режимів на фазовій контактній мережі тягової підстанції «Новоград». Із осцилограм, що зареєстровані комп'ютерною системою моніторингу, і реєстрації режимів силових електричних мереж залізниці на тяговій підстанції Новоград видно, що 02.03.2010 р. о 12 годині 25 хв., 41 сек. і 790 мл. було коротке замикання на лінії фідера контактної мережі №1 Коростень. Аварія з'явилась на фазі А. Відстань до короткого замикання 79,248 км. Довжина лінії 86,331 км.

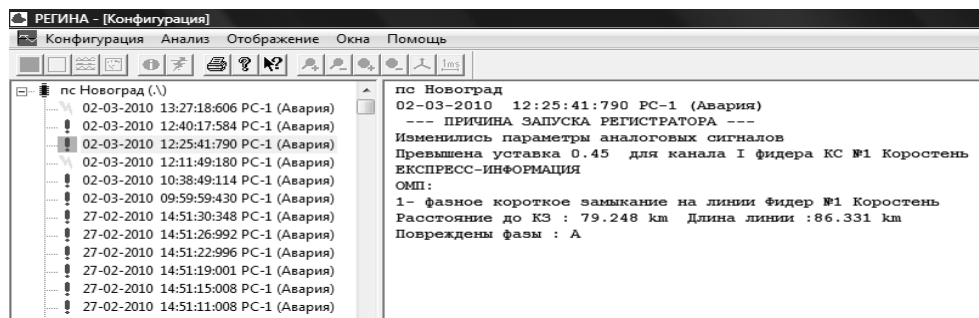


Рис. 2. Реєстрація аварії на фазовій контактній мережі
тягової підстанції «Новоград»

Як показано на осцилограмі, аварійний режим продовжувався біля трьохсот мілісекунд. Результати виміру реалізовані на відмітці курсору і наведені в лівому вікні осцилограми. Значення діючого струму короткого замикання в момент аварії $I_{дій}=0,4820$ кА, а величина миттєвого струму, що вимірюється по лінії курсору, відповідно $I_{мить}=0,6816$ кА. Діапазон зміни струму від -1,44 кА до 1,44 кА. Дійсне значення напруги $U_{дій}=21,8$ кВ і відповідно миттєве значення напруги по лінії курсору $U_{мить}=10,6$ кВ. Діапазон зміни напруги відповідно від -38,37 кВ до 38,37 кВ. На осцилограмі також показано значення струму і напруги на фідері контактної мережі №2 Судилково. Дійсне і миттєве значення струму на цьому фідері дорівнює нулю, а напруги, відповідно $U_{дій}=25,3$ кВ, $U_{мить}=-26,5$ кВ. При необхідності є також можливість показати роботу системи захисту, тобто динаміку відключення фідера від навантаження в момент аварійного режиму. При появі аварії автоматично формується файл експрес-аварійної інформації, який передається на всі рівні управління електропостачанням.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

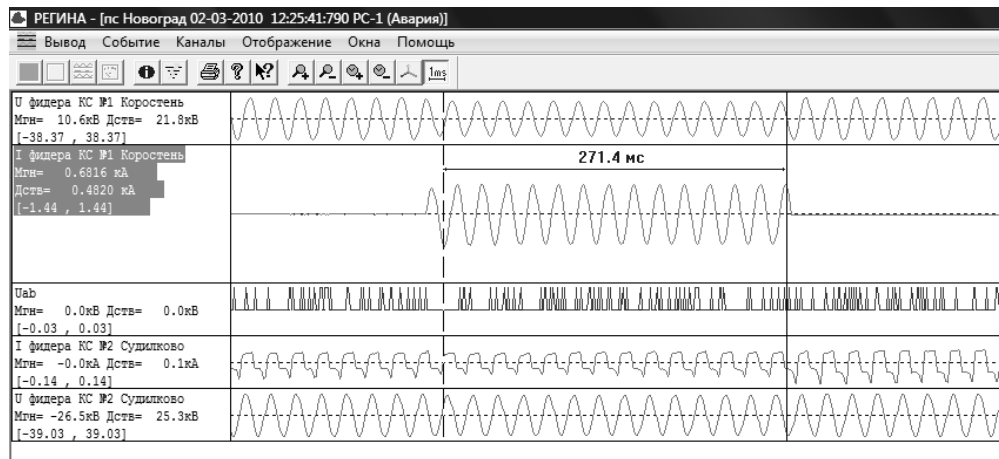


Рис.3. Осцилограми аварійного режиму на фідері контактної мережі тягової підстанції «Новоград»

Системою зареєстровано доаварійний, аварійний і післяаварійний режим тягової мережі електропостачання залізниці синхронно з роботою системи захисту і фіксацією часових параметрів. Отримані дані є основою ідентифікації типу аварійного режиму, спроможності його оперативної ліквідації, а також визначення рівня впливу на системні параметри функціонування електричної мережі.

Висновки. 1. Запропонована класифікація видів коротких замикань у лініях електропередач, сформульована на основі узагальнених понять і визначень, які використовуються під час експлуатації ліній електропередач. 2. Наведений, як приклад, моніторинг параметрів режимів на фазовій контактній мережі тягової підстанції Новоград, осцилограма якого представляє зареєстровані доаварійний, аварійний і післяаварійний режими роботи тягової мережі електропостачання залізниці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов М.Г. Определение мест коротких замыканий на высоковольтных линиях передач // Энергетика. – 2004. – № 2.
2. Баран П.М., Кідиба В.П., Равлик О.М., Чорний Н.І. Визначення місця пошкодження на лініях з відгалуженнями // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2006. – № 563. – С. 10–13.
3. Сопель М.Ф., Тутик В.Л., Щербакова І.А. Математические модели и информационные технологии идентификации аварийных режимов электрических сетей // 36. наук. праць ІПМЕ НАНУ, Вип. 46, 2008. – С.192–199.
4. Стогний Б.С., Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Сопель М.Ф. Застосування засобів моніторингу перехідних режимів в ОЕС України для розв'язання задач диспетчерського керування // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2009, вип. 23. – С. 147-155.
5. Стогний Б.С., Сопель М.Ф. Інформаційно-діагностичний комплекс "Регіна" // Новини енергетики. – 2000. – №10. – С.44-47.
6. Информационно-диагностический комплекс «Регина». МЧП «Анигер». – Киев, 2008.
7. ГОСТ 26522-85. Межгосударственный стандарт. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. Переиздания 2005 г.

УДК 681.325

Максим Габчак

**МЕТОДОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДІАГНОСТИЧНИХ ДАНИХ
У БОРТОВІЙ КОМП'ЮТЕРНІЙ СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ
СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ**

В статті наведена інформація про перспективи розвитку систем діагностики рухомого складу. Наведені загальні моделі процесу обробки діагностичних даних. Розглянуто існуючі засоби технічної діагностики та моніторингу.

Ключові слова: засоби моніторингу, рухомий склад, нейронна мережа.

В статье приведена информация о перспективах развития систем диагностики подвижного состава. Приведены общие модели процесса обработки диагностических данных. Рассмотрены существующие средства технической диагностики и мониторинга.

Ключевые слова: средства мониторинга, подвижной состав, нейронная сеть.

The article presents information about the prospects of development diagnostic systems of rolling stock. There are general process model of diagnostic data. The existing means of technical diagnostics and monitoring are considered in this article.

Key words: monitoring tools, rolling stock, and neural network.

Актуальність теми. З підвищенням інтенсивності перевезень, швидкості та довжини поїздів підвищуються вимоги до забезпечення безпечної та своєчасної доставки пасажирів та вантажів. Цього можна досягти шляхом введення в експлуатацію нового рухомого складу або шляхом модернізації існуючого із застосуванням інформаційних технологій моніторингу та діагностики обладнання. Ефективність роботи рухомого складу напряму залежить від стабільної роботи основних вузлів та агрегатів. Тому розробка новітніх методів діагностики бортового обладнання є провідним завданням для забезпечення процесу перевезень.

Мета. Дослідити сучасні засоби моніторингу та діагностики рухомого складу. Проаналізувати моделі обробки діагностичних даних

Основний зміст роботи. Діагностика вирішує три основні типи завдань з визначення стану об'єктів діагнозу. До першого типу відносять завдання з визначення стану, в якому є об'єкт у даний момент часу, до другого –

© Габчак М.К., 2012

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

завдання з передбачення стану, в якому виявиться об'єкт в деякий майбутній момент часу, до третього – завдання по визначенню стану, в якому знаходився об'єкт в деякий момент часу в минулому.

Особливе значення при усуненні пошкоджень мають кількість та якість отримуваної оперативним і обслуговуючим персоналом контрольної логічної і вимірювальної інформації.

Системи діагностики відносяться до інформаційно-вимірювальних систем і містять такі основні пристрої :

- вимірювання параметрів (датчики);
- кодування інформації за заданим алгоритмом;
- пристроїв прийому – передачі і каналів зв'язку;
- декодування та зберігання інформації;
- логічної обробки, відображення та управління.

Датчики, які встановлюють як можна ближче до контролюємих компонентів ходової частини, перетворюють фізичні величини в електричні сигнали, які потім переводяться аналізуючим пристроєм в цифрову форму. Сигнали прискорення є вхідними величинами алгоритмів діагностики і призначені для формування характеристичних значень. Ці значення аналізуються за заданими критеріями порогу виникнення пошкоджень та видачі попереджувального сигналу. Сигнали, що знімаються з основних і резервних датчиків температури, контролюються з метою перевірки на перевищення порогових значень.

Засоби технічного діагностування можна розділити на три види відповідно до їх взаємодії з об'єктом діагностування: зовнішні, вбудовані (бортові) і встановлюються на об'єкт (рис. 1).



Рис 1. Класифікація засобів технічної діагностики

Наявність таких засобів дозволяє своєчасно виявляти наступ передвідмовних станів і призначати проведення попереджувальних дій по фактичному стану, забезпечуючи тим самим повне використання ресурсу деталей і агрегатів.

Загальний процес технічного діагностування включає в себе: забезпечення функціонування об'єкта на заданих режимах або тестовий вплив на об'єкт; визначення і перетворення за допомогою датчиків сигналів, що виражають значення діагностичних параметрів, їх вимір; постановку діагнозу на підставі логічної обробки отриманої інформації шляхом зіставлення з нормативами.

Останнім часом в технічній діагностиці з'явилося кілька альтернативних рішень, що дозволяють проводити діагностику відмов в складних і невизначених системах. Самим багатообіцяючим з них є використання для моделювання нелінійних динамічних систем та діагностики відмов на основі нейронних мереж.

У діагностиці технічних систем нерідко виявляються дефекти, при яких зв'язок між ознаками та причинами несправностей носить неоднозначний характер. Прості двозначні твердження типу – недостатні, оскільки чіткі правила пошуку несправностей в системі ґрунтуються на взаємно однозначних відповідностях між причиною і ознаками несправностей, тобто вони жорстко детерміновані в правилах.

Таким чином, вихідні параметри діагностичної системи повинні визначати з одного боку причину і тип дефекту (несправності), з іншого боку – стан об'єкта діагностування, його відповідність оперативно-функціональному призначенню. Аналітичні моделі діагностики відмов визначають, виділяють і класифікують відмови в компонентах системи.

Основною проблемою розробки аналітичних моделей діагностики відмов є визначення різниці на входах системи. Більшість визначників різниці засновані на моделях лінійних систем. Але для систем реального часу лінійні моделі є недостатньо точними. Застосування нейронних мереж дає можливість моделювати складні системи, володіючи невеликою кількістю інформації, можна зробити висновок про те, що досягти відповідної точності можна використовуючи в аналітичних моделях нейронні мережі.

Одною з найбільш важливих якостей нейронних мереж є їх можливість вивчати динаміку поведінки нелінійних систем автоматично, у випадку, якщо архітектура нейронної мережі містить як мінімум три шари.

На *рис. 2.* наведена загальна модель діагностичної системи для виявлення відхилень у технічному стані рухомого складу. Виявлення аварійних станів у роботі, зосереджується навколо нейромережевої моделі (НМ), яка складається (навчається) інформації (параметрів), отриманої за нормативних умов функціонування рухомого складу. Коли НМ побудована, тоді кожен новий кадр інформації про поточний стан порівнюється з нормативною інформацією та визначається відмінність між ними.

Експерименти діагностування РС були проведені із застосуванням тришарових асоціативних нейронних моделей прямонаправленої структури з навчанням за алгоритмом зворотного розповсюдження помилки [1].

Алгоритм зворотного розповсюдження визначає два потоки в мережі: прямий потік від вхідного шару до вихідного і зворотний потік – від вихідного шару до вхідного. Прямий потік просуває вхідні вектори через мережу, в результаті чого у вихідному шарі виходять вихідні значення мережі. Зворотний потік подібний прямому, але він просуває назад по мережі значення помилок, в результаті чого визначаються величини, відповідно до яких слід коригувати вагові

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

коефіцієнти в процесі навчання. У зворотному потоці значення проходять по зв'язкам в напрямку, зворотному напрямку прямого потоку. Наприклад, в прямому потоці елемент прихованого шару посилає сигнали кожному елементу вихідного шару, а в зворотному потоці елемент прихованого шару буде отримувати сигнали помилок від кожного елемента вихідного шару.

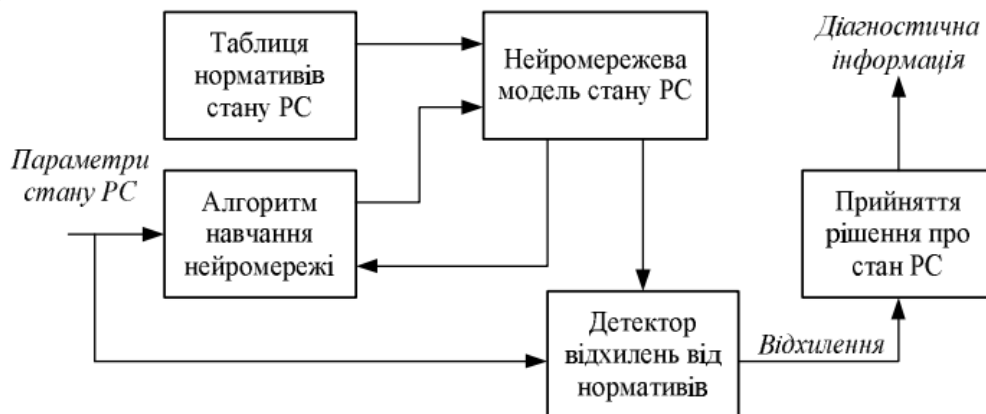


Рис. 2. Загальна модель діагностичної системи для виявлення відхилень у технічному стані рухомого складу

У процесі навчання кожен вхідний зразок буде мати відповідний цільовий вихідний зразок, який повинен виходити для даного вхідного.

Висновок. Переваги класифікатора, побудованого на основі нейромереж, перед традиційними оціночними методами полягає в таких факторах: незалежність від шумів, самонавчання, можливість паралельної обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравець П.І. Нейромережні технології оперативного діагностування технічного стану рухомого складу / П.І. Кравець, В.А. Жеребко, В.М. Шимкович, Р.Ю. Дьомін, А.В. Мостович. –Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2011, вип. 123, 2011. – 119 с.
2. Бортовая система диагностики ходовой части – ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ МИРА №08. – 2004.
3. Дроздов С.Н., / Leroy Automatique Industrielle: средства автоматизации для транспорта и других отраслей с тяжелыми условиями эксплуатации, Золотарев С.В. // журнал Рациональное Управление Производством, 2009. – № 4. – С. 74–76.

УДК 621.395.74

*Олександр Герцій
Руслан Гребінь*

**МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ
МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ**

Важливим питанням розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є забезпечення ефективності їх роботи та відповідних параметрів якості надаваних послуг. Тому розробка і впровадження ефективних методик та засобів забезпечення якості зв'язку є актуальним завданням сьогодення. В роботі проведено аналіз проблем забезпечення якості в сучасних телекомунікаційних мережах та розглянуто сучасні методи вирішення поставленого завдання.

Важным вопросом развития современных телекоммуникационных сетей является обеспечение эффективности их работы и соответствующих параметров качества предоставляемых услуг. Поэтому разработка и внедрение эффективных методик и средств обеспечения качества связи является актуальной задачей сегодняшнего дня. В работе проведен анализ проблем качества в современных телекоммуникационных сетях и рассмотрены современные методы решения поставленной задачи.

Important issues of modern telecommunication networks is to ensure their efficiency and appropriate service delivery options. Therefore, the development and implementation of effective methods and means of ensuring the quality of communication is the urgent task of today. This paper analyzes the problems of quality assurance in modern telecommunications networks and the Modern solution to the problem.

Вступ

У наш час розвиток телекомунікаційних мереж відбувається в напрямку зростання кількості інформаційних послуг, впровадження нових телекомунікаційних технологій та їх конвергенції. Проте обмежені можливості традиційних мереж є стримуючим чинником на шляху впровадження сучасних інфокомунікаційних ресурсів. Тому актуальним постає завдання побудови універсальних мереж, що здатні однаково ефективно та якісно надавати послуги різного роду, що включають передачу голосу, даних та відео.

Так, в останні роки спостерігається перехід від різномірних телекомунікаційних мереж, кожна з яких була призначена для забезпечення певного типу послуг, до мереж наступного покоління (NGN) або ж так званих мультисервісних мереж (MCM).

© Герцій О. А., Гребінь Р. О., 2012

Їх інноваційна сутність полягає в тому, що вони забезпечують більш гнучке, швидке та ефективне середовище передачі, адже не прив'язані до концепції каналу й забезпечують повнозв'язність мережі. Це досягається за рахунок фізичного й логічного відділення передачі та маршрутизації пакетів, а також устаткування передачі (маршрутизаторів, комутаторів, шлюзів) від пристроїв та логіки керування викликами й послугами. Як результат, мультисервісні мережі нового покоління представляють еволюцію вже існуючих телекомунікацій на шляху інтеграції, що відображається в злитті мереж і технологій.

При проектуванні мультисервісних мереж прагнуть знайти такий варіант побудови їх оптимальної структури, який би задовольняв необхідну потребу в зв'язку при найменших загальних витратах, обслуговуванні та наступному розвитку мережі. При цьому просте нарощування об'ємів інфокомунікаційних послуг мережі може негативно позначитися на показниках якості обслуговування базових послуг зв'язку і роботи мережі взагалі.

Все це вимагає проведення детального аналізу структури та майбутніх функцій самої мережі при її проектуванні чи модернізації в напрямку мультисервісності, а поява нових властивостей мережевого трафіка та необхідність забезпечення високої якості обслуговування різних категорій додатків, роблять необхідним розробку сучасних методик і механізмів для оцінки якості роботи таких мереж.

Механізми забезпечення якості зв'язку в МСМ

Метою теоретичних досліджень, направлених на створення методик планування мультисервісних мереж зв'язку, являється визначення функціональних залежностей між об'ємами трафіка, показниками якості обслуговування та структурними параметрами мережі, що в кінцевому результаті можуть бути використані для визначення вартості того чи іншого рішення. Головною проблемою тут являється оцінка показників якості QoS, адже поняття якості носить комплексний характер і включає різні аспекти доставки інформації по мережі. Таким чином, розробка комплексу методів, щоб охоплював аналіз якості роботи та оптимізацію проектних рішень при проектуванні мультисервісних мереж, є актуальним завданням.

При цьому необхідно враховувати складність такого завдання, що виражається багатогранністю самої мережі, що, у свою чергу, обумовлює складність виведення коректного рішення задачі оптимальної організації мультисервісної мережі. Тому із всіх можливих характеристик необхідно виділити декілька основних інтегральних показників, що глобально оцінюють якість обслуговування і можуть бути використані для оцінки необхідного ресурсу мережі.

Вибір таких характеристик необхідно проводити на основі комплексного аналізу складових, що визначають та впливають на процес роботи мережі. Тому, користуючись даним підходом, на основі аналізу поставленого питання, можна виділити два основних аспекти, що пов'язані з забезпеченням якості, а саме: конструктивні особливості мережі та особливості організації (управління) роботою мережі.

Конструктивні аспекти визначаються вибором топології мережі, використовуваних технологій транспортної мережі та мережі доступу, технічних характеристик обладнання та ін., що у свою чергу, залежать від загального абонентського навантаження, підтримки відповідних сервісів, необхідної швидкості передачі, безвідмовності роботи того чи іншого обладнання. Всі ці фактори враховуються на початкових етапах проектування мережі з врахуванням

на найближчу перспективу. Під час експлуатації мережі їх вплив на якість обслуговування в середньому залишається незмінним. Як наслідок вирішення цих завдань відносять до питань проектування мережі і як механізми забезпечення якості використовують лише при наступній модернізації структури мережі. До того ж, покращення функціонування мережі шляхом нарощування структурних елементів мережі не є економічно доцільним, що в умовах сучасного економічно орієнтованого підходу є визначальним.

Організаційні аспекти роботи мережі включають контроль за ресурсами мережі, управління даними абонентів та використання менеджменту. Вони безпосередньо визначають якість зв'язку в процесі експлуатації мережі і тому саме їх виділяють як основні механізми забезпечення QoS. Такий класифікаційний підхід оснований на рекомендаціях Y.1291 Міжнародного союзу електрозв'язку та його інтерпретаціях вітчизняними вченими [1]. Повна структура механізмів забезпечення QoS представлена на рис.1.

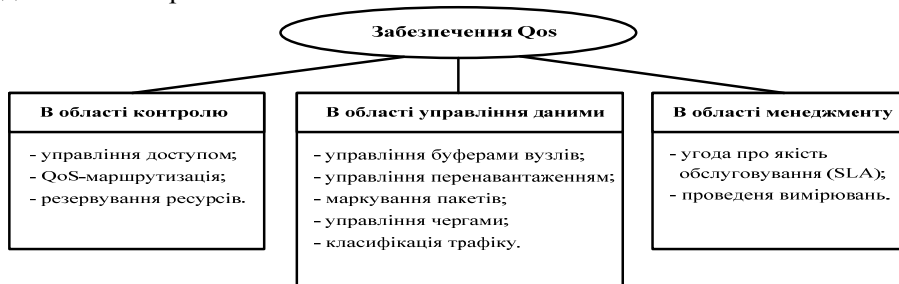


Рис.1. Механізми забезпечення QoS в MCM

При цьому запропонована класифікація враховує той факт, що мультисервісні мережі являються IP-орієнтованими, а отже, представлені механізми в повній мірі можуть бути застосовані лише в IP-мережах.

Серед основних з них треба відмітити метод управління доступом до ресурсів мережі шляхом контролю подання нових заявок, метод маркування пакетів відповідно до класу обслуговування, метод забезпечення вибору оптимального маршруту за параметром QoS, алгоритм своєчасного виявлення перенавантаження RED задля запобігання переповнення буферів у вузлах мережі, метод організації черг реалізований механізмом зваженої справедливої буферизації WFQ та механізмом буферизації за класом обслуговування CBQ, механізм укладання «Угоди про якість обслуговування» SLA, що дозволяє встановити однозначну відповідність між показниками якості зі сторони користувача та показниками функціонування мережі [2].

Приведена структура відображає всю різноманітність методів та підходів щодо реалізації забезпечення якості, кожен з яких забезпечує вирішення того чи іншого завдання у забезпеченні QoS. Проте сучасні темпи розвитку вимагають більш досконалих механізмів, які б дозволяли одночасно вирішувати декілька проблем. Прикладом такої реалізації можуть бути моделі представлені RSVP, DiffServ та MPLS [3]. Зокрема модель надання інтегрованих послуг, передбачає використання протоколу RSVP, згідно з яким відбувається резервування та управління частиною ресурсів мережі з метою «жорсткого» забезпечення якості. Проте таке резервування вимагає значних затрат ресурсів мережі, що накладає обмеження на її використання.

Більш досконалий механізм забезпечується моделлю надання диференційованих послуг, що реалізується протоколом DiffServ. Він передбачає організацію передачі пакетів між вузлами мережі на основі присвоєного класу обслуговування. Як наслідок розподіл ресурсів відбувається більш «м'яко».

Третя модель передбачає використання механізму багатопротокольної комутації по міткам – MPLS, що полягає в значному спрощенні процесу маршрутизації пакету, що стало можливим за рахунок відмови від аналізу IP-адреси в його заголовку. Для оцінки і порівняльного аналізу різних методів організації доступу до даних, як найбільш універсальний доцільно використовувати критерій «ефективність-вартість» [4].

Під ефективністю E в даній задачі мають на увазі деякий функціонал швидкості передачі запитів V_q і достовірності передачі, яка виражається через помилки першого і другого роду з відповідними ймовірностями P_I і P_{II} [5]:

$$E = \psi(V_g, P_I, P_{II})$$

Вартість визначається за формулою:

$$C = a_1 V_{inf} + a_0.$$

1. При обмеженнях на час займання каналу при гарантованій якості обслуговування QoS:

$t_3 \leq T_{\max}$, при $t_3 > T_{\max}$ $C = a_2 V_{inf}$, де a_1 і a_2 - вагові коефіцієнти, що підбираються експериментально, за результатами аналізу стану каналів передачі.

Якщо $a_1 > a_0$, де коефіцієнт a_i визначається методом експертних оцінок на основі результатів обробки статистичних даних, тоді, в цьому випадку, як перше наближення пропонується лінійно-ламана залежність (рис. 2).

Завдання вибору точки зламу носить суб'єктивний характер, тому розглянемо іншу функцію вартості: $C = a_{12} V_{inf} + a_0$. Коефіцієнт a_{12} вибирається з умови

$$a_1 V_{\max} + a_0 = a_{12} V_{\max}^2 + a_0 \text{ або } a_{12} = \frac{a_1}{V_{\max}}.$$

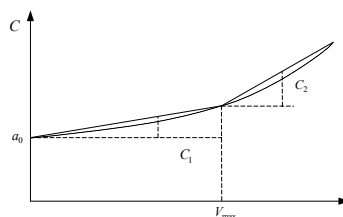


Рис. 2. Залежність при гарантованій якості обслуговування

2. Альтернатива – якість сервісу не гарантується (обслуговування за угодою BestEffort) [6].

$$C = a_3 V_{inf} + a_{03}$$

Забезпечення передачі даних – задача оператора (провайдера мережі). В цьому випадку також зупинимось на лінійно-ламаний залежності як першому наближенні,

але з іншим коефіцієнтом і точкою зламу (рис. 3), та на квадратичній залежності, де a_{32} вибирається з тих же міркувань, що і a_{12} .

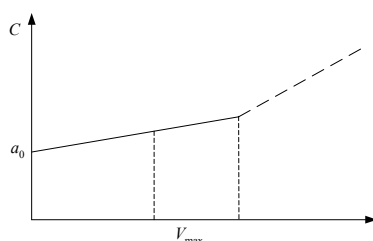


Рис. 3. Залежність вартості режиму передачі даних

Квадратичні функції вартості широко застосовуються при аналізі і синтезі великих систем, в тому числі інформаційно-обчислювальних та систем керування.

3. Форс – мажорна ситуація (максимальне виділення каналів), якість обслуговування QoS максимальна, при цьому вартість є другим пріоритетом. Необхідно забезпечити гарантований об'єм каналу – $V_{\text{канал}} \geq V_{\text{инф}}$.

При визначенні необхідного об'єму каналу, об'єм інформації, що переробляється орієнтовно у 10 - 100 разів менше в штатній ситуації, ніж при виникненні позаштатної ситуації. Тоді, вартість зростає згідно з законом $C_{\text{max}} = (1 - e^{-a_4 V_{\text{инф}}})$, і графік виглядає таким чином (рис. 4)

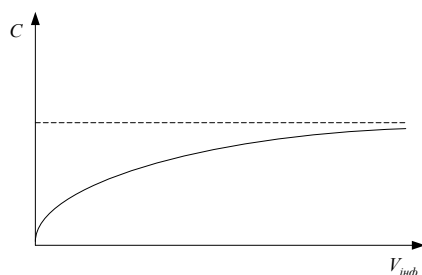


Рис. 4. Залежність вартості від якості інформації в «м'якій» форс-мажорній ситуації

В деяких випадках цінність інформації є абсолютним пріоритетом. Тому, як функцію вартості доцільно вибрати інформаційну функцію виду $C = a_{42} \log_2(1 + V_{\text{инф}})$, $V_{\text{инф}} > 0$ (рис. 5).

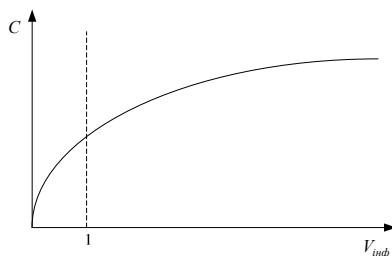


Рис. 5. Залежність вартості від якості інформації в «жорсткій» форс-мажорній ситуації

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таким чином, для оптимізації часу доставки і обробки інформації в різних ситуаціях необхідно вибирати відповідні функції вартості, запропоновані вище.

На основі аналізу розглянутих механізмів можна стверджувати, що подальший розвиток та розробка механізмів забезпечення QoS буде вирішуватися на основі комплексних підходів та методик, що враховуватимуть вирішення цілого ряду проблем пов'язаних з покращенням функціонування мережі.

Висновки

Конвергенція телекомунікацій, реалізована в мультисервісних мережах, поставила питання забезпечення якості обслуговування на одну з ключових позицій в забезпеченні функціонування мережі. Огляд сучасних підходів до забезпечення QoS показав, що реалізація існуючих методів не в повній мірі забезпечує вирішення даного питання. А тому подальший розвиток питання забезпечення якості буде йти шляхом розробки комплексних підходів та методик.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
2. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.
3. Семенов Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 240 с.
4. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 488 с.
5. Леман Э. Проверка статистических гипотез. — М.: Наука, 1964. — 498 с.
6. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 916 с.

УДК 004 7 514.87 (043.3)

*Леонид Мараховский
Максим Москвин*

**ОБЩИЕ ЧЕРТЫ И РАЗЛИЧИЯ ИСКУССТВЕННЫХ
И БИОЛОГИЧЕСКИХ НЕЙРОНОВ, КАК ЭЛЕМЕНТОВ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Рассмотрены различия и особенности функционирования биологического нейрона и искусственного. Наибольшим различием между ними является способность биологического нейрона одновременно обрабатывать частную и общую информацию и изменять синаптические связи в трехмерном пространстве.

Розглянуті відмінності та особливості функціонування біологічного нейрона і штучного. Найбільшою відмінністю між ними є здатність біологічного нейрона одночасно обробляти часткову і загальну інформацію та змінювати синаптичні зв'язки в тривимірному просторі.

Look at the differences and characteristics of biological neurons and artificial. The biggest difference between them is the ability of biological neurons simultaneously handle private and general information and change Synaptic connections in three-dimensional space.

Ключевые слова: нейрон, нейронные сети, синапс, аксон, адаптивные алгоритмы, искусственные нейронные сети.

Актуальность данной темы состоит в том, что на сегодняшний день, подавляющее количество систем обработки информации, основанных на принципе биологических нейронных сетей, не могут в полной мере реализовать весь потенциал заложенный в эту концепцию из-за несовершенства двоичных схем памяти.

Введение. Искусственные нейронные сети (ИНС) – математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма.

ИНС представляют собой систему соединенных и взаимодействующих между собой процессоров (искусственных нейронов ИН). Такие процессоры довольно просты, особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах [2-9].

© Мараховский Л.Ф., Москвин М.В., 2012

В роле процессора нейронной сети можно рассматривать триггер, как базовый элемент или базовую единицу.

Биологический нейрон

Нейрон – основной элемент биологических систем управления. Биологический нейрон представляет собой обычную (точнее, не совсем обычную) клетку, специализированную на передаче управляющих импульсов (не только электрических)[1]. В составе типичного нейрона обычно выделяют:

аксон – обычно длинный отросток, приспособленный для проведения возбуждения от тела нейрона. Дендриты – как правило, короткие и сильно разветвлённые отростки, служащие главным местом образования влияющих на нейрон возбуждающих и тормозных синапсов (разные нейроны имеют различное соотношение длины аксона и дендритов). Нейрон может иметь несколько дендритов и обычно только один аксон. Один нейрон может иметь связи со многими (до 20-ти тысяч) другими нейронами.

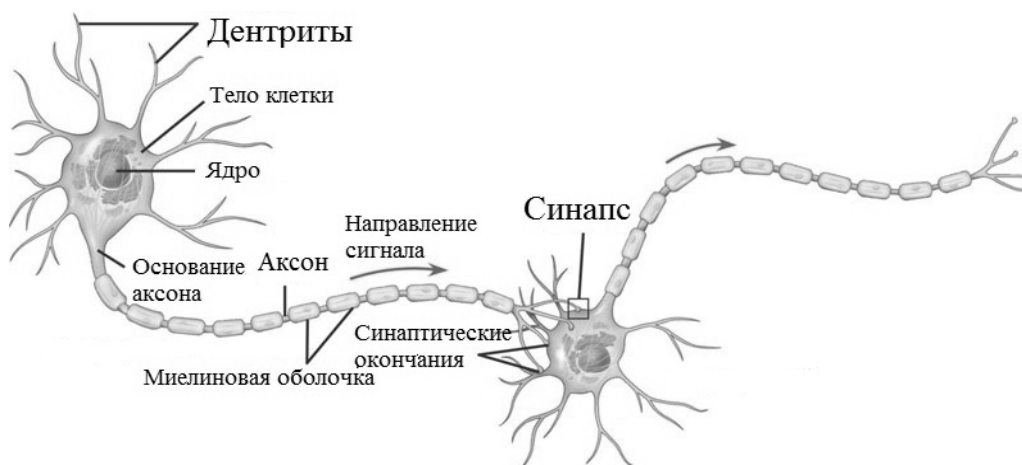


Рис.1. Строение нейрона

Дендриты делятся дихотомически, аксоны же дают коллатерали. В узлах ветвления обычно сосредоточены митохондрии.

Дендриты не имеют миелиновой оболочки, аксоны же могут её иметь. Местом генерации возбуждения у большинства нейронов является аксонный холмик – образование в месте отхождения аксона от тела. У всех нейронов эта зона называется триггерной.

Синапс – место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой. Служит для передачи нервного импульса между двумя клетками, причём в ходе синаптической передачи амплитуда и частота сигнала могут регулироваться. Одни синапсы вызывают деполяризацию нейрона, другие – гиперполяризацию; первые являются возбуждающими, вторые – тормозными. Обычно для возбуждения нейрона необходимо раздражение от нескольких возбуждающих синапсов.

Передача сигналов в нервной системе осуществляется совсем не так, как в микропроцессоре [7]. Нейрон порождает электрические импульсы, которые проходят по аксону и возбуждают его синапсы. Параметры таких импульсов едины

для всех типов нейронов – длительность единичного «тика» 1мс, амплитуда 100мВ, минимальная пауза между импульсами порядка 4мс (можно сказать, что наша биологическая нейронная сеть работает на частоте в 200Гц). Получив импульс, синапсы аксона начинают выделять в окружающую среду специальные молекулы – нейротрансмиттеры. Попадая на синапсы дендритов, эти нейротрансмиттеры (всего их около 30 разновидностей) могут оказывать на них как возбуждающее, так и тормозящее действие. Таким образом, одиночный импульс, прошедший по аксону, может нести в себе гораздо больше информации, чем привычное для программиста «машинное слово». Кроме того, «понимание» этого импульса дендритами зависит еще и от *общего* состояния головного мозга – когда в нем циркулирует алкоголь, взаимодействие нейронов приобретает довольно причудливые формы.

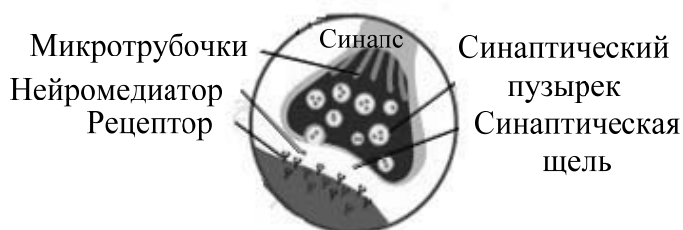


Рис. 2. Строение синаптического окончания

Итак, нейрон сам по себе является достаточно сложным устройством фактически, это целый ионный микрокомпьютер размером с клетку, который работает интуитивно, то есть, нейрон сам выбирает когда, как и кому передать поступивший на него сигнал или импульс. При этом сохраняется целостность системы в общем. Это говорит нам о том, что нейрон способен одновременно обрабатывать два потока информации, которые не связаны между собой, а именно внутреннюю и внешнюю информацию [7].

Искусственный нейрон

Искусственный нейрон – узел искусственной нейронной сети, являющийся упрощённой моделью естественного нейрона [2-9]. Математически, искусственный нейрон обычно представляют как некоторую нелинейную функцию от единственного аргумента – линейной комбинации всех входных сигналов. Данную функцию называют функцией активации или функцией срабатывания, передаточной функцией. Полученный результат посылается на единственный выход. Такие искусственные нейроны объединяют в сети – соединяют выходы одних нейронов с входами других. Искусственные нейроны и сети являются основными элементами идеального нейрокомпьютера.

Математическая модель искусственного нейрона была предложена У. Маккалоком и У. Питтсом [2,4] вместе с моделью сети, состоящей из этих нейронов. Авторы показали, что сеть на таких элементах может выполнять числовые и логические операции. Практически сеть была реализована Фрэнком Розенблаттом [2,4] в 1958 году как компьютерная программа, а впоследствии как электронное устройство – персептрон. Первоначально нейрон мог оперировать

только с сигналами логического нуля и логической единицы, поскольку был построен на основе биологического прототипа, который может пребывать только в двух состояниях – возбужденном или невозбужденном. Развитие нейронных сетей показало, что для расширения области их применения необходимо, чтобы нейрон мог работать не только с бинарными, но и с непрерывными (аналоговыми) сигналами. Такое обобщение модели нейрона было сделано Уидроу и Хоффом [2,4], которые предложили в качестве функции срабатывания нейрона использовать логистическую кривую.

Связи, по которым выходные сигналы одних нейронов поступают на входы других, часто называют синапсами по аналогии со связями между биологическими нейронами. Каждая связь характеризуется своим весом. Связи с положительным весом называются **возбуждающими**, а с отрицательным – **тормозящими** [2,4]. Нейрон имеет один выход, часто называемый аксоном по аналогии с биологическим прототипом. С единственного выхода нейрона сигнал может поступать на произвольное число входов других нейронов (рис. 3).

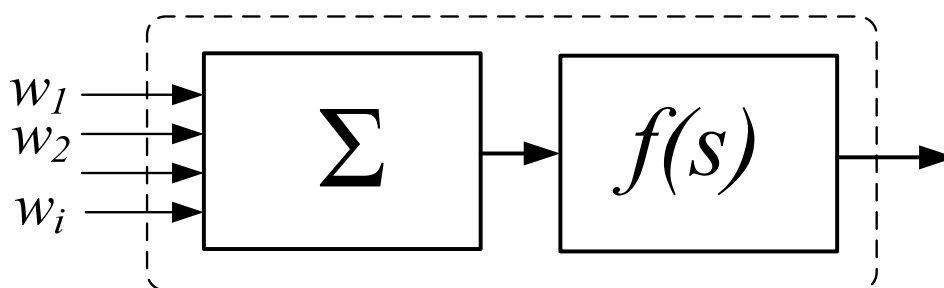


Рис. 3. Структурная схема искусственного нейрона

Математическая модель

Математически нейрон представляет собой взвешенный сумматор, единственный выход которого определяется через его входы и матрицу весов следующим образом:

$$y = f(u), \quad (1)$$

где

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0 x_0 \quad (2)$$

Здесь x_i и w_i – соответственно сигналы на входах нейрона и веса входов, функция u называется индуцированным локальным полем, а $f(u)$ – передаточной функцией. Возможные значения сигналов на входах нейрона считают заданными в интервале $[0,1]$. Они могут быть либо дискретными (0 или 1), либо аналоговыми. Дополнительный вход x_0 и соответствующий ему вес w_0 используются для инициализации нейрона. Под инициализацией подразумевается смещение активационной функции нейрона по горизонтальной оси, то есть формирование порога чувствительности нейрона.

Кроме того, иногда к выходу нейрона специально добавляют некую случайную величину, называемую сдвигом. Сдвиг можно рассматривать как сигнал на дополнительном, всегда нагруженном, синапсе.

Классификация нейронов

В основном, нейроны классифицируют на основе их положения в топологии сети. Разделяют:

- *входные нейроны* – принимают исходный вектор, кодирующий входной сигнал. Как правило, эти нейроны не выполняют вычислительных операций, а просто передают полученный входной сигнал на выход, возможно, усилив или ослабив его;
- *выходные нейроны* – представляют собой выходы сети. В выходных нейронах могут производиться какие-либо вычислительные операции;
- *промежуточные нейроны* – выполняют основные вычислительные операции.

Линейная передаточная функция

Сигнал на выходе нейрона линейно связан со взвешенной суммой сигналов на его входе.

$$f(x) = tx \quad (3)$$

где t – параметр функции. В искусственных нейронных сетях со слоистой структурой нейроны с передаточными функциями такого типа, как правило, составляют входной слой. Кроме простой линейной функции могут быть использованы её модификации. Например, полулинейная функция (если её аргумент меньше нуля, то она равна нулю, а в остальных случаях, ведет себя как линейная) или шаговая (линейная функция с насыщением), которую можно выразить формулой:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \\ x & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

При этом возможен сдвиг функции по обеим осям (как изображено на рисунке).

Недостатками шаговой и полулинейной активационных функций относительно линейной можно назвать то, что они не являются дифференцируемыми на всей числовой оси, а значит, не могут быть использованы при обучении по некоторым алгоритмам [4-8].

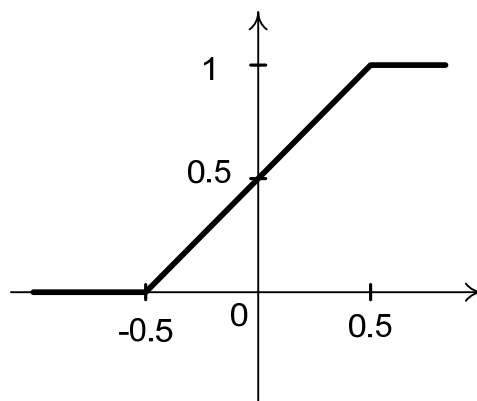


Рис. 4. Лінійная функция активации с насыщением

Пороговая передаточная функция

Другое название – Функция Хевисайда. Представляет собой перепад. До тех пор пока взвешенный сигнал на входе нейрона не достигает некоторого уровня T – сигнал на выходе равен нулю. Как только сигнал на входе нейрона превышает указанный уровень – выходной сигнал скачкообразно изменяется на единицу. Самый первый представитель слоистых искусственных нейронных сетей – персептрон состоял исключительно из нейронов такого типа. Математическая запись этой функции выглядит так:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > T \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

Здесь $T = -w_0x_0$ –сдвиг функции активации относительно горизонтальной оси, соответственно под x следует понимать взвешенную сумму сигналов на входах нейрона без учёта этого слагаемого. Ввиду того, что данная функция не является дифференцируемой на всей оси абсцисс, её нельзя использовать в сетях, обучающихся по алгоритму обратного распространения ошибки и другим алгоритмам, требующим дифференцируемости передаточной функции [4-8].

За все время существования идеи создания реально работающей искусственной нейронной сети, возможности которой будут хоть отдаленно напоминать возможности головного мозга человека, было создано множество вариантов искусственного нейрона. Одним из простейших является, так называемый, *формальный нейрон*. Несмотря на свою простоту, сети, построенные на основе формальных нейронов, могут сформулировать на выходе произвольную многомерную функцию.

Всего известно на сегодняшний день около сотни разновидностей искусственного нейрона, вернее будет сказать, что нет определенной единой формы для его реализации на практике.

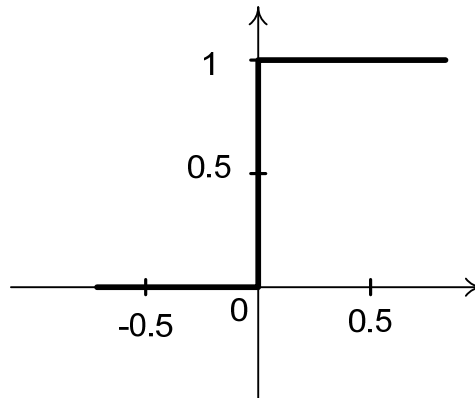


Рис. 5. Пороговая функция активации

Ограничения модели нейрона

1. Вычисления выхода нейрона предполагаются мгновенными, не вносящими задержки. Непосредственно моделировать динамические системы, имеющие «внутреннее состояние», с помощью таких нейронов нельзя [1-4].
 2. В модели отсутствуют нервные импульсы. Нет модуляции уровня сигнала плотностью импульсов, как в нервной системе. Не появляются эффекты синхронизации, когда скопления нейронов обрабатывают информацию синхронно, под управлением периодических волн возбуждения–торможения [1,4-9].
 3. Нет четких алгоритмов для выбора функции активации.
 4. Нет механизмов, регулирующих работу сети в целом (пример – гормональная регуляция активности в биологических нервных сетях) [1,9].
 5. Чрезмерная формализация понятий: «порог», «весовые коэффициенты». В реальных нейронах нет числового порога, он динамически меняется в зависимости от активности нейрона и общего состояния сети. Весовые коэффициенты синапсов тоже не постоянны. «Живые» синапсы обладают пластичностью и стабильностью: весовые коэффициенты настраиваются в зависимости от сигналов, проходящих через синапс [1,9].
 6. Существует большое разнообразие биологических синапсов. Они встречаются в различных частях клетки и выполняют различные функции. Тормозные и возбуждающие синапсы реализуются в данной модели в виде весовых коэффициентов противоположного знака, но разнообразие синапсов этим не ограничивается. Дендро-дендритные, аксо-аксональные синапсы не реализуются в модели формального нейрона (ФН).
 7. В модели не прослеживается различие между градуальными потенциалами и нервными импульсами. Любой сигнал представляется в виде одного числа [4-8].
- Итак, модель формального нейрона не является биоподобной и скорее похожа на математическую абстракцию, чем на живой нейрон. Тем удивительнее оказывается многообразие задач, решаемых с помощью таких нейронов и универсальность получаемых алгоритмов.

Однослойные нейронные сети

Хотя один нейрон и способен выполнять простейшие процедуры распознавания, сила нейронных вычислений проистекает от соединений нейронов в сетях.

Искусственный нейрон лишен такой возможности как биологический. Он может изменять свою аксонно-дендритную сеть только в одной плоскости пространства. Для минимизации этого недостатка используют способ объединения нейронов в однослойные группы, создавая, таким образом простейшие сети [2,4,9].

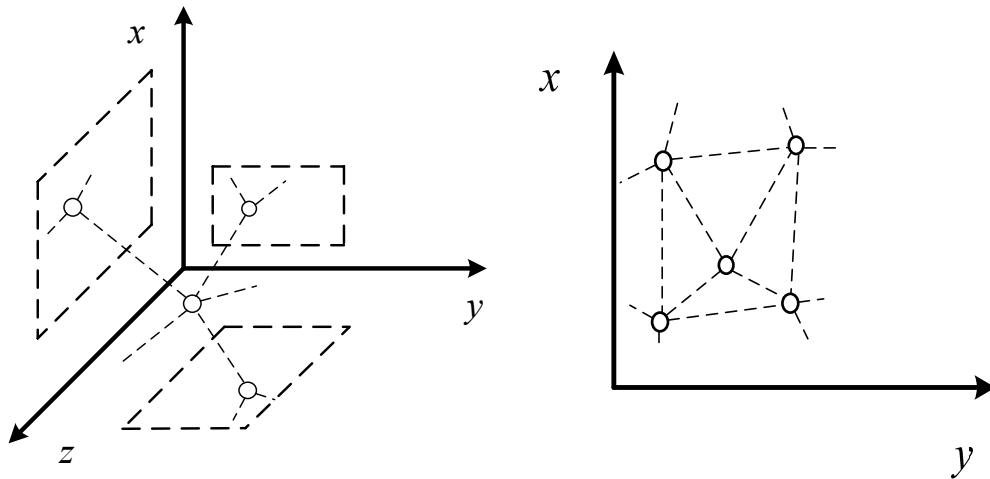


Рис. 6. Распространение нейронных связей в биологической нейронной сети (слева) и в искусственной (справа)

Как видно из рисунков, биологическая НС имеет больше места в пространстве для развития и реконфигурации связей. Это связано с тем, что при построении синаптических связей используется максимальное количество соседних нейронов. При этом с легкостью удовлетворяются все условия для реализации принципа селективности, что в свою очередь, на порядок повышает производительность сети.

Простейшая сеть состоит из группы нейронов образующих слой, как показано в правой части рисунка (рис. 7). Отметим, что вершины – круги слева служат лишь для распределения входных сигналов. Они не выполняют каких-либо вычислений, и поэтому не будут считаться слоем. Каждый элемент из множества входов X отдельным весом соединен с каждым искусственным нейроном. А каждый нейрон выдает взвешенную сумму входов в сеть. В искусственных и биологических сетях многие соединения могут отсутствовать, все соединения показаны в целях общности. Могут иметь место также соединения между выходами и входами элементов в слое (*сети Хопфилда*).

Удобно считать веса элементами матрицы W . Матрица имеет n строк и m столбцов, где n – число входов, а m – число нейронов. Таким образом, вычисление выходного вектора OUT , компонентами которого являются выходы NET нейронов сводится к матричному умножению $OUT=XW$.

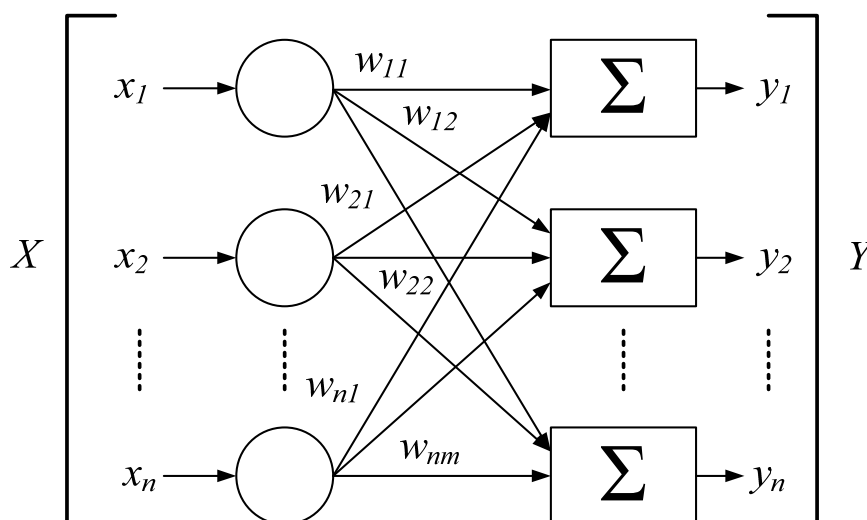


Рис. 7. Однослойная нейронная сеть Хопфилда

Выводы. В данной статье рассмотрены искусственный и биологический нейрон. По своей сути они мало чем отличаются [1,4,8]. Оба выполняют одинаковые функции, оба являются сегментом сети состоящей из миллионов похожих друг на друга элементов, оба самостоятельно не способны решать сложные задачи.

Также мы знаем, что биологическая нейронная сеть рассматривается в трехмерном пространстве, и синаптические связи могут быть многоуровневыми, то есть, не ограничены одной плоскостью. Проблемы искусственного нейрона, в этом плане, являются причиной того, что в настоящее время, реализация трехмерных связей внутри искусственного кристалла, которым является процессор, очень сложны и дороги в производстве [2,10,11].

Еще одним весомым недостатком искусственного нейрона перед биологическим, есть невозможность одновременно обрабатывать частную и общую информацию и моделировать динамические системы, имеющие «внутреннее состояние». С подобным на сегодняшний день, на уровне автоматов, могут справиться, отнюдь, не все системы, а не элементарно только системы построенные на элементарных схемах автоматной памяти [11].

Вот уже более 20 лет, идет работа над созданием ИН который, пока, не имеет тормозящих входных сигналов. Все работы в этом направлении ведутся исключительно в области программных алгоритмов. Создание реального, ИН на основе триггерных схем памяти, является невозможным, из-за жесткости алгоритма работы триггеров. Проблема заключается в том, что для создания ИН с характеристиками схожими с биологическим нейроном, целесообразнее использование систем, которые способны к реконфигурации алгоритма работы без потери производительности в процессе изменения внутренней структуры [11,12].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Физиология центральной нервной системы: Учеб. пособие*/Т. В. Алейникова, В. Н. Думбай, Г. А. Кураев. – Ростов н/Д: Феникс, 2000. – 384 с.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

2. *Сотник С. Л.* Конспект лекций по курсу «Основы проектирования систем искусственного интеллекта», 1997-1998.
3. *Генетические* алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности./ Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев –Харьков.: ОСНОВА, 1997.–112с.
4. *И. Заенцев* Нейронные сети: основные модели: Учебное пособие к курсу «Нейронные сети» для студентов 5 курса магистратуры– В.:1999.–76с.
5. *Ахапкин Ю.К., Всеволодов Н.И., Барцев С.И.* и др. Биотехника - новое направление компьютеризации. Серия « Теоретическая и прикладная биофизика», М: изд. ВИННИТИ, 1990. 144 с.
6. *Барцев С.И.,* Гилев С.Е., Охонин В.А. Принцип двойственности в организации адаптивных систем обработки информации// Динамика химических и биологических систем.– Новосибирск, Наука, 1989.– с.6-55.
7. *Барцев С.И., Ланкин Ю.П.* Сравнительные свойства адаптивных сетей с полярными и неполярными синапсами. Препринт Института биофизики СО РАН,.–Красноярск.– 1993,.– №196Б.– 26 с.
8. *Барцев С.И., Машихина Н.Ю., Суров С.В.* Нейронные сети: подходы к аппаратной реализации.– Препринт ИФ СО АН СССР.– Красноярск, 1990.– №122Б,.– 14 с.
9. *Веденов А.А.* Моделирование элементов мышления. – М.: Наука, 1988.
10. *Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф., Погребняк В.Д.* Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34166 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) H03K 29/00 – Бюл. 14.–12 с.
11. *Мураховский В.И.* Железо ПК. Новые возможности. – СПб.: Питер, 2005.–592 с.

УДК 004(076.5)

Наталя Міхно

АНАЛІЗ НА НАДІЙНІСТЬ СХЕМ ПАМ'ЯТІ

Рассмотрены вопросы построения надежных элементарных схем автоматной памяти с точки зрения их надежности и способы организации определения их работоспособности.

Розглянуто питання побудови надійних елементарних схем автоматної пам'яті з точки зору їх надійності та способи організації, визначення їх працездатності.

Given work examined the methods of design reliable digital circuits of elementary memory, to determine working capacity and their applicability to build highly reliable reconfigurable of elementary memory

Ключові слова: елементарні схеми пам'яті, надійність, працездатність схем пам'яті.

Актуальність

Доктор технічних наук, професор О.П. Стахов пише в січні 2012 р. в статті [1], що недавно прийшло повідомлення про черговий аварійний запуск космічного апарата зв'язку «Меридіан». Вважається, що втрати від аварійного запуску цього космічного апарата можуть скласти до 2 млрд рублів. До цього подібні аварійні запуски відбувалися і раніше (при запуску супутників «Глобалстар»). Однією з можливих причин такого «збою» можуть бути «збої» в цифровій системі управління двигунами. За дивним збігом, аварії почалися після вдосконалення системи управління та її переведення на цифрову техніку. І ось в цьому, можливо, і «зарита собака». Справа в тому, що цифрові системи управління, засновані на сучасних мікропроцесорах, мають дуже низьку інформаційну надійність в порівнянні з аналоговими системами. Іноді достатньо збоїв одного електронного елемента пам'яті (тригера) в мікропроцесорі системи управління для того, щоб система почала виконувати помилкову команду, що може стати причиною аварії. Збій цифрової системи управління викликається як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками. Збій може виникнути, наприклад, в результаті потужного зовнішнього електромагнітного впливу на ракету-носіїв в період запуску (електромагнітний тероризм).

На низьку інформаційну надійність сучасних мікропроцесорів (особливо іноземного виробництва) звертає увагу видатний російський учений академік

© *Міхно Н. Л., 2012*

Ярослав Хетагуров, який пише, що застосування мікропроцесорів, контролерів та програмного забезпечення обчислювальних засобів іноземного виробництва для вирішення завдань в системах реального часу військового, адміністративного та фінансового призначення таїть у собі великі проблеми. Це свого роду «троянський кінь», роль якого тільки почала проявлятися. Втрати і шкода від їх використання можуть істотно вплинути на національну безпеку Росії, України та інших країн [2]

О.П. Стахов в статті [3], розвиваючи думки академіка Я.А.Хетагурова, зробив, на перший погляд парадоксальне, твердження:

«Таким чином, людство стає заручником класичної двійкової системи числення, яка лежить в основі сучасних мікропроцесорів і інформаційних технологій. Тому подальший розвиток мікропроцесорної техніки і заснованої на ній інформаційної технології на основі класичної двійкової системи числення слід визнати тупиковим напрямком. Двійкова система не може служити інформаційною та арифметичною основою спеціалізованих комп'ютерних та вимірювальних систем (космос, управління транспортом і складними технологічними об'єктами, нанотехнології), а також нанoeлектронних систем, де проблеми надійності, завадостійкості, контролеспроможності, стабільності, живучості систем виходять на передній план».

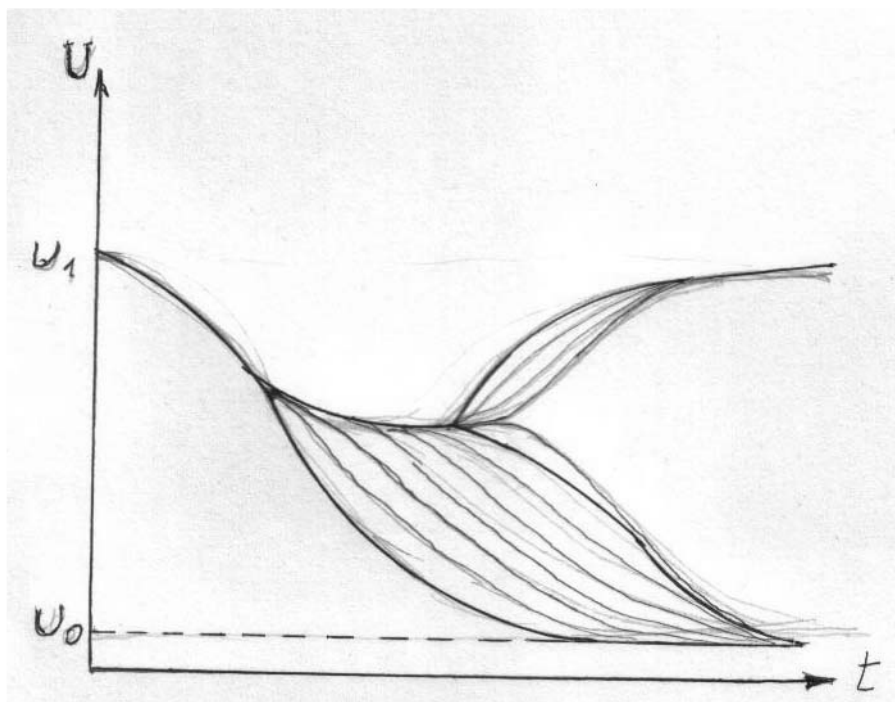


Рис. 1. Діаграма переходу RS – тригера при зниженні значення джерела живлення

Можна назвати основні вимоги, що висувуються до комп'ютерних пристроїв і систем управління, які використовуються в цих технологіях, для атомних станцій, ракетної техніки, літакової техніки, залізничного транспорту тощо., в яких «збой»

двійкової пам'яті призводять до великих катастроф. Такими вимогами можуть бути: надійність, і живучість пристроїв при виході з ладу одного або декількох елементів.

Людство стає заложником сучасної комп'ютерної технології, що основана на «Неймановських принципах». «Неймановські комп'ютери», що використовують двійкову систему, є принципово ненадійними і не можуть ефективно використовуватися у багатьох важливих додатках, в частості, для управління складними технологічними об'єктами, де проблема надійності комп'ютерів виступає на перший план.

Дослідження, що проводилися в Інституті кібернетики АН України у 1964 році у відділі В.М. Глушкова молодими вченими Л.Мараховським і Є.Комухаєвим, довели, що RS – тригера при зниженні значення джерела живлення має таку діаграму ймовірного переходу замість детермінованого з одного стану в інший (рис. 1). Крім того, вихід з ладу одного із логічних елементів у RS – тригері приводить до катастрофічної відмови працювати як схема пам'яті. Ці дослідження яскраво підтверджують ствердження д.т.н., професора О.П. Стахова і академіка Я.А.Хетагурова що двійковий RS – тригер є принципово ненадійним і не може ефективно використовуватися у багатьох важливих додатках.

Питання підвищення живучості елементарних схем пам'яті

В даний час надвеликі інтегральні схеми (НВІС) будуються з розрахунком на 100% придатність всіх компонентів схеми. Збільшення кількості компонентів і самої площі кристала НВІС, збільшення довжини шин і зменшення ширини їх розмірів природно збільшують ймовірність виходу з ладу компонентів і появи обривів в їх зв'язках. Це призводить до значного браку НВІС і до катастрофічного виходу з ладу їх в процесі експлуатації.

З метою підвищення надійності роботи систем з ненадійних елементів роблять багаторазове резервування, розподілені мережеві системи і т. ін., в яких виходи цілого блоку або пристрою з ладу визначається діагностичними програмами і не відображаються катастрофічно на роботі всієї системи в цілому. Крім цього, відзначається ненадійність роботи основної елементарної двійкової схеми пам'яті, яка використовується майже у всіх цифрових НВІС [1 -3].

Використання дворівневих пристроїв пам'яті дозволяє будувати припущення, що рішення проблеми підвищення надійності роботи пам'яті і побудова НВІС без 100% придатності всіх компонентів схеми можливо. Таке припущення ґрунтується на властивості багаторівневої структури пам'яті з багатофункціональною системою організації працювати в одному з підмножин π_j своїх станів при відповідних зберігачів $e_j(\Delta)$ вхідних сигналах.

За певної несправності в елементах БФСП [4] або у зв'язках їх з іншими елементами можна припустити, що деякі з елементів, виходять з ладу і, тим самим, звужують область функціонування БРСП (рис. 2) [5; 6]. Однак, вони не виводять його повністю з ладу, як елемент пам'яті. У цьому випадку БРСП здатне функціонувати в обмежених підмножинах всієї множини Q своїх станів. Використання частково працездатної пам'яті підвищує життєздатність пристрої пам'яті, а, отже, і його надійність. У БРСП закладені потенційні можливості функціонувати в обмежених підмножинах своїх станів при часткових пошкодженнях в елементах.

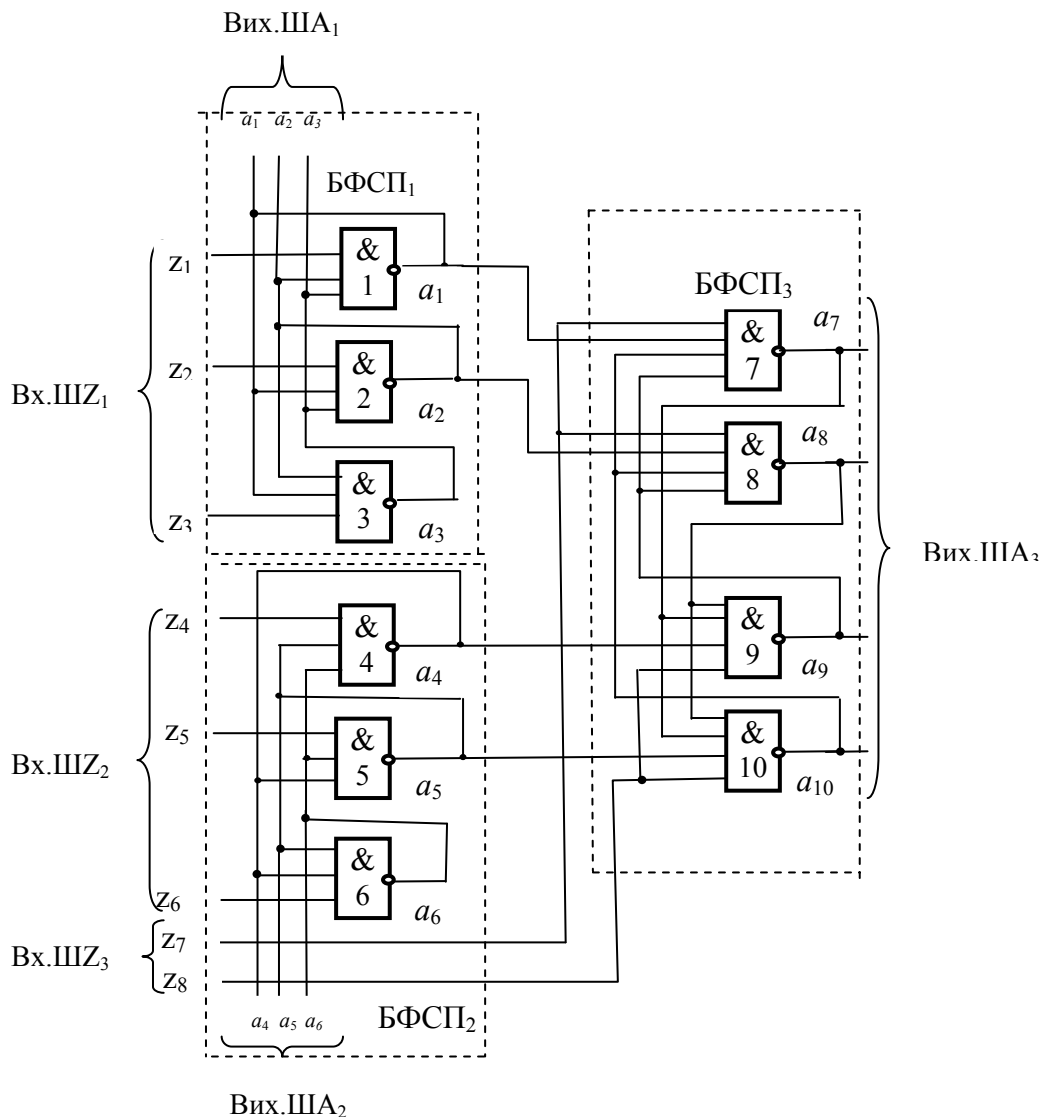


Рис. 2. Багаторівнева схема пам'яті класу L_N^B

У БФСП використовуються елементи, поодинокі вихідні сигнали яких є активними сигналами для інших груп. Припустимо, що основною несправністю елементів є появою на вихідних вузлах постійного значення рівного логічному нулю. Таке припущення цілком правдоподібне, якщо врахувати, що при обриві вхідного вузла в логічних елементах інтегральних схем значення вхідного сигналу сприймається рівним логічній одиниці. Отже, вихідний сигнал елемента, що має обірваний вхід, набуває постійне значення рівне логічному нулю. У цьому випадку такий елемент просто не буде брати участь у запам'ятовуванні станів даної групи БФСП і характеристична функція i -ї групи ($K_i = 2^{R_i} - 1$) зменшить своє значення на одиницю, тобто стане рівною $K_i = 2^{R_i-1} - 1$, де R_i – кількість елементів у i -ї групи.

При несправності в цілій групі базових елементів, схема пам'яті буде працювати як запам'ятовуючий пристрій, якщо число працездатних груп буде не менше 2 (тобто $m \geq 2$) і в кожній групі хоча б по одному базовому елементу.

Із закону функціонування БРСП [5-6] зрозуміло, що БФСП здатна функціонувати при різних зберігачах $e_j(\Delta)$ вхідних сигналах, що надходять з автомата стратегії A_M , в певних підмножинах π_j своїх станів. При некатастрофічних несправностях БФСП звужує область своїх станів, в яких вона ще здатна працювати. Несправності в елементах можуть бути і катастрофічними в тому випадку, якщо на виході елемента встановлюється активний вихідний сигнал, значення якого дорівнює логічній одиниці. У цьому випадку вся БФСП виходить з ладу.

Таким чином, при синтезі БРСП можна заздалегідь враховувати питання надійного синтезу, якщо відомі характерні несправності НВІС. Використання керованих БФСП A_U спільно з керуючим автоматом стратегії A_M створює передумови для побудови, виготовлення і використання частково справних пристроїв, що застосовуються при обробці інформації.

Розглянемо для прикладу дворівневу пам'ять, до складу якої входять керована БФСП₃ A_U (рис. 2) і автомати стратегії A_M для кожної групи БФСП₁ і БФСП₂ (рис.2), і оцінимо працездатності здатність БРСП як пристрої пам'яті, здатного запам'ятовувати мінімальне число визначених станів при часткових пошкодженнях схеми.

Припустимо, що елементи при несправності мають на виході постійні значення логічного нуля. У цьому випадку БФСП A_U ще здатна функціонувати як елементарний автомат з пам'яттю при відмові довільного елемента в будь-якій групі, що становить 25% апаратури, і ще одного елемента в іншій групі. В даному випадку БФСП A_U здатна функціонувати при 50% несправних елементів і 100% вихід з ладу автомата стратегії A_M , який складається з двох БФСП (рис. 2). Таким чином, при виході з ладу 8 елементів з 10, що складає 80%, дворівневого пристрою пам'яті ще здатне функціонувати як елементарна двійкова пам'ять (тригер). Це оцінка максимальної живучості дворівневого пристрою пам'яті при часткових несправностях елементів в БРСП.

При виході з ладу по одному елементу в автоматі стратегії A_M пристрій пам'яті зменшує свою область функціонування на одну підмножину своїх станів, тобто приблизно на 16,7%.

При катастрофічному виході з ладу одного елемента в автоматі стратегії A_M для однієї групи елементів БФСП A_U , коли на його виході значення постійно дорівнює логічній одиниці і автомат A_M знаходиться постійно тільки в одному стані, БФСП A_U звужує свою область функціонування. При катастрофічному виході з ладу довільного елемента у довільній групі БФСП A_U дворівневий пристрій пам'яті перетворюється на багата стабільну схему пам'яті [7], яка здатна функціонувати самостійно за законами автомата стратегії A_M . Тільки при катастрофічних виходах елементів в БФСП A_U і A_M дворівневий пристрій пам'яті повністю виходить з ладу як елемент пам'яті.

Таким чином, можливі три випадки працездатності дворівневого пристрою пам'яті:

- 1) 100% працездатність всіх компонентів і пристроїв пам'яті;
- 2) звуження областей станів пристрої пам'яті, в яких воно може працювати при часткових несправностях своїх компонентів;

3) вихід з ладу працездатності пристрою пам'яті при катастрофічних несправностях компонентів.

Розглянемо принципи побудови елементарних БРСП з підвищеною живучістю.

Принципи побудови БРСП з підвищеною живучістю полягають в такому:

1. Визначаються характерні несправності схем, які не є катастрофічними при роботі БРСП.

2. Технологія виготовлення пристроїв пам'яті коригуються для ліквідації катастрофічних несправностей, з метою зменшення некатастрофічного.

3. Визначається відсоток виходу 100% придатних і частково придатних пристроїв щодо відсотка повністю негідних пристроїв пам'яті.

Якщо цей відсоток повністю непридатних пристроїв і 100% придатних пристроїв задовольняє виробників, то з'являється можливість використовувати ще частково придатні пристрої пам'яті.

Контроль працездатності багаторівневих схем пам'яті

Контроль працездатності БРСП здійснюється при перевірці відсутності катастрофічних відмов схеми пам'яті у час подачі установчого $x_p(t)$ вхідного сигналу, при якому на всі вхідні вузли схеми пам'яті подається активна логічна одиниця, яка однозначно встановлює на всіх вихідних вузлах схеми пам'яті логічний нуль. При всіх інших установчих $x_i(t)$ вхідних сигналах однозначно встановлюються на вихідних вузлах схеми пам'яті хоча б одна логічна одиниця.

Дослідження багаторівневої схеми пам'яті класу L_N^B за допомогою Multisim може здійснюватись таким чином: спочатку визначаємо функціональну схему пам'яті і підключаємо до неї Word Generator (Генератор Слів), Logic Analyzer (Логічний аналізатор) (рис. 3).

Для більшої наочності і переконливості правильності функціонування дворівневої схеми пам'яті класу L_N^B формуємо тести вхідних слів $p(T)$, що складаються з елементарних наборів установчих $x_i(t)$ вхідних сигналів (табл. 1) і одного набору зберігача $e(\Delta)$ вхідного сигналу, який має на всіх вхідних вузлах z_i значення 1.

Будуємо тести вхідних слів $p = x, e$ для перевірки роботи побудованої функціональної схеми в Word Generator XWG1 (Генератор слів). Аналіз роботи схеми пам'яті на елементах I-НІ за допомогою імітаційного моделювання «NI Multisim 9» здійснюється так:

- запускаємо програму «NI Multisim9» на ПК.
- за допомогою меню "Place Misc Digital" викликаємо на робоче поле необхідні логічні елементи і будуємо функціональну схему;
- проводимо дослідження схеми віртуальними приладами Multisim 9- Word Generator (Генератор Слів), в якому розміщуємо розроблені тести (табл. 1); Logic Analyzer (Логічний аналізатор), на якому висвітлюються діаграми вхідних і вихідних сигналів (рис. 4).

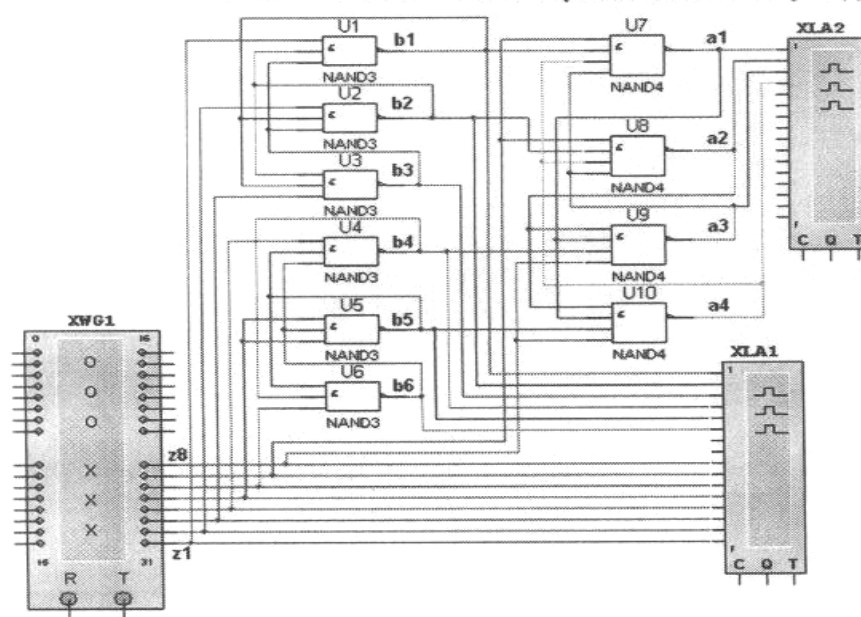


Рис. 3. Дослідження багаторівневої схеми пам'яті класу L_N^B

На рис. 4 показаний вигляд з генератором слів і логічним аналізатором після виконання покрокової послідовності наборів установчих $x(t)$ вхідних сигналів і набору зберігача $e(\Delta)$ вхідного сигналу після виконання 18 тестів. Дослідження показали коректність використання елементарних $p(T)$ вхідних слів (табл. 1), які відобразили відповідне функціонування їх в детермінованому режимі.

Таким чином, дана методологія визначення детермінованих вхідних слів елементарних багаторівневих схем пам'яті і перевірка роботи цих схем пам'яті за допомогою імітаційного моделювання Electronics Workbench (MultiSim 9) [8] переконливо довела їхню працездатність.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 1

Тести для перевірки працездатності БРСП класу L_N^B .

Установчі вхідні сигнали	Структурні вхідні сигнали			Структурні вихідні сигнали			Стан БФСР
	Номери виходів генератора слів			—			
	31 30 29	28 27 26	25 24				
x_i	$z_1 z_2 z_3$	$z_4 z_5 z_6$	$z_7 z_8$	$b_1 b_2$ b_3	$b_q b_2$ b_3	$a_1 a_2 a_3$ a_4	A_i
x_1	1 0 0	1 0 0	1 0	0 1 1	0 1 1	1 0 1 1	A_1
x_2	1 0 0	1 0 0	0 1	0 1 1	0 1 1	1 1 1 0	A_2
x_3	1 0 0	0 1 0	1 0	0 1 1	1 1 0	1 0 1 1	A_3
x_4	1 0 0	0 1 0	0 1	0 1 1	1 1 0	1 1 0 1	A_4
x_5	1 0 0	0 0 1	1 0	0 1 1	1 1 0	1 0 1 1	A_5
x_6	1 0 0	0 0 1	0 1	0 1 1	1 1 0	1 1 0 0	A_6
x_7	0 1 0	1 0 0	1 0	1 0 1	0 1 1	0 1 1 1	A_7
x_8	0 1 0	1 0 0	0 1	1 0 1	0 1 1	1 1 1 0	A_8
x_9	0 1 0	0 1 0	1 0	1 0 1	1 1 0	0 1 1 1	A_9
x_{10}	0 1 0	0 1 0	0 1	1 0 1	1 1 0	1 1 0 1	A_{10}
x_{11}	0 1 0	0 0 1	1 0	1 0 1	1 1 0	0 1 1 1	A_{11}
x_{12}	0 1 0	0 0 1	0 1	1 0 1	1 1 0	1 1 0 0	A_{12}
x_{13}	0 0 1	1 0 0	1 0	1 1 0	0 1 1	0 0 1 1	A_{13}
x_{14}	0 0 1	1 0 0	0 1	1 1 0	0 1 1	1 1 1 0	A_{14}
x_{15}	0 0 1	0 1 0	1 0	1 1 0	1 1 0	0 0 1 1	A_{15}
x_{16}	0 0 1	0 1 0	0 1	1 1 0	1 1 0	1 1 0 1	A_{16}
x_{17}	0 0 1	0 0 1	1 0	1 1 0	1 1 0	0 0 1 1	A_{17}
x_{18}	0 0 1	0 0 1	0 1	1 1 0	1 1 0	1 1 0 0	A_{18}

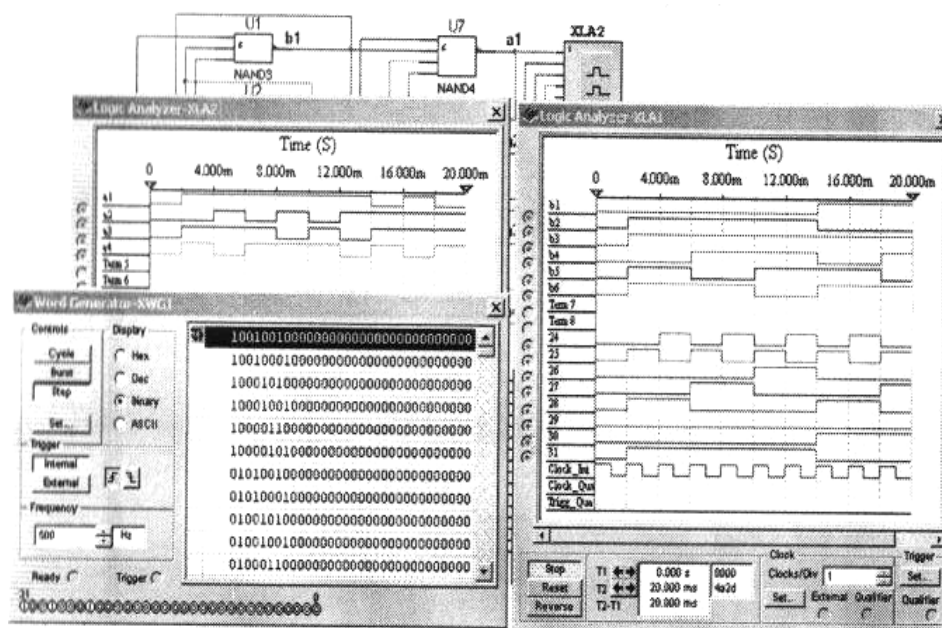


Рис. 4. Аналіз роботи схеми пам'яті

Висновки

З аналізу БФСР і БРСР з точки зору надійності можна зробити зі всієї визначеністю висновок, що вони значно збільшують надійність багатовисновкових схем пам'яті за рахунок введення резервування елементів в групах БФСР. З іншого боку, існує можливість на їх основі проектувати багатомисновкові вузли, пристрої й комп'ютерні системи із змінною архітектурою [8]. Запропоновані БФСР і БРСР розширюють можливості елементної бази комп'ютерних систем за рахунок можливості функціонування їх в різних підмножинах π станів. Вони також здатні скоротити час перебудови роботи комп'ютера з одного алгоритму на інший, скоротити апаратні витрати в схемах пам'яті на один стан, який запам'ятовується, і істотно прискорити вирішення проблеми створення працездатних пристроїв при часткових несправностях їх компонент.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стахов А.П. О возможной причине участвовавших аварий при выводе российских спутников // «Академия тринитаризма». – М., Эл. № 77-6567, публ.17146, 26.12.2011
2. Хетагуров Я.А. Обеспечение национальной безопасности систем реального времени. – М.: ВС/NW 2009; №2 (15):11.1
3. Стахов А.П. Микропроцессоры Фибоначчи – как одна из базисных инноваций будущего технологического уклада, изменяющих уровень информационной безопасности систем. /<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/009a/1212-sth.pdf>

УДК 004.272

*Світлана Наконечна
Марина Семенюк*

ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНОЇ ПАМ'ЯТІ

При розробці паралельних обчислювальних систем та додатків, дуже важливо мати хороші інструменти щодо прогнозування продуктивності. У статті розглядається новий підхід – PetaSIM, який призначено для швидкого прототипування етапів проектування машин чи додатків. PetaSIM спрямовано на хороші, але не повністю точні результати із зручним інтерфейсом аплета для уточнення та інтерактивних змін параметрів системи.

При разработке параллельных вычислительных систем и приложений, очень важно иметь хорошие инструменты относительно прогнозирования производительности. В статье рассматривается новый подход – PetaSIM, который предназначен для быстрого прототипирования этапов проектирования машин или приложений. PetaSIM направлен на хорошие, но не полностью точные результаты с удобным интерфейсом аплета для уточнения и интерактивных изменений параметров системы.

In both the design of parallel computer systems and the development of applications, it is very important to have good performance prediction tools. This paper describes a new approach - PetaSIM, which is designed for the rapid prototyping stage of machine or application design. PetaSIM aims at good but not fully accurate results with a convenient applet interface for specification and interactive change of system parameters.

Ключові слова: ієрархічна пам'ять, оцінка продуктивності, PetaSIM, опис архітектури.

Вступ

Продуктивність прогнозування для великих завдань, таких як прогнозування погоди, пошук нафти чи фундаментальна фізика є важливими і складними проблемами, особливо, коли це стосується масивно паралельних комп'ютерів, де кожен вузол має складну ієрархію пам'яті. Це не так легко проектувати чи порівнювати нову архітектуру комп'ютера для продуктивності петафлоп, де треба протиставляти різні підходи і швидко вивчати нові поняття.

© Наконечна С.В., Семенюк М.С., 2012

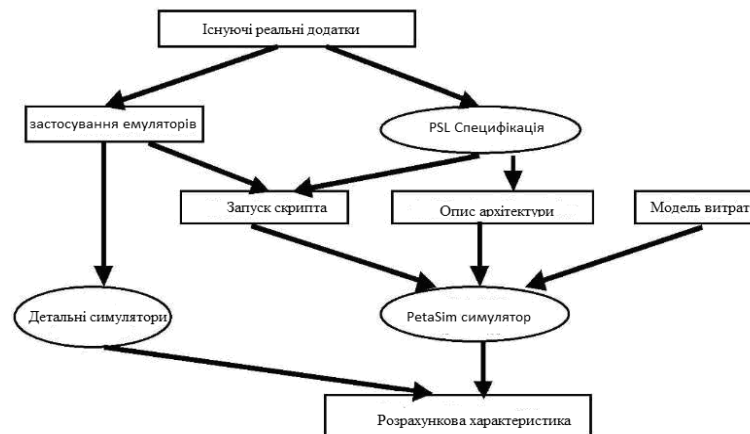


Рис. 1. Продуктивний процес прогнозування

Навіть сьогодні, проектування обчислювальних мереж для підтримки розподіленої спільної техніки не легке, тому що, навіть якщо система концептуально проста, то вона за своєю природою динамічна та гетерогенна і потребує підтримки системного інженера, який приймає точні стратегічні рішення по проектуванню мережі і розміщенню основних баз даних та програмних компонентів. PetaSIM була розроблена для вирішення таких проблем, приділяючи особливу увагу легко інтерактивному порівнянню різних конструкцій системи. Дуже зручно змінювати структуру програми PetaSIM, але потрібно зосередити увагу на тих випадках, коли є відносно фіксований набір додатків і потрібно швидко дослідити діапазон системи конструкцій. Інтерфейс Java-аплет [3,4], використовується для оптимізації інтерактивної оцінки.

Оцінка продуктивності PetaSIM будується навколо процесу виконання прогнозування, який зображено на рис. 1. Відмінною рисою нашого підходу є використання машин і проблем абстракцій, які хоч і менш точні, ніж детальне повне уявлення, але будуть більш надійними і, надалі, цілком підходять при необхідності швидкого прототипування в розробці нової техніки, програмного забезпечення та алгоритмів. Серцем процесу прогнозування продуктивності є дві технології – PSL (Performance Specification Language) (продуктивність специфікації мови) і PetaSIM [1]. Багато досліджень довели, що ефективність прогнозування та оцінка є дуже складною проблемою у зв'язку з різними видами додатків і безліччю різних комп'ютерних систем. [5-7] Важливо створити загальні специфікації мови (PSL) для підтримки оцінки продуктивності.

Мотивація та характеристика PetaSIM

Оцінка продуктивності PetaSIM спрямована на підтримку (концептуального і детального) етапів проектування паралельних алгоритмів, системи програмного забезпечення та апаратної архітектури. Спочатку PetaSIM була розроблена в результаті дослідів на двох семінарах – PAWS and PetaSoft. Найбільш складне пета ядро [1] було звичайною проблемою кінцевих різниць, що вирішилася завдяки простій ітерації Якобі. Однак, існуючі інструменти навіть не оцінили продуктивність цих простих ядер. Ці семінари підкреслили необхідність в інструментах, щоб описати складні ієрархії пам'яті і відображення проблем таким

чином, що дозволяє надійно (якщо високий рівень) оцінювати продуктивність на початку проектування і швидко прототипувати стадії.

PetaSIM спрямована на золоту середину - на півдорозі між детальним моделюванням на рівні машинних інструкцій і простого «зворотнього боку» оцінки продуктивності. Він піклується про складність – ієрархії пам'яті, затримки, адаптивності, які роблять важким високий рівень оцінки продуктивності. Він використовує важливе спрощення – розглядає дані природних блоків запропонованих пам'яттю систем, які прискорюють продуктивність моделювання і в багатьох випадках призводять до більш повного уявлення щодо покращення продуктивності. Мотивуємо та ілюструємо дизайн PetaSIM за відомою формулою для паралельного виконання простих звичайних додатків на вузлах без істотної ієрархічної пам'яті [2]: Прискорення = Кількість вузлів / (1 + Накладна).

Накладні витрати пропорційні $(\text{Grain_Size})^{-g} (t_{\text{comm}}/t_{\text{calc}})$, в цьому разі розмір блоку природних даних є розміром волокна або кількістю точок даних у кожному вузлі. Потужність g вимірює ефекти над краєм області та є $1/d$ для системи геометричних вимірів d ($t_{\text{comm}}/t_{\text{calc}}$) являє собою відношення зв'язку для розрахунку продуктивності обладнання.

Таку формула показує важливість виявлення природних блоків даних, а також, як високий рівень аналізу дозволяє зрозуміти співвідношення продуктивності розміру па'яті та обчислити можливості апаратного забезпечення. PetaSIM включає в себе не тільки примітивні повідомлення продуктивності, але також колективні (наприклад, груповий) механізми, які присутні у більшості додатків, але проігноровані в багатьох простих аналізах. Проста оцінка продуктивності є дійсно вищою на машинах з простою дворівневою розподіленою ієрархічною пам'яттю - саме пам'ять є ввімкненою або вимкненою на процесорі - яка, по суті є моделлю, побудованою на нинішнє покоління паралельних систем програмування, що уособлюють HPF або MPI. Таким чином, можна вважати, що наш досвід роботи з PetaSIM буде дуже цінним, допомагаючи розробці нового покоління в середовищі паралельного програмування, необхідного для підвищення комплексу високої продуктивності систем в оперативному режимі. Відзначимо ще одну важливу характеристику конструкції, яка може розглядатися як функція або помилка. Коли хтось один розробляє додатки і апаратні засоби, було б корисно мати можливість точно знати, як рухаються дані. У майбутніх версіях PetasIM ця функція може бути доповнена можливістю автоматизації за допомогою конкретних стратегій управління кешем.

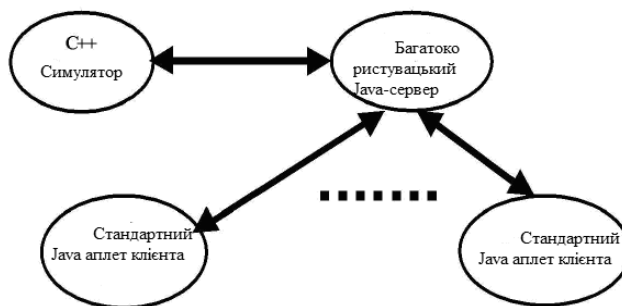


Рис. 2. Архітектура PetaSIM

Загальна Архітектура PetaSIM

Однією з найважливіших мотивацій PetaSIM є забезпечення виконання оцінки продуктивності інструменту для нового дизайну комп'ютерної архітектури, щоб отримати швидкий і точний прогноз продуктивності протягом проектування концептуальної архітектури. PetaSIM повинно бути простим в експлуатації і гнучким до зміни особливостей архітектури комп'ютера [3,4]. Серцем PetaSIM є модель C++, яка приймає опис архітектури комп'ютера і опис програми, щоб дати оцінку продуктивності. Багатокористувацький Java Server надає послуги різним клієнтам Java-аплет з глобальної мережі Інтернет. Як показано на рис.3 PetaSIM підтримує обидва входи з емуляторів і рукописні коди.

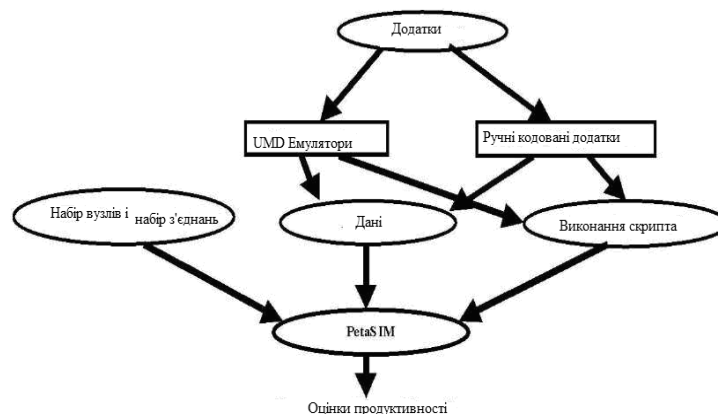


Рис. 3. PetaSIM: емулятори і застосування ручного кодування

Є дві частини опису в PetaSIM оцінки продуктивності системи, архітектурний опис та опис програми. Найзагальніша комп'ютерна архітектура може бути задана за допомогою вузлів PetaSIM та об'єктів з'єднань, тоді як додатки можуть бути визначені за допомогою набору даних і розподілу об'єктів.

Вузли являють собою сукупність осіб з поточних типів, що допускаються в якості:

- кеш пам'яті як особливого випадку
- диску, який по суті ж, як пам'ять.
- процесора, де можуть бути обчислені результати
- шляхи, такі як шини, перемикач або мережевий кабель, який концентрує дані

Набір з'єднань з'єднує разом вузли різними способами. Розподіли вказують на горизонтальне (геометричне) підключення вузлів і набори з'єднань. Зазвичай вони розташовані в природі за замовчуванням для класичних однорідних архітектур. Відображення за замовчуванням виводиться з розмірів вузлів і зроблено в стилі простого одномірного блоку. Вертикальне (потік інформації) підключення в архітектурі, визначено у вигляді виконання сценарію за замовчуванням, мається на увазі в специфікації архітектури. Застосування задається об'єктами даних, реалізація яких перебуває під контролем розподілу об'єкта, який визначає класичний стиль HPF геометричного розкладання через пам'ять і об'єкти процесора. Обчислення задається виконанням скрипта, який визначає переміщення даних.

Набір вузлів, набір з'єднань та набір даних мають відповідно такі властивості: назва, тип, розмір точок, пропускна здатність, обчислення тощо; назва, тип, топологія, кількість, затримка, пропускна здатність, розподіл, список членів набору вузлів; назва, тип, оновлення, передача.

Прототип PetaSIM для оцінки продуктивності системи був реалізований в NPAC. Він заснований на архітектурному описі та описі застосування (клас даних та розподіл класу, а також виконання сценаріїв для опису операцій над даними). Ці два види опису відповідають специфікації цільової машини, високому рівню представництва додатків і запуску скрипта в розробці PSL (продуктивність конкретної мови), який визначає вхідні дані для оцінки продуктивності PetaSIM.

В даний час у виконанні сценарію PetaSIM, підтримується чотири різних види заяв, передач, переміщення, використання розподілу, обчислення і синхронізації команд, яких вистачить, щоб висловити основні особливості переміщення даних і обчислювальних операцій в додатках. Однак ця проста абстракція може зробити виконання сценаріїв додатків дуже довгими, особливо для великих реалістичних програм. Таким чином, ми маємо намір побудувати бібліотеку виконання скрипта, яка міститиме агрегати переміщення даних і розрахунку за один виклик функції.

У PetaSIM продуктивність оцінки додатків, що працюють на конкретній машині ґрунтується залежно від особливостей цільової машини, даних з додатків, а також виконання сценаріїв застосування.

Взаємодія PetaSIM з PSL

Зараз PetaSIM займається описом архітектури і введенням опису програми з файлів. Маємо п'ять файлів, що відповідають безліччю вузлів, набору з'єднань, набору даних, розподілу опису та відповідно виконанню скриптів. PetaSIM доступні ці файли, використовуючи стандартне з'єднання розетки. В архітектурному описі машини, у нас є дві частини, набір вузлів і набір з'єднань, які докладно описують ієрархію пам'яті та зв'язок відносин між кожним рівнем ієрархії. Набір вузлів опису файлу містить всю інформацію про кожен вузол з набору, і всіх його членів з набору вузлів та зв'язки сусідів з кожним членом набору вузлів. Файл набору з'єднань містить інформацію про особливості кожного з'єднання, і членів набору з'єднань, які пов'язують разом члени двох наборів вузлів.

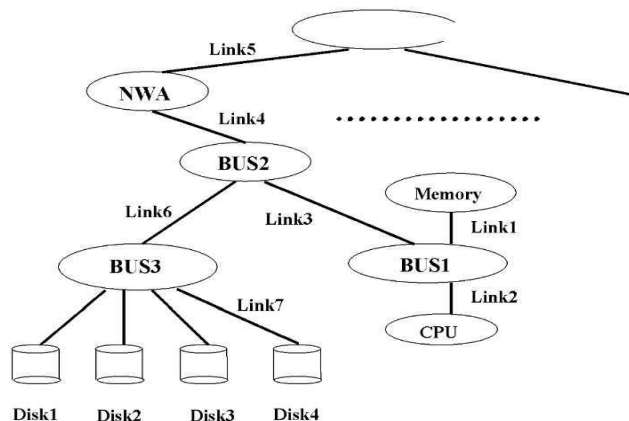


Рис. 4. Компоненти набору вузлів і набору з'єднань

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Висновки

PetaSIM обґрунтовує свою оцінку продуктивності на кілька входів, а саме: опис архітектури комп'ютера, набір вузлів та набір з'єднань, опис програми, набір даних і розподілу, а також опис операції з даними, виконання сценарію при застосуванні. У порівнянні з деякими іншими оцінками продуктивності, PetaSIM має деякі особливості. PetaSIM використовує виконання сценаріїв для програми, зазначеної в текстовому форматі, який відповідає грубозернистому опису програми. Підхід PetaSIM з'явився, щоб впровадити більш інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для додатків та опису ресурсів, які природно підтримують швидке прототипування досліджень в широкому діапазоні комп'ютерних архітектур. Можливості PetaSIM включають паралельне виконання оцінки та створення можливостей щодо вирішення нових типів завдань, намічених у вище зазначеному матеріалі.

ЛІТЕРАТУРА

1. "The Petaflops Systems Workshops", Proceedings of the 1996 Petaflops Architecture Workshop (PAWS), April 21-25, 1996 and Proceedings of the 1996 Petaflops System Software Summer Study (PetaSoft), June 17-21, 1996, edited by Michael J. MacDonald (Performance Issues are described in Chapter 7).
2. Geoffrey C. Fox, Roy D. Williams, and Paul C. Messina, Morgan Kaufmann, "Parallel Computing Works!", 1994.
3. Kivanc Dincer and Geoffrey C. Fox, "Using Java in the Virtual Programming Laboratory: A web-Based Parallel Programming Environment", to be published in special issue of Concurrency: Practice and Experience on Java for Science and Engineering Computation.
4. Geoffrey C. Fox and Wojtek Furmanski, Computing on the Web -- New Approaches to Parallel Processing-- Petaop and Exaop Performance in the Year 2007", submitted to IEEE Internet Computing, <http://www.npac.syr.edu/users/gcf/petastuff/petaweb/>
5. M. Rosenblum, S. Herrod, E. Witchel, A. Gupta, "Complete Computer System Simulation: The SimOS Approach", IEEE Parallel and Distributed Technology: Systems and Applications, 3(4), winter, 1995, pp 34-43.
6. E. Brewer, A. Colbrook, C. Dellarocas, W. Weihl, "Proteus: A High-Performance Parallel Architecture Simulator", Performance Evaluation Review, 20(1) Jun 1992, pp 247-8.
7. D. Park, R. Saavedra, "Trojan: A High-Performance Simulator for Shared Memory Architectures", Proceedings of the 29th Annual Simulation Symposium, April 1996, pp 44-53.

УДК 681.325

Роман Пецков

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МОНІТОРИНГУ СТАНІВ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Сучасні технології дозволяють різко знизити витрати та підвищити якість моніторингу. Найважливіший елемент систем електропостачання – трансформатор, забезпечуючи безперебійну та номінальну його роботу, усуємо виникнення аварій та незапланованих простоїв обладнання.

Современные технологии позволяют резко снизить затраты и повысить качество мониторинга. Важнейший элемент систем электроснабжения – трансформатор, обеспечивая бесперебойную и номинальную его работу, устраним возникновения аварий и незапланированных простоев оборудования.

Modern technology can dramatically reduce costs and improve the quality of monitoring. The most important element of systems of power supply - transformer, providing a smooth face and it will remove the work of accidents and unplanned downtime of equipment.

Ключові слова: трансформатор, моніторинг, електронний аналізатор

Актуальність теми

Останні роки актуальним стає питання проведення комплексного моніторингу трансформаторного обладнання з метою оцінювання його технічного стану. Тягові трансформатори широко застосовуються для електропостачання на залізницях України. Безперебійне постачання електроенергії потребує постійного контролю роботи трансформаторного обладнання та його моніторингу. Сучасні комп'ютерні системи дозволяють підвищити якість методів контролю станів приладів.

Тому моніторинг працездатності трансформаторів є актуальною темою на сьогоднішній день

Мета. Проаналізувати, які види пошкоджень трансформаторів зустрічаються найчастіше та типи захистів що використовують. А також загальні поняття та розвиток моніторингу станів трансформаторів.

© *Пецков Р.О., 2012*

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Основний зміст роботи. Одна з найважливіших задач в сучасній електроенергетиці – це швидкий пошук та усунення дефектів на обладнанні. В деяких випадках вдається виявити пошкодження ще до того, як виникне аварія, тобто попередити аварійну ситуацію в енергосистемі. У випадках, коли все-таки даної ситуації не уникнути – виникає аварійна ситуація, яка призводить до простою обладнання.

У зв'язку з тим, що трансформатори є найбільш дорогим елементом системи електропостачання, в тому числі тягового, основну увагу потрібно направити на їхній моніторинг. В системі електропостачання вони займають істотне місце. Сучасні алгоритмічні та програмно-апаратні засоби опрацювання інформації дозволяють різко знизити непотрібні витрати в сфері електроенергетики. Також знизити витрати на моніторинг, забезпечуючи формування сучасної інфраструктури безлюдній експлуатації систем електропостачання.

Застосування інформаційно-вимірювальних систем, дає можливість проводити моніторинг трансформаторів, найважливішими показниками яких є:

- ступінь несиметрії струмів;
- кратність перевантаження;
- тривалість перевантаження;
- контроль температури найбільш нагрітої точки масла і обмотки;
- контроль старіння виткової ізоляції, викликаного струмами навантаження і короткого замикання;
- контроль складу газів, що виділяються при несправності, і ідентифікація пошкоджень;
- контроль втрат електричної енергії.

На основі проведеного аналізу було виявлено ймовірні сценарії поломок трансформаторного обладнання, яке відпрацювало більше 25 років. Виділимо основні види пошкоджень:

- замикання між фазами в середині бака трансформатора та на зовнішніх виводах обмотки;
- виткове замикання, замикання в обмотках між витками однієї фази;
- замикання на землю обмоток;
- пошкодження магнітопроводу.

Найчастіше зустрічаються пошкодження – коротке замикання на виводах та виткове замикання. Багатофазні короткі замикання проходять рідше.

При виткових замиканнях струми, як правило, невисокі, тому захист трансформаторів, призначений для дії при виткових замиканнях, а також при замиканнях на землю в обмотці, що працюють в мережі з ізолюваною нейтраллю, повинні мати високу чутливість.

Для обмеження руйнувань захист трансформаторів повинен діяти досить швидко. Пошкодження супроводжуються великими струмами, тому система захисту повинна зпрацьовувати без затримки, час дії повинен складати 0,05 – 0,1 сек..

Типи захисту від пошкоджень:

диференціальна – моментальний захист обмоток, вводів та ошиновок трансформатора;

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

струмова відсічка – захист ошиновки, вводів та частини обмотки зі сторони високої напруги;

газова – захист від пошкоджень в середині бака, що супроводжується виділенням газу, а також при зниженні рівня масла.

захист від замикання на корпус.

Сучасні тенденції розвитку комп'ютерних технологій дозволяють передбачити більшу частину несправностей трансформаторного обладнання, запобігти аварії та незапланованого простою обладнання.

Вище згадані види пошкоджень вимагають передбачати їх виникнення для усунення та подальшого забезпечення безперебійної роботи трансформаторів.

Основні методи діагностики подано у *табл. 1*.

Таблиця 1. Методи діагностики трансформаторів

Методи діагностики								
Діагностика трансформаторів під навантаженням						Діагностика при відключеному трансформаторі		
Локалізація розрядних явищ	Інфрачервоний контроль	Аналіз масла	Вібродіагностика	Вимірювання часткових розрядів	Аналіз ефективності системи охолодження масла	Контроль ізоляції обмоток	Вимірювання опору обмоток постійному струму	Інші дослідження

Швидкість старіння ізоляції визначається її температурою, виміряти яку безпосередньо неможливо, оскільки доступ до неї складний через високий потенціал обмотки. У зв'язку з цим шукана температура обчислювалась опосередковано в два етапи через потужність навантаження, теплові параметри трансформатора і температуру навколишнього середовища.

Для вирішення даного питання сучасні технології пропонують комп'ютерний моніторинг на основі електронних аналізаторів. Серед існуючих зразків пропоную розглянути прилад ЕЕ36.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Аналізатор ЕЕ36 має можливість безперервного моніторингу активності води, температури масла в рамках від -40 до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ та частки вологи в маслі від 0 до $100\,000\text{ ppm}$.

На рис. 1 відображено структурна схема апаратної реалізації моніторингу трансформаторів за допомогою аналізатора ЕЕ36.

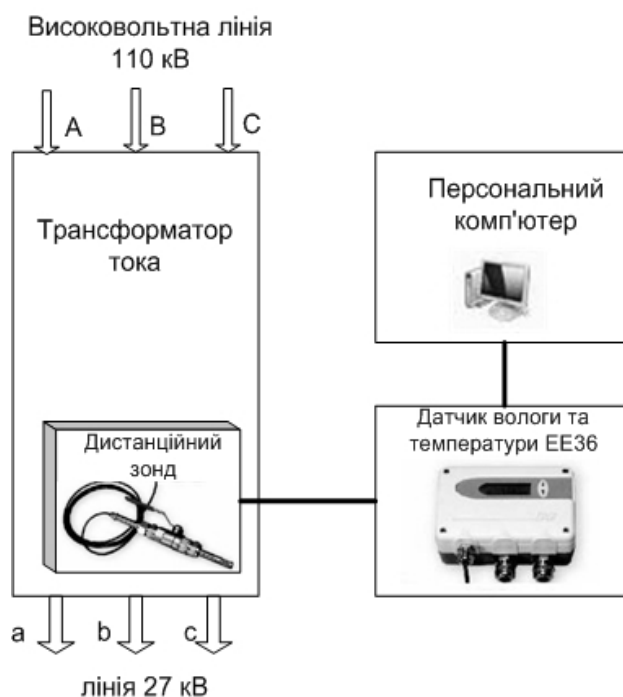


Рис.1. Структурна схема моніторингу трансформатора з використанням електронного аналізатора ЕЕ36

Універсальний та чутливий зонд сконструйований так, що занурюється безпосередньо в масло, при тиску до 20 бар. В комплект входить спеціальний кульковий кран, що дає можливість вводити зонд без переривання технологічного процесу.

Для зняття даних електронний аналізатор ЕЕ36 під'єднується за допомогою лінії зв'язку інтерфейсу RS 232.

Отримана інформація переноситься на комп'ютер і далі опрацьовується.

Дані, які отримуємо під час моніторингу дають можливість провести розрахунок відпрацьованого ресурсу ізоляції та визначити залишок часу життя трансформатора. Можливість передчасно замінити пошкоджені його частини або все трансформаторне обладнання в цілому – основна ціль сьогодення.

Висновок

Перспективи впровадження системи моніторингу визначаються необхідністю глобального контролю режимів роботи і технічного стану елементів систем

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Аналізатор ЕЕ36 має можливість безперервного моніторингу активності води, температури масла в рамках від -40 до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ та частки вологи в маслі від 0 до 100 000 ppm.

На рис. 1 відображено структурна схема апаратної реалізації моніторингу трансформаторів за допомогою аналізатора ЕЕ36.

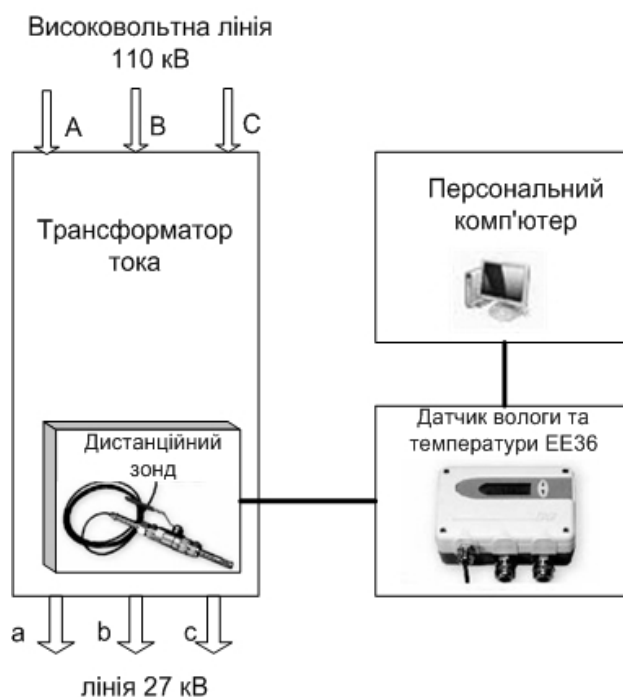


Рис.1. Структурна схема моніторингу трансформатора з використанням електронного аналізатора ЕЕ36

Універсальний та чутливий зонд сконструйований так, що занурюється безпосередньо в масло, при тиску до 20 бар. В комплект входить спеціальний кульковий кран, що дає можливість вводити зонд без переривання технологічного процесу.

Для зняття даних електронний аналізатор ЕЕ36 під'єднується за допомогою лінії зв'язку інтерфейсу RS 232.

Отримана інформація переноситься на комп'ютер і далі опрацьовується.

Дані, які отримуємо під час моніторингу дають можливість провести розрахунок відпрацьованого ресурсу ізоляції та визначити залишок часу життя трансформатора. Можливість передчасно замінити пошкоджені його частини або все трансформаторне обладнання в цілому – основна ціль сьогодення.

Висновок

Перспективи впровадження системи моніторингу визначаються необхідністю глобального контролю режимів роботи і технічного стану елементів систем

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

тягового електропостачання. Моніторинг є дієвим засобом діагностики стану і режимів роботи трансформаторів тягових підстанцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Шалин А.И.* Диагностика в электроэнергетике: Учеб. пособие .–Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996.–89 с.
2. Техника высоких напряжений; под ред. Д.В. Разевига. Изд. 2-е, переработанное и дополненное.– М., «Энергия», 1976
3. *Сви П.М.* Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П М Сви. –М Энергоатомиздат, 1995. – 239 с
4. *Аксенов Ю.П., Голубев А.В.* Новые подходы к диагностике и ремонту силовых трансформаторов на подстанциях.– «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика». –2001.– №7.

*Надія Алексійчук
Віктор Мироненко*

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВИТКУ ПРОВАЙДЕРІВ ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ НА ТРАНСПОРТНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ

Авторами запропоновано новий методологічний підхід до оцінки поточного стану ринку транспортно-логістичних послуг України, що ґрунтується на системному аналізі. А саме: провайдери логістичних послуг класифікуються відповідно до відомих PL-рівнів, причому знайдені певні відповідності між традиційними транспортно-експедиторськими компаніями, що діють на ринку України, і повноцінними PL провайдерами, які прийшли на український ринок із Заходу. Звернено увагу як на схоже між ними, так і на відмінності. Слід визнати, що на теперішній час в Україні немає операторів послуг рівнів 4PL чи 5PL, а серед приблизно 15 компаній, які можуть бути класифіковані як провайдери рівня 3PL, більшість складають іноземні компанії. Тим не менше в Україні існує величезний потенціал для розвитку транспортно-логістичних послуг більш високих рівнів PL.

Авторами предложен новый методологический подход к оценке текущего состояния рынка транспортно-логистических услуг Украины, основанный на системном подходе. А именно: провайдеры логистических услуг классифицируются в соответствии с известными PL-уровнями, при этом найдены определенные соответствия между традиционными транспортно-экспедиторскими компаниями, действующими на рынке Украины, и полноценными PL провайдерами, которые пришли на украинский рынок из Запада. Обращено внимание как на схожее между ними, так и на различия. Следует отметить, что в настоящее время в Украине нет операторов услуг уровня 4PL или 5PL, а среди приблизительно 15 компаний, которые могут быть классифицированы как провайдеры уровня 3PL, большинство являются иностранными компаниями. Тем не менее в Украине существует огромный потенциал для развития транспортно-логистических услуг более высоких уровней PL.

A new methodological approach based on system analysis is proposed by authors to access the current state of transport logistic service market in Ukraine. Namely, logistic service providers are classified according to well-known PL levels and some correlation was found between traditional domestic freight forwarding companies operating in Ukrainian market and full-scale PL logistic providers from Western markets now coming to Ukraine. Some similarities as well as differences have been focused on. It should be stated that there are no 4PL or 5PL service operators in Ukraine at the time, while some 15 companies that could be classified as 3PL service providers are mainly foreign companies. Nevertheless, there is a huge potential for higher levels PL logistic services development in Ukraine.

© Алексійчук Н. М., Мироненко В. К., 2012

Ключові слова: експедитори, провайдери логістичних послуг, рівні PL, ринок транспортно-логістичних послуг України, класифікація PL, транспортно-експедиторські компанії, рейтинг компаній.

Великий транзитний потенціал і вигідне географічне положення України, можна використати в повній мірі, лише розвиваючи сферу транспортно-логістичних послуг. Попит споживачів даного ринку залежить від різноманітності послуг, які пропонуються на ньому.

В законодавчих нормативних документах України не зустрінеш визначення логістичної послуги. Для нас звичними є транспортно-експедиторські послуги, визначені Законом України «Про транспортно-експедиторську діяльність». Експедитори забезпечують оптимальне транспортне обслуговування, а також організовують перевезення вантажів різними видами транспорту територією України та іноземних держав відповідно до умов договорів (контрактів), укладених відповідно до вимог Міжнародних правил щодо тлумачення термінів «Інкотермс»; надають в установленому законодавством порядку учасникам транспортно-експедиторської діяльності заявки на відправлення вантажів та наряди на відвантаження; надають в установленому законодавством порядку учасникам транспортно-експедиторської діяльності заявки на відправлення вантажів та наряди на відвантаження; забезпечують підготовку та додаткове обладнання транспортних засобів і вантажів згідно з вимогами нормативно-правових актів щодо діяльності відповідного виду транспорту; надають підготовлений транспорт, який має додаткове обладнання згідно з вимогами, передбаченими законодавством [1].

У той же час терміни «логістика», «логістичний» і т. ін. вживаються з великою частотою та легкістю без достатнього, на наш погляд, розкриття їх змісту. Як відомо, ці терміни навіть у спеціальній літературі [2 та ін.] не мають однозначного тлумачення.

Не менш широко в різних сферах вживається термін «провайдер», від англійського «*to provide*» – надавати, забезпечувати, отже, цей термін означає «той, хто надає» послуги. Стосовно сфери логістики, з різних джерел [3, 4, 5] можна отримати інформацію щодо послуг, які надаються провайдерами. В узагальненому виді ця інформація представлена в графі 2 таблиці 1. Ця інформація подана і розташована так, щоб вона якомога більше відповідала тим видам транспортно-експедиторських послуг (в їх загальноприйнятому у нас розумінні), що можуть надаватися експедиторами згідно з українським законодавством. Наведена інформація до певної міри відображає стан ринку цих послуг. Види «традиційних» транспортно-експедиторських послуг наведені в графі 1 табл. 1.

З таблиці 1 можна зробити наступні висновки.

По-перше, функція «Перевезення власними транспортними засобами (ТЗ)», наведена у графі 2 табл. 1, яку виконують логістичні провайдери, взагалі не властива нашим експедиторам. У нас цю функцію виконують перевізники.

По-друге, можна відмітити, що і логістичні провайдери, і експедитори організовують складування/зберігання, натомість провайдери нижчих рівнів мають власні склади. Але якщо експедитори оформляють документи та *організують роботи відповідно до митних, карантинних та санітарних вимог*, то провайдери *забезпечують контроль проходження митниці*, тобто відповідають за завершення процесу. Експедитори займаються переважно попередньою та супутньою відносно до перевезення організаторською роботою (організують охорону вантажів під час

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

їх перевезення, перевалки та зберігання; організовують експертизу вантажів; здійснюють страхування вантажів та своєї відповідальності). В той же час провайдери можуть як самостійно надавати послуги, так і передавати їх на аутсорсинг (передача сторонній компанії деяких бізнес-функцій або частини бізнес-процесу власної компанії).

*Таблиця 1. Порівняння видів транспортно-експедиторських послуг і логістичних послуг провайдерів**

Види транспортно-експедиторських послуг (ст.8 Закону України «Про транспортно-експедиторську діяльність»)	Функції, що виконуються провайдерами логістичних послуг [3, 4, 5]
1	2
-	перевезення власними транспортними засобами (ТЗ)
експедитори здійснюють роботи, пов'язані з прийманням, накопиченням, подрібненням, доробкою, сортуванням, складуванням, зберіганням, перевезенням вантажів	складування/зберігання (тривале) проміжне зберігання (cross docking)
оформляють документи та організовують роботи відповідно до митних, карантинних та санітарних вимог	контроль проходження митниці
організують охорону вантажів під час їх перевезення, перевалки та зберігання; організують експертизу вантажів; здійснюють страхування вантажів та своєї відповідальності	виконання та можливий аутсорсинг послуг
здійснюють розрахунки з портами, транспортними організаціями за перевезення, перевалку, зберігання вантажів	фінансове супроводження (організація розрахунків за послуги)
фрахтують національні, іноземні судна та залучають інші транспортні засоби і забезпечують їх подачу в порти, на залізничні станції, склади, термінали або інші об'єкти для здійснюють оформлення товарно-транспортної документації та її розсилання за належністю	підготовка експортно-імпоротної та фрахтової документації
ведуть облік надходження та відправлення вантажів з портів, залізничних станцій, складів, терміналів або інших об'єктів	ведення обліку та управління залишками вантажів на складі
забезпечують оптимізацію руху матеріальних потоків від вантажовідправника до вантажоодержувача з метою досягнення мінімального рівня витрат	координація та оптимізація руху вантажів
надають інші допоміжні та супутні перевезенням транспортно-експедиторські послуги, що передбачені договором транспортного експедирування і не суперечать законодавству	перевантаження, у т.ч. на інші ТЗ
	консолідація відправлень
	стеження за дислокацією вантажів та інші види інформаційного забезпечення (telematics, tracking)
	консалтингові послуги

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

-	додаткові послуги із доданням вартості (фасування, розподіл, повернення тари тощо), передпродажна та після продажна підготовка
-	підготовка рішень, пов'язаних із управлінням логістичним ланцюгом
-	управління та контроль всіх транспортно-логістичних процесів компанії клієнта з урахуванням довготривалих цілей
-	стратегічне планування ланцюга постачань, спрямоване на конкурентоздатність замовника
-	стратегічне планування перевезення клієнта
-	розробка загальної стратегії ланцюга постачання та планування рішень
-	управління всіма компонентами ланцюга поставок за допомогою електронних засобів інформації – інтернет-логістика
-	розвиток усіх необхідних логістичних систем та процесів для електронних угод
-	адміністративне та операційне забезпечення логістичних систем та процесів для фізичного виконання електронних угод

**Власна розробка*

Далі, таблиця 1 відображає те, що на сьогодні склалося на практиці, а саме, що частина експедиторів взяла на себе лише здійснення розрахунків з портами, транспортними організаціями за перевезення, перевалку, зберігання вантажів і не прагне розширювати цю сферу фінансової діяльності. Натомість провайдери забезпечують фінансове супроводження (організація розрахунків за послуги) в більш широкому значенні, включно з фінансовими гарантіями перевезень.

Експедитори фрахтують національні, іноземні судна та залучають інші транспортні засоби і забезпечують їх подачу в порти, на залізничні станції, склади, термінали або інші об'єкти, здійснюють оформлення товарно-транспортної документації та її розсилання за належністю. Такі ж самі функції виконує

логістичний провайдер, який займається підготовкою експортно-імпоротної та фрахтової документації.

Експедитори лише ведуть облік надходження та відправлення вантажів з портів, залізничних станцій, складів, терміналів або інших об'єктів, а провайдери крім цього займаються управлінням залишками вантажів на складі.

Експедитори забезпечують (причому доволі декларативно) оптимізацію руху матеріальних потоків від вантажовідправника до вантажоодержувача з метою досягнення мінімального рівня витрат, а провайдери, крім оптимізації руху вантажів, ще й, у першу чергу, координують рух вантажів, що є більш зрозумілою та практично цінною для клієнта функцією.

Деякі з функцій провайдерів, наведені в графі 2 табл. 1 «перекриваються» функціями, що для експедиторів сформульовані узагальнено як «надають інші допоміжні та супутні перевезенням транспортно-експедиторські послуги, що передбачені договором транспортного експедирування і не суперечать законодавству».

Нижче в графі 1 таблиці 1 (у експедиторів) слідують прочерки, тобто взагалі відсутні функції, що відповідали б тим, що виконуються провайдерами, і наведені у графі 2 табл. 1. Спробуємо з'ясувати, чи в змозі сучасні українські та інші пострадянські експедитори виконати ці функції?

Провайдери логістичних послуг – це організації, що надають послуги з логістики або фізичної дистрибуції [6]. Аналіз джерел [3, 4, 5] дав змогу виділити логістичні послуги, що можуть надаватись провайдерами. Звичайно, ці послуги розрізняють за «рівнями логістики»:

1) *First Party Logistics (1PL)* – логістика першого рівня. Це автономна логістика, всі операції виконує сам вантажовласник. Наприклад, «Орлан-транс» у вантажних перевезеннях, «Тетра Пак» в області складських сервісів, які створили власні підрозділи, оскільки не знайшли якісних пропозицій на ринку [8];

2) *Second Party Logistics (2PL)* – логістика другого рівня (вищий за перший);

3) *Third Party Logistics (3PL)* – логістика третього рівня (вищий за другий);

4) *Fourth Party Logistics (4PL)* – логістика четвертого рівня (вищий за третій);

5) *Fifth Party Logistics (5PL)* – логістика п'ятого рівня (вищий за четвертий).

На практиці часто відбувається так, що суб'єкти господарювання достатньо довільно позиціонують себе на тому чи іншому рівні логістики (бажано якомога вищому). Надзвичайно цікавим джерелом інформації є сайти, на яких кожен провайдер показує в кращому світі послуги, які він може не надавати в повному обсязі, але частота згадування послуг дає основу вважати, що найбільш згадувані послуги є дійсно важливими. На наше глибоке переконання, віднесення провайдерів до тієї чи іншої групи класифікації повинно залежати від переліку послуг, що ними надаються. Така спроба нами здійснена в цій статті.

Це дозволило ранжувати логістичні послуги за їх значимістю для користувачів і самих провайдерів. У результаті такого аналізу вибудувалась ієрархія, представлена в табл. 2.

Таким чином, таблиця 2 є методологічною основою не тільки для теоретичної класифікації, а й для розвитку транспортно-логістичних послуг провайдерами.

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Таблиця 2. Критерії приналежності провайдерів логістичних послуг до певного рівня PL

Критерії	Рівень PL			
	2PL	3PL	4PL	5PL
Локальні (місцеві) масштаби діяльності	+	+		
Високий рівень логістичних активів*	+	+		
Перевезення власними транспортними засобами (ТЗ)	+	+		
Складування/зберігання (тривале)	+	+	+	+
Проміжне зберігання (cross docking)	+	+	+	+
Контроль проходження митниці	+	+	+	+
Виконання та можливий аутсорсингу послуг		+	+	+
Перевантаження, у т.ч. на інші ТЗ		+	+	+
Консолідація відправлень		+	+	+
Фінансове супроводження (організація розрахунків за послуги)		+	+	+
Стеження за дислокацією вантажів та інші види інформаційного забезпечення (telematics, tracking)		+	+	+
Консалтингові послуги		+	+	+
Підготовка експортно-імпортної та фрахтової документації		+	+	+
Ведення обліку та управління залишками вантажів на складі		+	+	+
Додаткові послуги із додаванням вартості (фасування, розподіл, повернення тари тощо), передпродажна та після продажна підготовка		+	+	+
Координація та оптимізація руху вантажів		+	+	+
Підготовка рішень, пов'язаних із управлінням логістичним ланцюгом		+	+	+
Управління та контроль всіх транспортно-логістичних процесів компанії клієнта з урахуванням довготривалих цілей			+	+
Стратегічне планування ланцюга постачань, спрямоване на конкурентоздатність замовника			+	+
Стратегічне планування перевезення клієнта			+	+
Розробка загальної стратегії ланцюга постачання та планування рішень				+
Управління всіма компонентами ланцюга поставок за допомогою електронних засобів інформації – інтернет-логістика				+
Розвиток усіх необхідних логістичних систем та процесів для електронних угод				+
Адміністративне та операційне забезпечення логістичних систем та процесів для фізичного виконання електронних угод				+
Низький рівень логістичних активів				+
Глобальні масштаби діяльності				+

* Примітка: Термін «рівень логістичних активів» слід розуміти як забезпеченість компанії основними фондами, необхідними для логістичної діяльності (склади, транспортні засоби, вантажні механізми та ін.)

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Наступна спроба застосувати цю «теоретичну класифікацію» до логістичних провайдерів, які реально діють на українському ринку, що є частиною глобальних ринків, привела до таких результатів (табл. 3):

по-перше, серед великої кількості провайдерів (майже 90), що надають послуги в Україні на рівні не вищому 2PL, переважають українські компанії;

по-друге, при переході до рівня послуг 3PL перелік провайдерів значно скромніший і серед них переважають іноземні компанії.

Таблиця 3. Логістичні провайдери різних рівнів на українському ринку

Критерії приналежності провайдерів логістичних послуг до певного рівня PL	Рівень PL			
	2PL	3PL	4PL	5PL
Локальні (місцеві) масштаби діяльності	+			
Високий рівень логістичних активів	+			
1. Перевезення власними транспортними засобами (ТЗ)	УДЦТС «Ліски», ПАКОБО, та інші 88	Asstra, DHL, Emons, FM Logistic, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, M&M, Комора-С, Raben, Rhenus Revival, YBK		
2. Складування/зберігання (тривале)	УДЦТС «Ліски», ПАКОБО, та інші 88	Asstra, DB Schenker, DHL, FIEGE, FM Logistic, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, Комора-С, Panalpina, Raben, Rhenus Revival, YBK	-	-
3. Проміжне зберігання (cross docking)	-	Asstra, DB Schenker, DHL, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, Raben, YBK	-	-
4. Контроль проходження митниці	УДЦТС «Ліски», ПАКОБО, та інші 88	Asstra, DB Schenker, DHL, Emons, FIEGE, FM Logistic, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, M&M, Комора-С, Panalpina, Raben, Rhenus Revival, YBK	-	-
5. Виконання та можливий аутсорсинг послуг		Asstra, DB Schenker, DHL, FIEGE, Kuehne&Nagel, Panalpina, YBK	-	-
6. Перевантаження, у т.ч. на інші ТЗ		Asstra, DB Schenker, DHL, Emons, GEFCO, M&M, Комора-С, Rhenus Revival	-	-
7. Консолідація відправлень		Asstra, DB Schenker, DHL, Emons, GEFCO, Kuehne&Nagel, M&M, Raben, Rhenus Revival, YBK	-	-
8. Фінансове супроводження (організація розрахунків за послуги)		Asstra	-	-
9. Стеження за дислокацією вантажів та інші види інформаційного забезпечення (telematics, tracking)		Asstra, DB Schenker, DHL, Emons, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, M&M, YBK	-	-

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

10. Консалтингові послуги		AsstrA, DHL, Panalpina, YBK	-	-
11. Підготовка експортно-імпортової та фрахтової документації		AsstrA, DB Schenker, Emons, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, Rhenus Revival	-	-
12. Ведення обліку та управління залишками вантажів на складі		AsstrA, DB Schenker, DHL, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, Komopa-C, YBK	-	-
13. Додаткові послуги із додаванням вартості (фасування, розподіл, повернення тари тощо), передпродажна та після продажна підготовка		AsstrA, DB Schenker, DHL, Emons, FM Logistic, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, M&M, Komopa-C Panalpina, Raben, Rhenus Revival, YBK	-	-
14. Координація та оптимізація руху вантажів		AsstrA, DHL, Emons, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, M&M, Rhenus Revival, YBK	-	-
15. Підготовка рішень, пов'язаних із управлінням логістичним ланцюгом		DB Schenker, DHL, FIEGE, GEFCO, Kuehne&Nagel, Logistic Expert, Panalpina	-	-
16. Управління та контроль всіх транспортно-логістичних процесів компанії клієнта з урахуванням довготривалих цілей		-	-	-
17. Стратегічне планування ланцюга постачань, спрямоване на конкурентоздатність замовника		DHL	-	-
18. Стратегічне планування перевезення клієнта			-	-
19. Розробка загальної стратегії ланцюга постачання та планування рішень				-
20. Управління всіма компонентами ланцюга поставок за допомогою електронних засобів інформації – інтернет-логістика				-
21. Розвиток усіх необхідних логістичних систем та процесів для електронних угод				-
22. Адміністративне та операційне забезпечення логістичних систем та процесів для фізичного виконання електронних угод				-
Низький рівень логістичних активів				-
Глобальні масштаби діяльності				-

Джерело: Офіційні сайти компаній. [9-23]

При віднесенні провайдера до того чи іншого рівня враховувалась не тільки частота його згадування в Інтернеті, або зміст його рекламного сайту, а й більш об'єктивні оцінки, такі як наявність складів на території України, транспортних засобів, а також відгуки користувачів послуг цих провайдерів. Також вибір провайдерів здійснювався за критерієм мінімальної кількості вантажу, яку вони

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

готові брати до перевезення, адже відомо, що DHL, наприклад, спеціалізується на доставці дрібних партій вантажів (пакунки, парцельні відправки), а є компанії, які обслуговують перевезення вантажів цілими автомобілями, вагонами і навіть поїздами.

З таблиць 2 та 3 можна зауважити, що послуги в їх лівому крайньому стовпчику розташовані (зверху вниз і в порядку зростання номерів) так, що зміст цих послуг свідчить про усе більш високий професійний рівень логістичного провайдерів, більше розмаїття послуг, які ним надаються, що дає йому можливість займати значну частку ринку і міцне положення на ньому. Отже, порядковий номер послуги в табл. 3 – це свого роду «бал», що додається з кожною послугою до сумарного рейтингу логістичного провайдерів. Звісно ж, такі рейтинги логістичних провайдерів є доволі умовними, проте вони дають певну оціночну інформацію про ринок та «гравців» на ринку. Така методика підрахунку умовного рейтингу застосована як для провайдерів рівня 3PL, наведених у табл. 3, так і для 90 інших провайдерів, що надають послуги тільки рівнів 1PL та 2PL.

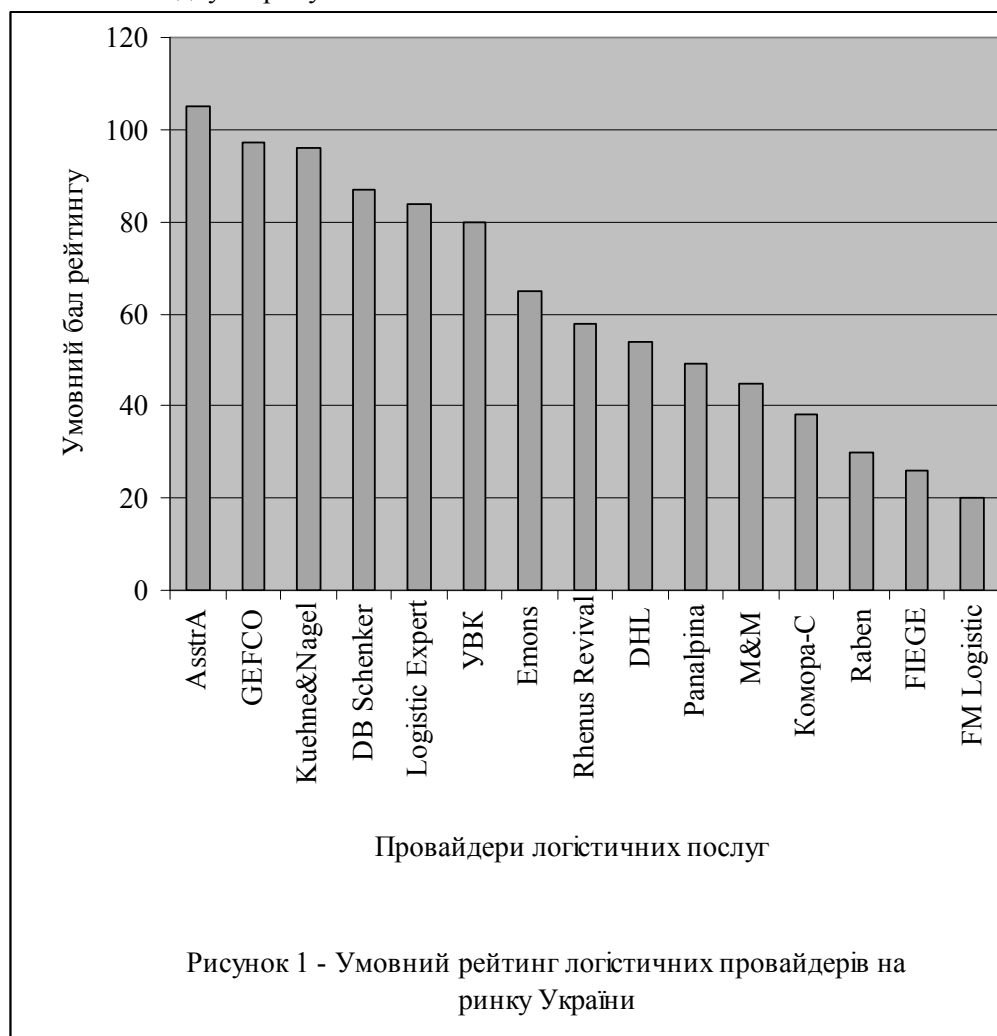
Таблиця 4. Умовний рейтинг логістичних провайдерів на українському ринку

№	Логістичний провайдер	Умовний рейтинг, бали
1	AsstrA	105
2	GEFCO	97
3	Kuehne&Nagel	96
4	DB Schenker	87
5	Logistic Expert	84
6	УБК (Україна)	80
7	Emons	65
8	Rhenus Revival	58
9	DHL	54
10	Panalpina	49
11	M&M	45
12	Комора-С (Україна)	38
13	Raben	30
14	FIEGE	26
15	FM Logistic	20
16	Інші 90 провайдерів рівнів 1PL та 2PL	2,35

На рис. 1 цей умовний рейтинг представлений графічно (без 90 провайдерів рівнів 1PL та 2PL, які із своїми балами рейтингу навіть не відповідають масштабу рис. 1). З табл. 4 та рис. 1 дуже виразно видно, наскільки низькі рейтинги більшості провайдерів рівнів 1PL та 2PL порівняно з лідерами цього ринку.

Висновки з цього аналізу для українського логістичного бізнесу не дуже втішні. На жаль, жодна з українських провайдерських компаній, що піднялися вже до рівня 3PL (УБК, Комора-С) до першої п'ятірки не потрапила, зате в ній знайшли своє місце визнані світові лідери цього бізнесу, що свідчить на користь достатньої об'єктивності запропонованої методики рейтингової оцінки. Не можна не відмітити, що в п'ятірку потрапила відома компанія DB Schenker, свого часу

утворена німецькими залізницями, яка таким чином розширює сферу своєї діяльності на Східну Європу.



Світова теорія логістики стверджує, що компанію можна визнати 3PL-провайдером, якщо вона відповідає формулі:

$$3PL = TE + ПДВ, \quad (1)$$

де ТЕ – транспортно-експедиторські послуги, а ПДВ – послуги доданої вартості (навантаження/розвантаження, послуги з комплектації асортименту, складські послуги, управління вантажопотоками в ланцюжку, маркетингові та фінансові послуги) [7].

Насправді ж, як видно з табл. 2, провайдери логістичних послуг 3PL мають більш широкую орієнтованість на клієнта і різновиди послуг значно ширші, ніж просто послуги доданої вартості.

На сьогоднішній день в Україні найбільш широко представлені провайдери логістичних послуг 1PL та 2PL. На основі аналізу даних Асоціації міжнародних експедиторів України [5] можна прийти до висновку, що в Україні понад 90 компаній надають послуги рівня 2PL. При цьому 20 компаній надають послуги митно-ліцензійного складу. 24 компанії із досліджених 90 2PL-провайдерів

надають перевезення одним видом транспорту, причому 15 з них морським, 6 – залізничним (за 2011 рік 126 експедиторів уклали договори з Укрзалізницею [8]) і 3 – автомобільним. 31 компанія із досліджених 90 2PL-провайдерів надають перевезення двома видами транспорту, причому 16 з них морським/залізничним, 8 – авто/залізничним, 5 – морським/авто і 2 – авіа/авто. 25 компаній із досліджених 90 2PL-провайдерів надають перевезення трьома видами транспорту, причому 24 з них морським/залізничним/авто і 1 – морським/авіа/авто. Решта 10 компаній із досліджених 90 2PL-провайдерів надають перевезення чотирма видами транспорту морським/залізничним/авто/авіа. Вантажі, для яких надаються послуги – це контейнери, зерно, небезпечні, метали, тарно-штучні, насипні, навалочні, негабаритні та великовагові, наливні вантажі, у т.ч. нафтопродукти, швидкопсувні вантажі.

Послуги рівня 3PL в Україні надають всього декілька операторів із значними особливостями. Так, наприклад, компанія «Комора-С» сконцентрована на внутрішніх вантажопотоках ЗАТ «АСНОВА холдинг» (хоча клієнтами фірми є також компанії «Бюро Вин», ONDULINE та ін.).

Застосовуючи такі ж критерії для віднесення провайдерів до рівня 4PL і 5PL, на жаль, доводиться констатувати, що на українському ринку вони відсутні, що видно із табл. 3. Суцільні прочерки в нижній частині таблиці 3 свідчать, напевно, про те, що в специфічних умовах українського ринку навіть такі гіганти світового логістичного ринку як Kuehne&Nagel поки що не наважуються в Україні виходити на рівень 4PL і 5PL.

Проте не все так безнадійно на вітчизняному ринку логістичних послуг. На цьому ринку зараз працюють, поки що на рівнях 1PL та 2PL, в основному «мультимодальні» експедитори, які обслуговують перевезення двома та більше видами транспорту – таких експедиторів майже 74% від загальної кількості. Більше 11% можуть працювати на всіх чотирьох основних видах транспорту. З урахуванням «мультимодальності», найбільше експедиторів працюють на морському транспорті – їх наразі 71; на залізничному – 64, автомобільному – 53, і 13 – на авіаційному. А з урахуванням того, що, наприклад, з Укрзалізницею укладено більше договорів, ніж фактично працює експедиторів, то є й потенціал для розширення ринку і розвитку конкуренції.

Для розвитку 3PL – 5PL – провайдерів в Україні необхідно використовувати цей потенціал, проаналізувати існуючі тенденції та максимально використати досвід європейських країн.

Необхідно провести аналіз по європейських країнах у таких напрямках:

- шляхи розвитку провайдерів «вищих рівнів» і передумови створення;
- зацікавлений потенційний сегмент клієнтів 3PL – 5PL провайдерів.

На основі проведеного аналізу, використовуючи метод аналогій, виявивши спільні закономірності створення та розвитку 3PL – 5PL провайдерів країн Європи, можна обґрунтувати та спрогнозувати оптимальний розвиток логістичних провайдерів в Україні, що є предметом окремого дослідження, якому буде присвячено наступні публікації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1955-15>

2. Смахов А.А. Основы транспортной логистики: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1995. – 197 с.
3. Шимко О.В. Наукові записки. Серія «Економіка». Випуск 16. «Ринок логістичних послуг: проблеми становлення та розвитку». – 424–433.
4. Чернописька Н.В. Логістика електронної комерції: стан та перспективи розвитку в Україні / Н.В. Чернописька, О.В. Солодка // Логістика : [зб. наук. пр.] / відп. ред. Є. В. Крикавський. – Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 512 с. – (Вісник / Національний університет «Львівська політехніка»; №594). – С. 490-495.
5. <http://www.ameu.org.ua/>
6. Підтримка інтеграції України до Транс-Європейської Транспортної мережі ТЕМ-Т РК7. Міжгалузеві питання. Логістика. Заключний звіт 7.2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ten-t.org.ua/data/upload/publication/main/ua/517/fr_7.2_logistics_ukr.pdf
7. Горбенко О.В., Пильченко А.О. Розвиток діяльності логістичних провайдерів в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Upsal/2009_6/09govpau.pdf
8. <http://www.uz.gov.ua/>
9. Офіційний сайт компанії Asstra [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://asstra.com.ua/>
10. Офіційний сайт компанії DB Schenker [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.schenker.com.ua/log-ua-ua/start/>
11. Офіційний сайт компанії DHL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dhl.com.ua/>
12. Офіційний сайт компанії Emons [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://emons.com.ua/>
13. Офіційний сайт компанії FIEGE [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.fiege.de/ua/ru/fiege_ukraine/strategy
14. Офіційний сайт компанії FM Logistic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fmlogistic.com.ua/fmlogistic/index.php/en/fm-logistic-ctry-home-ua-local>
15. Офіційний сайт компанії GEFCO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.gefco.net/gefco-ukrajina/>
16. Офіційний сайт компанії Kuehne + Nagel Україна [Electronic resource]. – Available from : <http://www.kn-portal.com/locations/europe/ukraine/>.
17. Офіційний сайт компанії Комора-С [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://komora-s.kiev.ua/>
18. Офіційний сайт компанії Logistic Expert [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.l-e.com.ua/>
19. Офіційний сайт компанії M&M [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mumnet.com.ua/>.
20. Офіційний сайт компанії Panalpina [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.panalpina.com/www/sun/ru/supply_chain_management.html
21. Офіційний сайт компанії Raben [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.raben-group.com/ru/raben_ukraine_ru.php
22. Офіційний сайт компанії Rhenus Revival [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.rhenus.com/index.php?id=961&L=5>
23. Офіційний сайт компанії УВК [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://uvk.ua/ua/about/about_company/.

УДК 656.2

Галина Висоцька

ВИЗНАЧЕННЯ ІМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

Проаналізовано імовірності прострочення доставки та найбільш імовірні питомі втрати перевізної плати залежно від нормативного терміну доставки та системи нарахування штрафів.

Проанализированы вероятности просрочки доставки и наиболее вероятные удельные потери перевозочной платы в зависимости от нормативного срока доставки и системы начисления штрафов.

The article analyzes the probability of delivery delay and the most probable loss per unit of payment depending on the required delivery time and assessment of penalties.

Ключові слова: термін доставки, імовірність прострочення доставки.

Попри те, що вся експлуатаційна робота залізничного транспорту ґрунтується на системі планування перевезень, підпорядковується графікам руху, розкладам, нормативним технологічним процесам, що регламентують доставку вантажів, цей процес відзначається певною нерівномірністю, яка об'єктивно йому притаманна [1, 2 та ін.]. Ця нерівномірність стосується як кількісної сторони процесу (наприклад, розмір вагонопотоку, поїздопотоку), так і якісної його сторони (зокрема, час відправлення, прослідкування, прибуття). Нерівномірність часових характеристик узагальнюється і має свій кінцевий вираз у терміні доставки вантажу, який завжди був важливим якісним показником роботи транспорту.

Зараз, коли концепція доставки «точно в строк» (*just in time* – [2]) стала панівною в транспортній логістиці, значення показника «термін доставки вантажу» важко переоцінити. Крім того, враховуючи нові тенденції в організації доставки вантажів залізничним транспортом на основі складання графіків доставки вантажів [3], що враховують потреби клієнтів та наявні можливості залізниці, важливою задачею є визначення можливих меж точності доставки. Тобто встановлення нормативних відхилень фактичного терміну доставки від графікового. Адже чим більша точність, тим більший тариф.

Однак, як це не парадоксально, відхилення фактичних термінів доставки від юридичних не обліковуються в галузевій статистичній звітності залізниць. Про важливість цього показника час від часу нагадують залізничникам претензійні справи, які виграють в судах вантажоодержувачі з приводу прострочення доставки

© *Висоцька Г. С., 2012*

вантажів. У таких випадках доводиться повертати вантажоодержувачу у вигляді штрафу за прострочення доставки вантажу від 6 до 30 % перевізної плати, що регламентується нормативними документами залізничного транспорту [5, 6]. Зважаючи на обсяги перевезення вантажів, це величезні грошові втрати залізниць, інформація про які, на жаль, не є відкритою. Наявність такої інформації та її статистична обробка дозволила б мати відповідні математичні, економіко-математичні моделі виникнення негативного явища прострочення доставки, залежно від різних технологічних параметрів, якими перевізник може керувати, а також тих параметрів, на які він вплинути не може, але повинен їх враховувати.

Не маючи поки що таких апріорних моделей та інформації, слід генерувати їх на певних адекватних теоретичних засадах. Тут в нагоді стають теорія ймовірностей та математична статистика.

Сформулюємо задачу. На часовій осі позначимо момент нормативного (юридичного) строку доставки – t_N (рис. 1). Відповідальність за прострочення доставки у вигляді штрафу починається не зразу після настання нормативного строку, а через певний час $\Delta t_{\min}$. Так, наприклад, Статутом залізниць України статтею 116 встановлено, що мінімальна відповідальність залізниці настає при простроченні доставки на 2 доби (в цьому випадку штраф складає 10 % перевізної плати), а згідно з положеннями статті 27 СМГС мінімальна відповідальність настає при простроченні доставки $\Delta t_{\min} = 0,1t_N$. Максимальний розмір штрафу відповідає простроченню терміну доставки на $\Delta t_{\max}$ і більше. Наприклад, Статутом залізниць статтею 116 встановлений максимальний штраф 30 % перевізної плати, що відповідає простроченню доставки від 4 діб і більше. А згідно СМГС 30 % перевізної плати стягується із залізниці у випадку прострочення доставки $\Delta t_{\max} = 0,4t_N$.

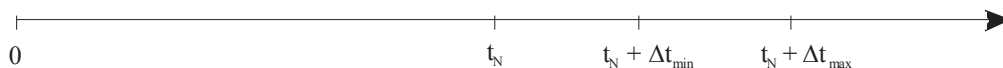


Рис. 1. Часова вісь моментів t_N , $\Delta t_{\min}$, $\Delta t_{\max}$

Методами теорії ймовірності можна визначити ймовірність доставки вантажу з простроченням, що тягне за собою штрафні санкції – тобто ймовірність потрапляння випадкової величини – фактичного терміну доставки в інтервал $(t_N + \Delta t_{\min}; t_N + \Delta t_{\max})$.

Зокрема відома центральна гранична теорема обґрунтовує широке поширення нормального закону і пояснює механізм його утворення. Теорема дозволяє стверджувати, що завжди, коли випадкова величина утворюється в результаті складання великого числа незалежних випадкових величин, дисперсії яких малі в порівнянні з дисперсією суми, закон розподілу цієї випадкової величини виявляється практично нормальним законом. А оскільки випадкові величини завжди породжуються нескінченною кількістю причин і найчастіше жодна з них не має дисперсії, порівнянної з дисперсією самої випадкової величини, то більшість випадкових величин, що зустрічаються на практиці, підпорядковані нормальному закону розподілу [7, 8].

З таким механізмом впливу великої кількості випадкових факторів на процес доставки вантажу, в результаті чого термін доставки стає випадковою величиною та можливістю його застосування в умовах залізничного транспорту можна погодитися лише частково. Адже кожного разу, коли в процесі доставки відбувається «запізнення» порівняно з графіком доставки вантажу [4], відбувається і оперативне втручання в процес з метою прискорення доставки. Отже, можна зробити припущення щодо певної асиметричності відхилень фактичних термінів доставки від нормативних (середніх) величин, що відобразиться у зміщенні медіани розподілу вліво, у той час як нормальний розподіл є симетричним. Також не на користь нормального закону розподілу і той факт, що при такому розподілі є як додатні, так і від'ємні відхилення випадкової величини у межах від $-\infty$ до $+\infty$, тоді як термін доставки вантажу за суттю завжди є додатною величиною більшою 0. Таким чином, є всі підстави для моделювання терміну доставки вантажів (та й будь-якої тривалості процесу на транспорті) не менш поширеним у практичних техніко-економічних застосуваннях показниковим розподілом щільності ймовірності випадкової величини (рис. 2).

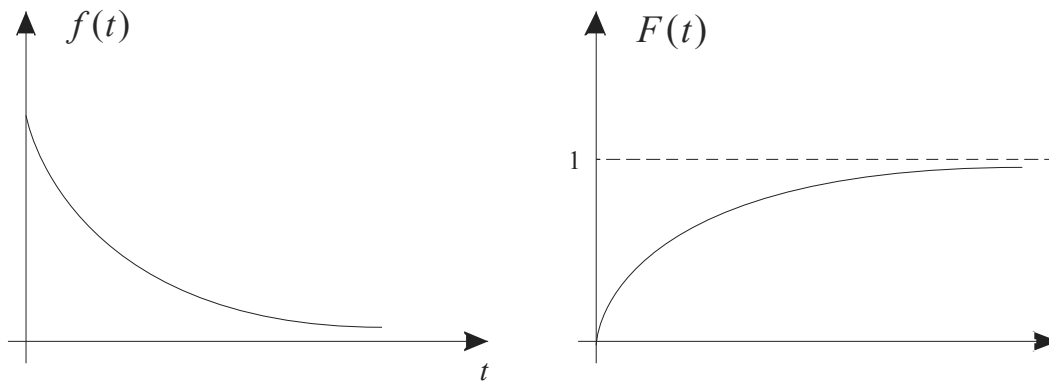


Рис. 2. Показниковий закон розподілу ймовірностей та відповідна функція розподілу

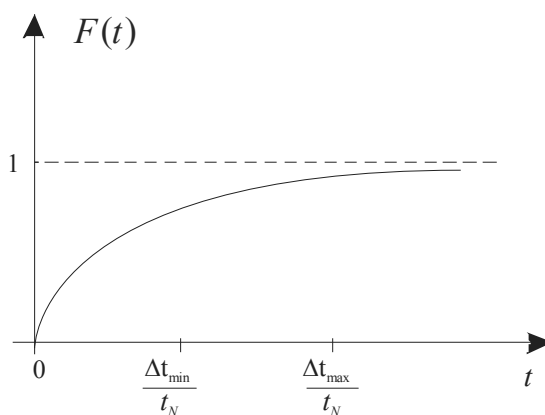


Рис. 3. Показникова функція розподілу випадкової величини часу доставки

Використовуючи показникову функцію розподілу (рис. 3), знаходимо ймовірність прострочення доставки, що тягне за собою штрафні санкції, тобто ймовірність потрапляння випадкової величини в інтервал $(t_N + \Delta t_{\min}; t_N + \Delta t_{\max})$:

$$P(D_L) = \exp\left\{-\frac{\Delta t_{\min}}{t_N}\right\} - \exp\left\{-\frac{\Delta t_{\max}}{t_N}\right\}, \quad (1)$$

де $\Delta t_{\min}$ – мінімальне прострочення (понад нормативний термін доставки), при якому може наступати мінімальна відповідальність залізниці у розмірі $\gamma_{\min}$ від перевізної плати;

$\Delta t_{\max}$ – максимальне прострочення (понад нормативний термін доставки), при якому може наступати максимальна відповідальність залізниці у розмірі $\gamma_{\max}$ від перевізної плати;

t_N – нормативний термін доставки вантажу.

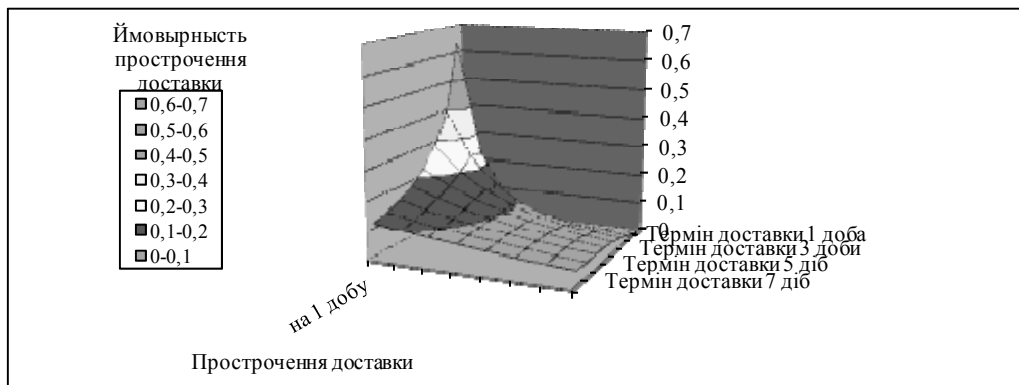


Рис. 4. Імовірність прострочення доставки при певних значеннях t_N , $\Delta t_{\min}$ та $\Delta t_{\max}$

Рис. 4 графічно відображає представлену формулу ймовірності прострочення доставки. З рисунка видно, що найбільш ймовірне прострочення на 1-2 доби виникає при терміні доставки від 1-3 діб, що є цілком логічним. Крім високої ймовірності затримки, чим менший термін доставки, тим більшої точності вимагає вантажоотримувач.

Оскільки величини $\Delta t_{\min}$, $\gamma_{\min}$ і $\Delta t_{\max}$, $\gamma_{\max}$ є постійними для кожного транспортного законодавства, то можна вважати, що визначальним фактором є t_N . Можна визначити, яка частка перевізної плати найбільш ймовірно буде повернена у разі задоволення усіх претензій вантажоодержувачів щодо прострочення доставки:

$$H(D_L) = \frac{\gamma_{\min} \cdot \exp\left\{-\frac{\Delta t_{\min}}{t_N}\right\} + \gamma_{\max} \cdot \exp\left\{-\frac{\Delta t_{\max}}{t_N}\right\}}{\exp\left\{-\frac{\Delta t_{\min}}{t_N}\right\} + \exp\left\{-\frac{\Delta t_{\max}}{t_N}\right\}} \quad (2)$$

$$\omega(D_L) = P(D_L) \cdot H(D_L), \quad (3)$$

З формул (2) та (3) і пояснень до них випливає, що добуток є не що інше, як найбільш імовірні питомі втрати доходів від перевезень у частках від перевізної плати.

Таблиця 1. Визначення імовірнісних характеристик процесу доставки вантажів у внутрішньому сполученні

t_N , діб	$P(D_L)$	$H(D_L)$	$\omega(D_L)$	$A(D_L)$	$\Omega(D_L)$
0,5	0,0180	0,1036	0,0019	0,2212	0,0004
1	0,1170	0,1238	0,0145	0,3935	0,0057
2	0,2325	0,1538	0,0358	0,6321	0,0226
3	0,2498	0,1678	0,0419	0,7769	0,0326
4	0,2387	0,1755	0,0419	0,8647	0,0362
5	0,2210	0,1803	0,0398	0,9179	0,0366
6	0,2031	0,1835	0,0373	0,9502	0,0354
7	0,1868	0,1858	0,0347	0,9698	0,0337
8	0,1723	0,1876	0,0323	0,9817	0,0317
9	0,1596	0,1889	0,0301	0,9889	0,0298
10	0,1484	0,1900	0,0282	0,9933	0,0280

Слід врахувати й те, що перевізна плата тим більша, чим більша відстань L , а отже і термін доставки t_N , і чим менше допустиме мінімальне прострочення Δt_{MIN} (і більша при цьому вимагається точність часу доставки). Це можна врахувати коефіцієнтом точності доставки

$$A(D_L) = 1 - \exp\left\{-\frac{t_N}{\Delta t_{MIN}} a\right\}, \quad (4)$$

де $a \geq 1$ – коефіцієнт збільшення точності, а $\Delta t_{MAX} \succ \Delta t_{MIN} \succ 0$.

Перемножимо коефіцієнти, що визначені формулами (4) та (5) і отримаємо інтегральний коефіцієнт якості доставки

$$\Omega(D_L) = \omega(D_L) \cdot A(D_L) \quad (5)$$

Перевіримо отримані формули на прикладі термінів доставки та нормативів штрафів за прострочення у внутрішньому сполученні. Так, Статут залізниць України визначає $\gamma_{MIN} = 0,1$, при $\Delta t_{MIN} = 2 \text{ доби}$, відповідно $\gamma_{MAX} = 0,3$, $\Delta t_{MAX} = 4 \text{ доби}$. Отримані розрахунки зведемо в таблицю 1.

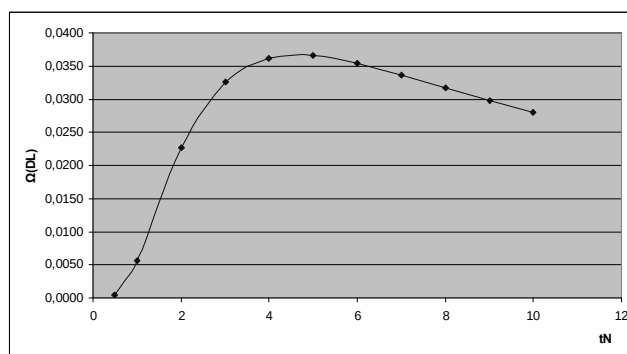


Рис. 5. Інтегральний коефіцієнт якості доставки

З табл. 1 та рис. 5 можна зробити висновок, що при діючій системі нарахування штрафів за прострочення доставки вантажів у внутрішньому сполученні найбільш «ризикованими» як по імовірності прострочення доставки, так і по сумарним втратам частки перевізної плати є нормативні терміни доставки 4, 5, 6 діб. Причому максимальний ризик при $t_n = 5$ діб складає 0,036.

При нарахуванні штрафів за прострочення доставки вантажів по нормативам СМГС, як ймовірність прострочення доставки, так і ймовірні питомі втрати доходів від перевезення не змінюються в залежності від значення t_n . Тому і ризик втрат стабільний і складає 0,038.

Наведена методика може бути застосована для встановлення найбільш ймовірних відхилень фактичного терміну доставки від нормативного (точності доставки) і розрахунку відповідних тарифів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Угрюмов А.К. Влияние суточной неравномерности движения на эксплуатацию железных дорог. Автореферат диссертации доктора техн. наук. Л.: ЛИИЖТ. 1964, – 34 с.
2. Угрюмов А.К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт. – 1968. – 112 с.
3. Система поставок «точно в срок» (*just-in-time, JIT*) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://logistic-info.org.ua/tochno-v-srok.html>
4. Звіт з науково-дослідної роботи «Розробка методики формування графіків доставки вантажів та функцій контролю виконання умов договорів при автоматизації перевізного процесу» № 104/2011.
5. Статут залізниць України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/457-98-%D0%BF>
6. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://old.uz.gov.ua/ci/org/osjd/Smgs-2005/SMGS%201.pdf>
7. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / А. В. Печинкин, О. И. Тескин, Г. М. Цветкова и др.; Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 456 с.
8. Применение математических методов и вычислительной техники в эксплуатации железных дорог. Акулиничев В. М., Кудрявцев В. А., Шульженко П. А. – М: Транспорт, 1973. – 208 с.

УДК 656.223.2

Віктор Мироненко
Вячеслав Мацюк

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ МІСЦЕВОГО ВАГОНОПОТОКУ В РОЗВИНЕНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛАХ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ

В статті представлена математична модель визначення оптимального місця концентрації технічної переробки вхідного та вихідного місцевого вагонопотоку в розвинених залізничних вузлах. Критерієм оптимізації обрано час знаходження вагонів у вузлі (мінімізація показника).

В статье представлена математическая модель определения оптимального места концентрации технической переработки входного и выходного местного вагонопотока в развитых железнодорожных узлах. Критерием оптимизации выбрано время нахождения вагонов в узле (минимизация показателя).

The article deals with the mathematical model of optimum points of a local traffic flow technical processing concentration in large developed railway junctions. The intrajunction time staying of wagons (minimization) has been chosen as a criterion of optimization.

Ключові слова: місцева робота в залізничних вузлах, час знаходження місцевих вагонів у вузлах, концентрація технічної переробки місцевого вагонопотоку, критерій мінімізації часу.

Відповідно до сучасних принципів організації розвозу місцевих вагонів у розвинених залізничних вузлах місцеві вагони приймаються спочатку на сортувальну (технічну) станцію вузла. Це пов'язано із тим, що розташування вагонів у складах поїздів, які прибувають до вузла, неупорядковане, тому на вхідних сортувальних станціях місцеві вагони проходять такий самий комплекс операцій та процедур, що й транзитні із переробкою вагони.

© Мироненко В.К., Мацюк В.І., 2012

Відсорткування місцевих вагонів та формування передавальних поїздів з них є обов'язковим елементом сучасної технології переробки місцевих вагонів у великих залізничних вузлах, оскільки тільки таким чином можливе їх відсорткування із загального вагонопотоку та подальша переробка [1].

Оптимізація переробки місцевих вагонів у розвинених залізничних вузлах зводиться до визначення таких варіантів внутрішньовузлових пересувань вагонів та фізичного розташування підсистем у вузлі, при яких загальні техніко-експлуатаційні витрати будуть мінімальні. Однак в умовах жорсткої конкуренції залізниць з іншими видами транспорту (особливо автомобільним) найважливішим критерієм якісного виконання обов'язків по транспортуванню вантажів вважається виконання строків доставки вантажів та, при можливості, їх зменшення. Задача оптимізації зводиться до такого: за сучасних топологічних, місцевих та технічних умов, структури вагонопотоків та особливостей функціонування великого залізничного вузла знайти такий варіант концентрації технічної переробки місцевого вагонопотоку, при якому середня довжина внутрішньовузлових маршрутів прямування, середня тривалість знаходження місцевих вагонів та загальні техніко-експлуатаційні витрати на переробку у вузлі були б найменшими. Треба зауважити, що дотримання одночасно двох зазначених критеріїв оптимізації (а саме тривалості знаходження місцевого вагона у вузлі та загальні техніко-експлуатаційні витрати на переробку) не завжди можливо, оскільки у ряді випадків їх залежність зворотно пропорційна [2, 3]. Збільшення капіталовкладень у інфраструктуру та витрат на утримання і експлуатацію технічних приладів та устаткування (наприклад, збільшення кількості маневрових та магістральних локомотивів) може призвести до зростання питомих техніко-експлуатаційних витрат на переробку одного місцевого вагона, однак дозволить зменшити тривалість міжопераційних простоїв та загалом зменшити час переробки місцевого вагона у вузлі.

Одним із можливих засобів одночасного зменшення тривалості переробки місцевих вагонів та зниження техніко-експлуатаційних витрат на переробку зазначеного вагонопотоку є скорочення маршрутів прямування місцевих вагонів через розподіл технічної переробки відповідних вагонів між станціями вузла.

Задача мінімізації часу просування місцевих вагонів у розвиненому залізничному вузлі зводиться до мінімізації маршрутів (відстаней) на графі:

$$T = (W, O), \quad (1)$$

де $O = \{o_y\}$ – множина ребер T -графа, що відповідають тривалості прямування по відповідних ділянках, (рис. 1);

Y – загальна кількість ребер на графі, $y \in Y$.

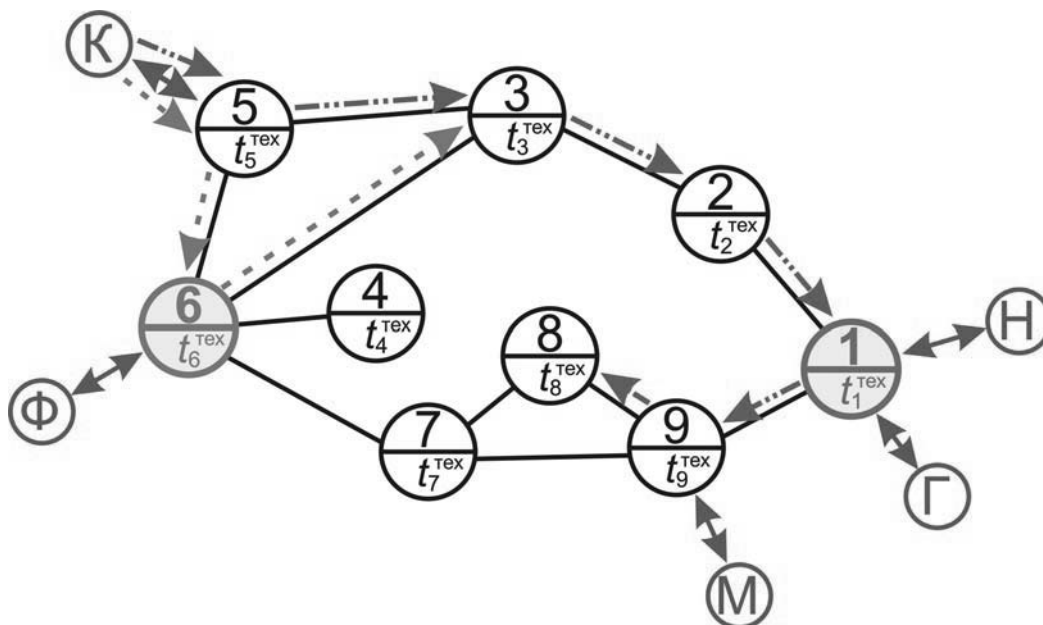
Час прямування вагона до станції призначення подається як:

(2)

вузла із x напрямку до станції виконання технічних операцій, год.;

під технічними операціями, год.;

технічних операцій, до i -ї станції навантаження (вивантаження), год. Значення не залежить від напрямку прибуття (відправлення) вагона до (із) вузла.



Варіанти маршрутів:

- — — — — місцевих вагонів з напрямку «K2 до станції 3 із технічною переробкою на станції 6;
- . . . — місцевих вагонів з напрямку «K» до станції 8 із технічною переробкою на станції 1.

Для прикладу: час прямування місцевого вагона з напрямку «К» до станції 8 із технічною переробкою на станції 1 та до станції 3 із переробкою на станції 6 буде проходити у таких послідовностях ребер T -графа: К-5-3-2-1-9-8 та К-5-6-3 (з урахуванням часу знаходження місцевого вагона на технічних станціях – у вершинах 1 та 6 T -графа відповідно) (рис. 1); формально подається як:

$$T(v_{8,1,K}) = T(Bx_K, 1) + t_1^{\text{tex}} + T^{\text{BH}}(1, 8) = \underbrace{T(5, 3) + T(3, 2) + T(2, 1)}_{T(Bx_K, 1)} + t_1^{\text{tex}} + \underbrace{T(1, 9) + T(9, 8)}_{T^{\text{BH}}(1, 8)}; \quad (3)$$

$$T(v_{3,6,K}) = T(Bx_K, 6) + t_6^{\text{tex}} + T^{\text{BH}}(6, 3) = \underbrace{T(5, 6)}_{T(Bx_K, 6)} + t_6^{\text{tex}} + \underbrace{T(6, 3)}_{T^{\text{BH}}(6, 3)}. \quad (4)$$

Час пересування вагонів у складах вантажних поїздів розраховується за загальним принципом:

$$T(Bx_x, j) = \frac{P(Bx_x, j)}{v_d}, \quad T^{\text{BH}}(j, i) = \frac{P^{\text{BH}}(j, i)}{v_d}, \quad (5)$$

де v_d — дільнична швидкість руху, км/год.

Середня тривалість прямування місцевих вагонів у вузлі становитиме за прибуттям:

$$T^{\text{П}} = \sum_{x=1}^X \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I T_k(v_{i,j,x})^{\text{П}} \cdot R_{i,x}^{\text{П}} \cdot Q_{j,x}^{\text{П}} \cdot Z_x^{\text{П}}, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (6)$$

за відправленням:

$$T^{\text{В}} = \sum_{x=1}^X \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I T_k(v_{i,j,x})^{\text{В}} \cdot R_{i,x}^{\text{В}} \cdot Q_{j,x}^{\text{В}} \cdot Z_x^{\text{В}}, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (7)$$

де $R_{i,x}^{\text{П}}$ — ймовірність прямування місцевого вагона з напрямку x на i — у станцію для вивантаження (навантаження);
 $Q_{j,x}^{\text{П}}$ — ймовірність проходження місцевого вагона, що прибув з напрямку x , технічної переробки на j -й станції;
 $Z_x^{\text{П}}$ — ймовірність прибуття місцевого вагона з напрямку x .

Сумарний час знаходження місцевого вагона у вузлі буде дорівнювати:

$$T = T^{\text{П}} + T^{\text{В}} + t_{\text{ван}}^{\text{М}}. \quad (8)$$

Цільові функції за критерієм мінімізації часу знаходження місцевого вагона у вузлі матиме вигляд:

$$T = f \left(T(Bx_x, j)^{\text{П}}, T^{\text{BH}}(j, i)^{\text{П}}, R_i^{\text{П}}, Q_j^{\text{П}}, Z_x^{\text{П}}, t_{\text{ван}}^{\text{М}}, t_i^{\text{tex}}, T(Bx_x, j)^{\text{В}}, T^{\text{BH}}(j, i)^{\text{В}}, R_i^{\text{В}}, Q_j^{\text{В}}, Z_x^{\text{В}} \right) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Реалізація моделей виконується за таких обмежень та умов:

$$\left. \begin{aligned} & \left(T(Bx_x, j)^n, T^{BH}(j, i)^n, T(Bx_x, j)^B, \right. \\ & \left. T^{BH}(j, i)^B, R_i^n, Z_x^n, R_i^B, Z_x^B, t_{\text{ван}}^M, t_i^{\text{тех}} \right) - \text{постійні величини,} \\ & (Q_j^n, Q_j^B) - \text{змінні величини,} \\ & \sum_{j=1}^J Q_j^n = 1, \sum_{j=1}^J Q_j^B = 1, \quad Q_j^n \in [0, 1], \quad Q_j^B \in [0, 1], \quad j = 1, 2, \dots, J; \\ & \sum_{i=1}^I R_i^n = 1, \sum_{i=1}^I R_i^B = 1; \quad R_i^n \in [0, 1], \quad R_i^B \in [0, 1], \quad i = 1, 2, \dots, I; \\ & \sum_{x=1}^X Z_x^n = 1, \sum_{x=1}^X Z_x^B = 1; \quad Z_x^n \in [0, 1], \quad Z_x^B \in [0, 1], \quad x = 1, 2, \dots, X. \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Обсяг даних математичної моделі (вирази 6 - 10) являють собою тримірні масиви. Сама задача відноситься до задач лінійного програмування [4]. Для реалізації моделі процесу конкретного вузла матриці даних представляються у вигляді таблиць: масиви даних $N_M^{\text{річн}}$, $T(Bx_x, j)^n$, $T^{BH}(j, i)^n$, $T(Bx_x, j)^B$, $T^{BH}(j, i)^B$, R_i^n , Z_x^n , R_i^B , Z_x^B , Q_j^n , Q_j^B , $t_{\text{ван}}^M$, $t_i^{\text{тех}}$.

У даному вигляді зазначений метод також може бути використаний як інструмент визначення середньозваженого часу перебування місцевого, транзитного з переробкою або транзитного без переробки вагона у вузлі. Власне результатом реалізації моделі і є середньозважений час перебування вагону певної категорії у вузлі.

У разі визначення найраціональнішої системи організації вагонопотоків у вузлі замість значень $t_i^{\text{тех}}$ можуть використовуватись параметри накопичення відповідних станцій c . Тоді вираз (2) матиме вигляд:

$$T(v_{i,j,x}) = T(Bx_x, j) + c_i + T^{BH}(j, i). \quad (11)$$

Вираз (11) у більшості випадків може бути використаний лише як інструмент порівняння варіантів системи організації вагонопотоків у вузлі. Однак, враховуючи те, що параметр накопичення c є більш сталою величиною, ніж загальний час простою місцевого вагона на технічній станції $t_i^{\text{тех}}$ та залежить більше від особливостей технології роботи та місцевих умов кожної окремої технічної станції, результат із елементами c замість $t_i^{\text{тех}}$ буде актуальним протягом більшого проміжку часу.

Реалізація моделі на прикладі одного з найбільших залізничних вузлів України – Київського, за даними 2007 року (максимальні «докризові» обсяги місцевої роботи), при існуючій системі розвозу – із концентрацією технічної переробки у вершині графа 1 (рис.1) – дозволяє визначити таке:

середня тривалість знаходження місцевого вагона за прибуттям становить 14,00 год., а за відправленням – 13,93 год. Загальний час переробки місцевого вагона складе 62,17 год. (результати подано у табл. 1 та на рис. 2). Приблизно 97,8% всього часу перебування у вузлі місцевий вагон знаходиться на технічних та вантажних станціях, а саме: 55,1 % – на вантажній станції, 42,7% – на технічних станціях, безпосередньо у русі – 2,2%. Тобто найбільший час перебування місцевого вагона у вузлі залежить від простою на вантажних та технічних станціях.

Тривалість прямування місцевого вагона до вантажної станції для вивантаження (навантаження) та прямування у зворотному напрямку найбільше залежить від часу знаходження місцевого вагона на технічних станціях.

Реалізація моделі за різних умов концентрації технічної переробки місцевих вагонів подано у табл. 1. Теоретично концентрація технічної переробки місцевого вагонопотоку можлива на будь-якій станції Київського вузла. Із практичної точки зору (відповідно до сучасного стану розвитку інфраструктури вузла) ефективного відсортування та виконання інших технічних операцій можливе тільки на технічних станціях (вершини графа 1 та 6 на рис. 1 відповідно).

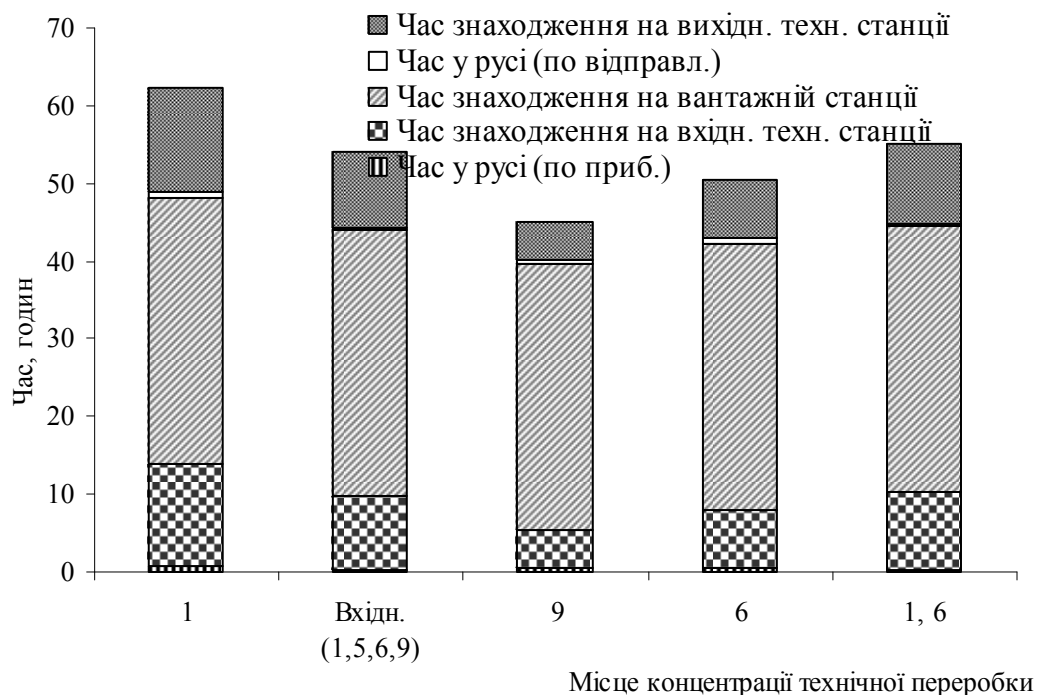


Рис. 2. Структурні складові часу знаходження місцевого вагона у Київському вузлі при різних місцях концентрації технічної переробки

За умов концентрації технічної переробки всього місцевого вагонопотоку у вершині 6 Т-графа, загальний час знаходження вагона у вузлі

дорівнюватиме 50,5 год. (таблиця 1), що на 11,7 години (або 18,8%) менший від існуючого показника. Основна частина скорочення загального часу головним чином досягається за рахунок меншого значення часу знаходження місцевого вагона на технічній станції (у даному разі $t_6^{\text{тр.пер}} = 7,5$ год.), що на 5,8 год. (або 43,4%) менше за $t_1^{\text{тр.пер}} = 13,3$ год.

При концентрації технічної роботи у вершинах графа 1 та 6, відповідно, а саме технічна переробка вхідних та вихідних місцевих вагонопотоків напрямків «К» та «Ф» концентрується у вершині 6, напрямків «М», «Г», «Н» – у вершині графа 1 T -графа (рис. 1). Отримано таке: загальне значення менше від існуючого варіанта на 7,0 години (або 11,3%). Значення складових не суттєво відрізняється від варіанта із концентрацією технічної роботи на вхідних станціях вузла. Даний варіант не дає такого великого ефекту економії вагоно-годин, як попередні, однак він є найбільш прийнятним із практичної точки зору. Треба також зауважити, що зазначений варіант концентрації технічної переробки забезпечує мінімальні вагоно-кілометри маршрутів прямування місцевих вагонів у Київському вузлі [5].

Даний метод, побудований на комплексі математичних моделей, має суттєві переваги, оскільки його алгоритм дозволяє визначити оптимальне місце концентрації технічної переробки місцевих вагонів відповідно до вибраних параметрів та критеріїв оцінки, незалежно від складності, фізичної конфігурації, кореспонденції та інших місцевих умов розвинених вузлів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Типовий технологічний процес роботи сортувальної станції. Затверджений наказом Укрзалізниці від 23.12.98 №324-Ц
2. *Мацюк В. І.* Аналіз існуючої технології розвозу місцевих вагонів у великих залізничних вузлах // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте: Материалы Второй Международной научно-практической конференции. Судак, 19-22 июня 2007 г. – Судак; Киев. – 2007. – Т. 1. – С. 217-218.
3. *Мироненко В.К.* Вплив кількості груп призначень місцевих вагонів у складах поїздів на розміри передавального руху та терміни доставки вантажів / *В.К. Мироненко, В. І. Мацюк* // Материалы Второй Международной научно-практической конф. [Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте], (19-22 июня 2007 г., Судак). – К., 2007. – Т. 1. – С. 210-211.
4. *Акулиничев В.М.* Математические методы в эксплуатации железных дорог: учеб. пособие [для вузов ж.-д. трансп.] / *Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н.* – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
5. *Мацюк В.І.* Удосконалення системи розвозу місцевих вагонів в залізничному вузлі: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.01 / *Мацюк Вячеслав Іванович.* – К., 2009. – 181 с.

Таблиця 1. Результати реалізації моделі за критерієм мінімізації часу

Місце концентрації технічної роботи на графі (рис. 3,1)		Прибуття			Відправлення			$t_{\text{вн}}^{\text{м}}$	$t_{\text{м}}$
		$T(Bx_x, j) + T_{\text{вн}}(j, i)$	$t_i^{\text{тех}}$	$T^{\text{п}}$	$T(Bx_x, j) + T_{\text{вн}}(j, i)$	$t_i^{\text{тех}}$	$T^{\text{в}}$		
1		0,7	13,3	14,0	0,7	13,3	13,9	34,2	62,2
Вхідні (1,5,6,9)	Значення	0,3	9,4	9,7	0,3	9,9	10,2	34,2	54,2
	Відношення до існуючого варіанта	0,4	3,9	4,3	0,4	3,4	3,74	-	8,04
	Відносне	57,6%	29,1%	30,6%	57,6%	25,2%	26,8%	-	12,9%
9	Значення	0,54	4,9	5,4	0,5	4,9	5,4	34,2	45,0
	Відношення до існуючого варіанта	0,3	8,4	8,6	0,2	8,4	8,5	-	17,1
	Відносне	28,8%	63,1%	61,4%	23,9%	63,1%	61,3%	-	27,6%
6	Значення	0,6	7,5	8,1	0,7	7,5	8,1	34,2	50,5
	Відношення до існуючого варіанта	0,1	5,8	5,9	0,0	5,8	5,8	-	11,7
	Відносне	19,7%	43,4%	42,2%	3,9%	43,4%	41,6%	-	18,8%
1, 6	Значення	0,3	9,9	10,2	0,3	10,4	10,7	34,2	55,1
	Відношення до існуючого варіанта	0,4	3,4	3,8	0,4	2,9	3,2	-	7,0
	Відносне	53,4%	25,6%	27,1%	53,4%	21,8%	23,3%	-	11,3%

УДК 656.073.52 : 004.414.38

Сергій Овчаренко

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЙ КОНТРОЛЮ ЗА ВИКОНАННЯМ ГРАФІКІВ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Проведено визначення та формалізацію функцій контролю за виконанням графіків доставки вантажів на залізничному транспорті з метою їх подальшої реалізації у програмному забезпеченні автоматизованого робочого місця оперативного контролю за графіками доставки вантажів, що призначене для використання у диспетчерському центрі контролю доставки вантажів.

Выполнено определение и формализацию функций контроля выполнения графиков доставки грузов на железнодорожном транспорте с целью их дальнейшей реализации в программном обеспечении автоматизированного рабочего места оперативного контроля графиков доставки грузов, которое предназначено для использования в диспетчерском центре контроля доставки грузов.

It is executed determination and formalization of functions of the control of fulfillment of delivery schedules of freights on a rail transport for the purpose of their further realization in the software of the automated work area of operational control of delivery schedules of freights which is intended for usage in a traffic control centre of the control of delivery of freights.

Ключові слова: доставка вантажів, функції контролю.

Транспортна стратегія України на період до 2020 року [1] визначає одним із своїх основних напрямків поліпшення інвестиційного клімату шляхом забезпечення швидкої доставки вантажів, а одним із очікуваних результатів – забезпечення своєчасності доставки вантажів.

У статті [2] визначено структуру єдиного логістичного центру, у складі якого функціонує диспетчерський центр контролю доставки вантажів на підставі розробленої та узгодженої з клієнтом технології кожного окремого перевезення, тобто графік доставки вантажу (ГДВ) [3].

Для успішного функціонування такого диспетчерського центру необхідна розробка програмного забезпечення автоматизованого робочого місця оперативного контролю за графіками доставки вантажів (АРМ ОКГДВ), що має забезпечити доступ до інформації [4] про усі відправки на визначеному полігоні управління в узагальненому та детальному вигляді.

© Овчаренко С. М., 2012

Для створення такого програмного забезпечення необхідно визначити та формалізувати функції контролю за виконанням графіків доставки вантажів.

До функцій контролю виконання умов договорів перевезення вантажів належать [5]:

- слідування за виконанням термінів доставки в цілому по всіх перевезеннях у межах визначеного полігону в графічному та табличному вигляді;
- знаходження відправок, що мають відхилення на задану величину від контрольних точок виконання перевезень з відображенням їх у графічному та табличному вигляді;
- прогнозування просування вантажопотоків у графічному вигляді з можливістю автоматизованого формування завдань нижчому рівню керування щодо направлення вантажопотоків, тобто вжиття заходів щодо виконання юридичного часу доставки;
- надання інформації про переміщення кожної конкретної відправки у просторі та часі.

Ці функції повинні надаватися у користування працівнику через АРМ ОКГДВ, а також через інші АРМ оперативних працівників за потребою.

Формалізація функції слідування за виконанням термінів доставки в цілому по всіх перевезеннях у межах визначеного полігону

Вимоги до графічного відображення виконання термінів доставки вантажів в цілому по всіх перевезеннях у межах визначеного полігону:

- відображення має інформувати про наявність прострочення контрольного терміну хоча б по одній партії вантажу, а також процентне відношення обсягу такого вантажу до загального. Це реалізується кольором нитки на графіку виконаного руху (ГВР): чорний – 0 % вагонів мають прострочення контрольного терміну доставки, зелений – до 25 %, синій – 25-60 %, жовтогарячий – 60-90 %, червоний – більше 90 %;
- вантажі мають бути відображені як у поїздах, так і поза ними;
- графічна підказка по об'єкту місцезнаходження вантажу (поїзд, станційна колія) повинна відображати стислу узагальнену інформацію про вантажі на даному об'єкті;
- дозволити отримати детальну інформацію по кожному об'єкту шляхом контекстного запиту по об'єкту місцезнаходження вантажу;
- оновлення інформації має відбуватися постійно для відображення актуального стану справ.

Інформація по станції повинна деталізуватися до колій і опціонально має включатися відображення вагонів поза поїздами. На станціях, де модель колій не ведеться відображення вагонів поза поїздами має здійснюватися на станційній смузі (місце, на якому відображається інформація, яку неможливо прив'язати до конкретної станційної колії).

Підказка по поїзду (рис. 1) має містити:

- номер та індекс поїзда;
- підсумкові дані про поїзд;
- розкладання вагонів за родом рухомого складу (PPC);
- розкладання вагонів за залізничними адміністраціями-приписки;
- наявність власних та орендованих вагонів у складі поїзда;
- інформацію про перевізні документи: кількість вагонів з документами, кількість документів, наявність вагонів з електронним перевізним документом

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Сортув П/13С Спеціалізація: ЯСН Ум. довж.: 62														
	Вагони	Ум.довж.	Вага	Вісі		РРС	КР 2/1 ПЛ 0/1 НВ 43/2 ЦС 1/2 ІНШ 3/0							
	49/6	57	4169	220		Адм.	РЖД 4/2 УЗ 44/2 ЛДЗ 1/0 КЗХ 0/2							
						Влас.	14/4							
						Оренд.	0/1							
Документи		Вагонів	Докум.	Ш	АК	Без документів								
Всього		49/6	45			РРС ПЛ 0/1								
ЕПД		23/2	20	5	2	Адм. УЗ 0/1								
Відхилення від контрольного часу доставки														
Випередження							Відставання							
>2	1-2	12-24	6-12	3-6	1-3	16-60	-15--+15	16-60	1-3	3-6	6-12	12-24	1-2	>2
діб	доби	год.	год.	год.	год.	хв.	хв.	хв.	год.	год.	год.	год.	доби	діб
1	0/2	5/3	7/1	2	12	10	1	4	11	1	1			
ПЕРЕСТ_13:05 +5/2														

Рис. 2. Підказка по вагонах на колії (поза поїздом)

Вимоги до табличного відображення виконання термінів доставки вантажів в цілому по всіх перевезеннях у межах визначеного полігону:

- перелік інформації повинен бути згрупований по об'єктах дислокації вантажу, місцезнаходженню об'єктів дислокації відповідно до їх ієрархії;
- інформація повинна містити ступінь (рівень) виконання ГДВ, відображення обсягу здійсненого переміщення (роботи), затраченого (використаного) часу, обсягу переміщення (роботи), яке необхідно виконати, час, що залишається до настання юридичного часу доставки, інформація про рухомий склад, у якому знаходиться вантаж;
- оновлення інформації має відбуватися постійно для відображення актуального стану справ.

У загальному вигляді ієрархія об'єктів дислокації вантажу має вісім рівнів:

- Укрзалізниця:
 - залізниця:
 - дирекція:
 - станція:
 - ✓ поїзд:
 - вагон;
 - ✓ поза поїздами:
 - ❖ парк:
 - ◆ колія:
 - вагон;
 - ❖ без парку та колії:
 - вагон;
 - у русі:
 - ✓ поїзд:
 - вагон.

При зменшенні рівня полігону відповідно зменшується кількість рівнів ієрархії об'єктів дислокації вантажу.

Об'єкти дислокації розташовуються у рядках і якщо у об'єкта є підпорядковані об'єкти, то у такому рядку виводиться підсумкова інформація по усіх таких об'єктах.

Інформація по об'єктах дислокації виводиться у колонки і групується за змістом з наданням можливості користувачу самостійно визначити порядок колонок та їх видимість, а також додати додаткові колонки для кореляції даних, тобто розкласти дані стовпчика за показниками іншої групи.

Ступінь (рівень) виконання ГДВ містить рівень відхилення від контрольного часу доставки та складається зі стовпчиків (з можливістю вручну виставити значення відхилень), що аналогічні наведеним у підказці по поїзду (див. рис. 1).

Інформація про рухомий склад, у якому знаходиться вантаж, складається з таких груп і даних:

- тип парку:
 - навантажені;
 - порожні;
 - неробочий парк;
 - недіючі локомотиви та механізми;
 - пасажирські;
- рід рухомого складу:
 - деталізація за основними та уточнюючими родами рухомого складу;
- залізнична адміністрація приписки:
 - деталізація за залізничними адміністраціями;
- тип власності:
 - інвентарні;
 - власні;
 - орендовані (з інвентарного парку);
- призначення:
 - адміністрація призначення:
 - деталізація за залізничними адміністраціями;
 - залізничний стиковий пункт призначення:
 - деталізація за залізничними стиковими пунктами.

Від графічного або табличного вигляду має бути можливість перейти до розширеної інформації про поїзд та вагонів поза поїздом на конкретній станції.

Така інформація повинна складатися з (на окремих вкладках):

- переліку вагонів з даними у обсязі ТГНЛ, а також перелік операцій з поїздом чи вагонами поза поїздом;
- ступінь (рівень) виконання ГДВ, обсяг здійсненого переміщення (роботи), затрачений (використаний) час, обсяг переміщення (роботи), який необхідно виконати, час, що залишається до настання юридичного часу доставки;
- відсутність або наявність порушень постановки вагонів та яких саме;
- картотечні дані про вагони.

Порядок визначення контрольного часу графіка доставки вантажу між двома контрольними точками

Для визначення контрольного часу графіку доставки вантажу T_{np} між двома контрольними точками застосовується формула:

$$T_{np} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{t_{технол}} t_{технол.пр.}, \quad (1)$$

де T_1 – попередня контрольна точка;

T_2 – наступна контрольна точка;

$t_{технол}$ – технологічний час виконання операцій між попередньою та наступною контрольними точками;

$t_{технол.пр.}$ – технологічний час виконання операцій між попередньою контрольною точкою та поточною операцією для якої розраховується контрольний час.

Технологічний час виконання операцій включає як час руху поїзда, так і виконання технічних операцій.

Формалізація функції знаходження відправок, що мають відхилення на задану величину від контрольних точок виконання перевезень

Знаходження відправок, що мають відхилення на задану величину від контрольних точок виконання перевезень з відображенням їх у графічному та табличному вигляді має виконуватися шляхом використання фільтрації даних за заданими умовами і відповідно відображення результату такої фільтрації.

Для цього необхідно мати можливість задати фільтри за такими параметрами:

– відправки:

- відхилення від графіка доставки: випередження > 2 діб, 1-2 доби, 12-24 год., 6-12 год., 3-6 год., 1-3 год., 16-60 хв., у межах норми (-15 хв. – +15 хв.), відставання 16-60 хв., 1-3 год., 3-6 год., 6-12 год., 12-24 год., 1-2 доби, > 2 діб, інше значення (задати);

- розрахункова маршрутна швидкість для вчасного завершення перевезення (умовний показник, який визначається шляхом ділення відстані у кілометрах, що залишилися до залізничної станції призначення (переходу – для транзитних та експортних перевезень), на час у добах, що залишилися до закінчення терміну доставки. Час може приймати від'ємне значення – це означає явне невиконання умов перевезення): < 0 км/добу, 0 км/добу, $0,01-100$ км/добу, $100,01-200$ км/добу, $200,01-300$ км/добу, $300,01-400$ км/добу, > 400 км/добу, інше значення (задати);

- відстань, що залишилися: 0 км, $1-50$ км, $51-100$ км, $101-200$ км, $201-300$ км, $301-500$ км, > 500 км, інше значення (задати);

– вагони:

- тип парку: навантажені, порожні, неробочий парк, недіючі локомотиви та механізми, пасажирські;

- рід рухомого складу: деталізація за основними та уточнюючими РРС;

- приналежність: Україна, іновагони (перелік країн залізничних адміністрацій), без приналежності;

- власність: власні вагони, вагони інвентарного парку;

- оренда: здані до оренди, не здані до оренди;

- станція призначення:

- о залізниця УЗ (кожна окремо):

- дирекція залізничних перевезень (кожна окремо):

- ✓ станція, відкрита для вантажних операцій, у межах дирекції залізничних перевезень (кожна окремо);

- о СНД:

- країна СНД (кожна окремо):

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

- ✓ залізниця в межах держави СНД (кожна окремо);
- отримувач вантажу:
 - станції полігону (кожна окремо):
 - клієнти станції (кожен окремо);
- вантажі:
 - розділ вантажів ЄТСНВ (кожен окремо):
 - група вантажів ЄТСНВ (кожен окремо):
 - ✓ позиція вантажів ЄТСНВ (кожна окремо);
- номер (задати);
- поїзди:
 - категорія:
 - вантажні з можливою деталізацією по виду поїзда;
 - пасажирські з можливою деталізацією по виду поїзда;
 - приміські;
 - локомотиви з можливою деталізацією по виду поїзда;
 - господарчі з можливою деталізацією по виду поїзда;
 - станція формування:
 - залізниця УЗ (кожна окремо):
 - дирекція залізничних перевезень (кожна окремо):
 - ✓ станція, відкрита для вантажних операцій, у межах дирекції залізничних перевезень (кожна окремо);
 - СНД:
 - країна СНД (кожна окремо):
 - ✓ залізниця в межах держави СНД (кожна окремо);
 - станція призначення:
 - залізниця УЗ (кожна окремо):
 - дирекція залізничних перевезень (кожна окремо):
 - ✓ станція, відкрита для вантажних операцій, у межах дирекції залізничних перевезень (кожна окремо);
 - СНД:
 - країна СНД (кожна окремо):
 - ✓ залізниця в межах держави СНД (кожна окремо);
 - станція дислокації:
 - залізниця УЗ (кожна окремо):
 - дирекція залізничних перевезень (кожна окремо):
 - ✓ станція, відкрита для вантажних операцій, у межах дирекції залізничних перевезень (кожна окремо);
 - СНД:
 - країна СНД (кожна окремо):
 - ✓ залізниця в межах держави СНД (кожна окремо);
 - вага нетто: < 1000 т, 1000-1499 т, 1500-1999 т, 2000-2499 т, 2500-2999 т, 3000-3499 т, 3500-3999 т, 4000-4499 т, 4500-4999 т, 5000-5499 т, 5500-5999 т, ≥ 6000 т,
 - вага брутто: < 1000 т, 1000-1499 т, 1500-1999 т, 2000-2499 т, 2500-2999 т, 3000-3499 т, 3500-3999 т, 4000-4499 т, 4500-4999 т, 5000-5499 т, 5500-5999 т, ≥ 6000 т;
 - номер (задати);

- умовна довжина (ум. ваг.): < 10, 10-19, 20-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, 70-79, 80-89, 90-99, ≥ 100.

Формалізація функції прогнозування просування вантажопотоків

Прогнозування просування вантажопотоків має здійснюватися на підставі поточної ситуації з урахуванням наявності рухомого складу, локомотивів, локомотивних бригад, стану (зайнятості, вільності) інфраструктури на час, не менший ніж 24 години вперед.

До розрахованого прогнозного графіка просування вантажопотоків має бути можливість внесення змін диспетчерським апаратом з подальшим його перерахунком і оцінкою прийнятих рішень.

На підставі прогнозного графіку складається завдання на 4-6 годин вперед із зазначенням вузьких місць, тобто із приверненням уваги до найскладніших ділянок роботи з метою забезпечення виконання планових завдань у повному обсязі з великою ймовірністю.

Формалізація функції надання інформації про переміщення

Інформація про переміщення кожної конкретної відправки у просторі та часі повинна складатися з:

- місця та часу зародження вантажу (початку перевезення);
- юридичного часу доставки;
- технологічного часу доставки;
- просування по полігону керування із зазначенням контрольних точок та величини розбіжності між фактичним та прогнозним часом;
- даних про наступну контрольну точку.

Отримання такої інформації необхідно забезпечити через вагон (з інформації про поїзд та переліку вагонів поза поїздами).

Висновок. Проведено визначення та формалізацію функцій контролю за виконанням графіків доставки вантажів на залізничному транспорті, що створює передумови для розробки АРМ ОКГДВ і підвищення рівня інструментального забезпечення працівників диспетчерського центру контролю доставки вантажів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електрон. ресурс], схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.
2. Івашук В. Р. Формування інструментів логістичного забезпечення перевезень вантажів на залізниці [Текст] / В. Р. Івашук, Г. І. Кириченко, М. М. Кузнецов, О. В. Петриковець // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 5. – С. 20-23.
3. Івашук В. Р. Логістичні технології управління процесами перевезень вантажів на залізниці [Текст] / В. Р. Івашук, А. І. Кириченко // Збірник доповідей 13 Міжнародної науково-практичної конференції «Ринок комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики». – К.: Міністерство інфраструктури України, 2012. – С. 87-91.
4. Кириченко, Г. І. Проблематика досліджень транспортних систем при взаємодії різних видів транспорту [Текст] / Г. І. Кириченко // Проблеми транспорту. Збірник наукових праць. – Вип. 8. – К.: НТУ, 2011. – С. 21-29.
5. Овчаренко, С. М. Визначення функцій контролю за виконанням графіків доставки вантажів на залізничному транспорті [Текст] / С. М. Овчаренко // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2011». – Выпуск 4. Том 1. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 60-62.

УДК 656.6.022

Ольга Петриковець
Анна Кириченко
Олег Стрелко
Олексій Горецький

СКРОЧЕННЯ ВИТРАТ НА СКЛАДСЬКУ ЛОГІСТИКУ. СИСТЕМА «CROSS-DOCKING»

В статті розглянуто поточний стан ринку складської логістики, аспекти оптимізації роботи для скорочення витрат на логістику при впровадженні системи «кросс-докінг» і ефективність даної системи.

В статье представлено текущее состояние рынка складской логистики, аспекты оптимизации работы для сокращения затрат на логистику при внедрении системы «кросс-докинг» и эффективность данной системы.

This article presents the current status of the rink warehouse logistics aspects of the optimization for the reduction of logistics costs in the implementation of the "cross-docking" and the efficiency of a given system.

Ключові слова: складська логістика, кросс-докінг.

Скорочення об'ємів перевезень вантажів стало основним наслідком кризи, яка вплинула на всі галузі економіки. В результаті виникає необхідність своєчасного аналізу існуючого ланцюга доставки вантажів на предмет його ефективності.

Впровадження сучасних інформаційних систем – необхідна умова успішного виконання логістикою своєї головної функції – скорочення витрат. На основі інтегрованих логістичних рішень, високого ступеня інформатизації процесу перевезень можлива реалізація таких новітніх технологій, призначених для впровадження в ланцюги доставок, як крос-докінг. Крос-докінг (з англ. cross-docking – cross – той, що йде напроям і dock – док, причал, стиковка, з'єднання) – рух вантажів через склад на пряму, фактично без його розміщення на зберігання (див. рис. 1). Дуже часто під крос-докінгом розуміють пряме перевантаження вантажу між транспортними засобами або товароносіями. При використанні цієї технології відвантаження із складу і доставка товарів максимально точно узгоджуються за часом [1]. В результаті продукція (вантаж) доставляється за максимальний строк. Зберігання товару (вантаж) на складі при цьому повністю виключено. Тобто вхідний потік вантажу V у випадку крос-докінга буде відвантажений в той же день у повному об'ємі і розподілений між n клієнтами:

© **Петриковець О. В., Кириченко А. І., Стрелко О. Г., Горецький О.А., 2012**

$$\sum_{i=1} V_i = \sum_{j=1} V_{1j} = \sum_{k=1} V_{2k}$$

де V_{1j} – вхідний потік вантажу (вивантаження);

V_{2k} – вихідний потік вантажу (навантаження).

Подібного роду системи – справа майбутнього для українського ринку. Однак на даний час залізниці не повинні залишатись осторонь від цього процесу, створюючи необхідну інфраструктуру, в тому числі в інформаційній сфері [2].

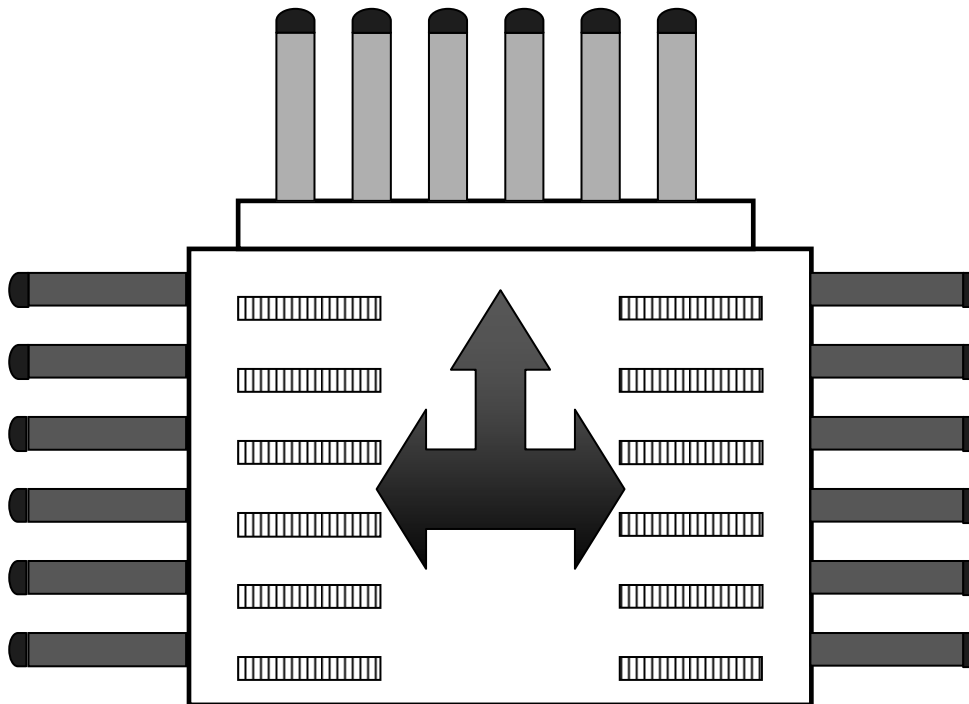


Рис.1. Рух вантажів при крос-докінгу

Останнім часом операція крос-докінга набуває більшу популярність. Це пояснюється перш за все скороченням витрат на 20-30% при організації складських операцій в порівнянні із загальною сумою витрат, що, у свою чергу, пов'язане з відсутністю зони зберігання. Крос-докінг також дозволяє прискорити доставку вантажу до вантажоотримувача, що являється важливим в умовах сучасної конкуренції на ринку транспортних послуг. Як правило, крос-докінг використовується, коли необхідно змінити вид транспорту (в портах, на залізничних станціях і т.д.), відсортувати вантаж по пунктах доставки або скомбінувати вантажі різних відправників в один автомобіль (контейнер, вагон), який прямує в конкретний пункт призначення [3].

Якщо розглядати крос-докінг, то нічого інноваційного в даному процесі не має. Це адаптована під складські операції виробнича система Just-in-Time, коли знижуються витрати на зберігання шляхом здійснення операції без пауз і зупинок в процесі руху вантажу. Зрозуміти, як і за який рахунок, це досягається, а також що для цього потрібно змінити в різних ланках ланцюга поставок, простіше, якщо розглянути схему наскрізного складування.

Крос-докінг проходить в один або два етапи:

- одноетапний крос-докінг – відправник адресує вантаж визначеному отримувачу, і вантаж проходить через склад як окреме замовлення, без змін.
- двоетапний крос-докінг – партія вантажу надходить на склад в якості логістичної одиниці, проходить переформування – або поділяється на дві групи для доставки в різні точки, або збирається в єдиний блок (логістичну одиницю) разом з іншими частинами цього ж замовлення.

Вигода від такого роду діяльності очевидна – зниження вартості складських послуг за рахунок відмови від зберігання і дублювання ряду вантажно-розвантажувальних робіт. Крім того, наскрізне складування прискорює доставку до пунктів призначення. Оскільки вантаж направляється до місця призначення одразу після його отримання. На практиці, для ефективної роботи по системі кросс-докінга повинні бути створені всі умови. По-перше, між відправником, складом і отримувачем повинна бути чітка взаємодія. Тому що всі партії вантажу повинні прибути на склад в обумовлений час, правильно упаковані і промарковані – тільки тоді вони мають шанс без затримок відправитись далі по ланцюгу [4]. Якщо розглядати крос-докінг з точки зору транспортної складової, то при доставці вантажів, виникає проблема – дефіцит транспорту. Причиною такої ситуації, є необхідність вступу в міжнародні асоціації, отримання різних дозволів на перевезення, проблеми на кордонах, великий ринок європейських перевезень, «особливості» роботи митних і прикордонних служб в Україні. Ось тільки декілька причин, чому велика кількість транспортних компаній не прагнуть працювати в напрямку України. Наприклад, на кордоні орендується митний склад, куди буде звозитись весь товар, і паралельно з цим залучаються транспортні компанії, які б даний вантаж із складу доставляли в Україну. Після ряду пробних доставок і усунення неточностей з оформленням документів. А також прийняття даної схеми митними службами стран СНД і України, проблема дефіциту транспорту була б вирішена. Система планування транспортних потоків, надає можливість досягти визначеного результату, а саме: коли вантаж надійшов на склад, його очікує інший транспорт (автомобіль/вагон/контейнер), який забирає вантаж без вивантаження його на склад. Якщо врахувати оперативність оформлення документів і рішення митних питань, а також збільшення швидкості навантажувально-розвантажувальних робіт, це дає можливість уникнути штрафів і санкцій за простій транспортних засобів. Таким чином, від проблеми дефіциту транспорту, повернемося до питання організації крос-докінга [5].

При розробці наскрізного складування важливо в першу чергу оцінити наявні технічні можливості, також необхідно проводити аналіз вантажопотоків.

Необхідні елементи (рис.2) для створення проєту «кросс-докінг»:

1. Оскільки при наскрізному складуванні робота найбільш ведеться поблизу приймальної і відвантажувальної естакад, то необхідно передбачити достатню кількість воріт і навантажувально-розвантажувальної техніки, а також забезпечити швидке і вільне транспортування вантажу.
2. Щоб на складі дотримувалася інтенсивний графік вивантаження-навантаження, який неминучий при наскрізному складування, диспетчер на стояночній площадці повинен слідкувати, щоб автомобілі/вагони/контейнери направлялись до потрібних воріт в потрібний час. А також координувати рух прибуваючих транспортних засобів, щоб уникнути витрат.
3. Крос-докінг вимагає преміщення великих об'ємів вантажів за мінімальний час. Використання конвеєрів, які встановлюються в полу прицепів, в поєднанні з вантажно-

розвантажувальними конвеєрами самого складу може значно прискорити транспортування піддонів з вантажем і збільшити пропускну здатність ділянки.

4. Кваліфікований персонал і своєчасна інтегрована інформаційна система [6,7].

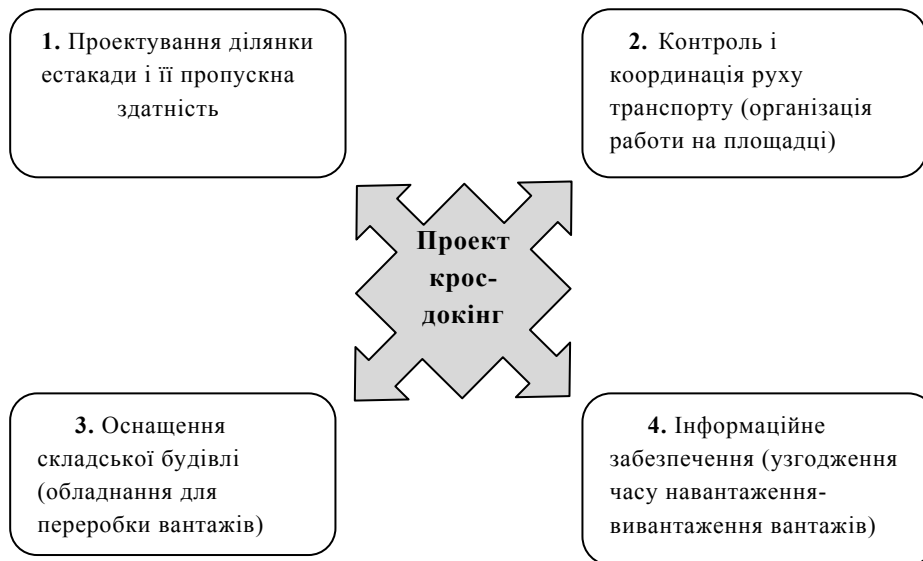


Рис.2. Елементи проекту «кросс-докінг»

Висновок: Можна сказати, що система наскрізного складування – це прогресивний, ефективний і логічно правильний спосіб організації процесу руху вантажів. При впровадженні даної системи потрібно звернути увагу на вищевказані фактори, які необхідно враховувати. В протилежному випадку, кросс-докінг може призвести до порушення умов і строку транспортування, накопичення великої кількості «термінового» вантажу на складі, збитки і не виконання зобов'язань перед клієнтом. Необхідно врахувати, що кросс-докінг не панацея і в окремих випадках відмова від цієї операції дозволить скоротити кількість ланок ланцюга поставок, тому важливо уважно аналізувати ефективність логістичної схеми, яка використовується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. Стратегическое управление логистикой: Пер.с 4-го англ.изд. М.: ИНФРА-М, 2005, XXXII, 797 с.
2. Дыбская В. В. Место складов и особенности их функционирования в схемах логистического обслуживания. – М: РИСК, № 2–3, 1998, с.83.
3. Бауэрсокс Д., Клосс Д. Логистика: интегрированная цепь поставок / Пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2001. – 640 с.
4. Rosentein T., Kranke A., Ernst E. E. Кросс-докинг–логистика снабжения. – М: ВИНТИ. Транспорт. Прикладная логистика.– 2007. – С. 53–57.
5. Фетисова Татьяна, Бабаев Артем. Технологическая эффективность кросс-докинга.– М.: ВИНТИ. Транспорт. Складские технологии. – 2008, № 5. – С. 24–29.
6. <http://www.logistic.ru/>
7. <http://www.logist.ru/>

УДК 656.2

Оксана Родкевич

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦІНКИ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

У статті розглянуті питання визначення статистичних характеристик для оцінки та вдосконалення системи перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом.

В статье рассмотрены вопросы определения статистических характеристик для оценки и усовершенствования системы перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом.

The article deals with the determination of statistical characteristics for the evaluation and improvement of the system of dangerous goods transportation by rail.

Ключові слова: небезпечний вантаж, викид, частота настання транспортної події, вантажообіг, витікання.

Згідно зі звітними статистичними даними, обсяг перевезення вантажів залізничним транспортом в 2010 році склав 433,8 млн тонн. Скільки з них складають небезпечні вантажі – непросте питання, тому що окремої групи обліку для них у звітності немає, і такі вантажі доводиться відокремлювати з інших груп. Зокрема, з них небезпечних вантажів (НВ), що належать до 2 та 3 класу (гази та легкозаймисті рідини відповідно), а також інших класів, що належать до груп обліку «хімікати», «нафта і нафтопродукти», «хімічні та мінеральні добрива», було перевезено близько 162,3 млн тонн (37,4% від загального обсягу перевезення). Як було зазначено, виділення цих НВ із загальної звітності є достатньо складною в технічному плані завданням, тому що різні НВ належать до різних груп обліку, а окремого обліку за видами вантажів не ведеться.

Аналіз обсягів, номенклатури та умов перевезення НВ, свідчить, що вони перевозяться у різних типах вагонів. Щодо вантажів, які перевозяться в цистернах, то «левову частку» їх складають нафта та бензин, це 4,8% від загального обсягу. Нафта – це досить масовий вантаж, але хоч і належать до НВ, за своїми властивостями (рідини з характерним запахом, помірно киплячі або висококиплячі, нерозчинні у воді, накопичуються в низьких ділянках поверхні, підвалах, тунелях) вона є відносно «інертним» вантажем. Відповідно, наслідки

© Родкевич О. Г., 2012

транспортних подій з нею порівняно легко локалізуються. Бензин (рухлива, горюча здебільшого безколірна рідина з характерним запахом, легко випаровується, утворює з повітрям у певних концентраціях вибухові суміші) – це менш «масовий» вантаж, але наслідки від надзвичайних подій за його участю є більш серйозними. Наслідки вибуху бензинових парів руйнівні, пожежу складніше локалізувати, особливо в літній засушливий період часу. Проте, саме з цих причин, практично всюди знаходяться засоби ліквідації надзвичайних подій за участю бензину. Разом з тим такі НВ, що перевозять у цистернах, як пропан, бутан, аміак не є «масовими» вантажами, вони усі разом складають всього 0,5% від загального обсягу перевезень. Ці вантажі мають свої специфічні властивості – це безбарвні, з характерним запахом, нерозчинні у воді речовини, перевозяться в зрідженому або стисненому стані, горючі, легко займаються від іскор і полум'я, з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші, балони можуть вибухати при нагріванні. Тому можуть завдати значно більшої шкоди, ніж усі більш «масові» НВ разом узяті (бензин та нафта). Крім того, для локалізації наслідків подій за участю пропану, бутану і подібних вантажів потрібні набагато більш професійні, оперативні дії, узгоджені з газорятівною, пожежною та іншими службами.

Аналіз звітності про транспортні події з НВ за останні 5 років виявив їх основний вид – витікання вантажу (63 – 77%). Витікання трапляється в основному через технічну несправність цистерн (нижній зливний прилад або тріщина зварного шва). Це пояснюється тим, що більшість цистерн, з якими це траплялось, належало до парку залізниць, який багато років істотно не оновлювався, а отже, із значним терміном експлуатації. Щодо цистерн, які є власністю вантажовласників, то залізниця не має можливості контролювати технічний стан такого рухомого складу. Як наслідок, неналежний технічний стан вагонів призводить до надзвичайних подій. Випадки витікання вантажів, через їх поширеність, масовість, порівняно з іншими подіями, слід розглядати окремо.

Подальший аналіз транспортних подій показує, що до них належать (у порядку зменшення кількості подій: самозагоряння (залишків сірки, інших вантажів у вагонах), випаровування, розсипання (яке може трапитись не тільки з НВ), а також ті ж події, які можуть трапитись з будь-якими вантажами, а саме порушення, інциденти, серйозні інциденти, аварії і, нарешті, катастрофи. Тільки у випадку НВ ці події можуть мати значно більш тяжкі наслідки.

Враховуючи специфіку перевізного процесу залізничного транспорту, було б правильно частоту настання транспортних подій (ТП) з НВ співвідносити не просто з часом, що є значною мірою абстрактним підходом, а з виконаною транспортною роботою. Тому є логічним розглядати кількість та характер транспортних подій у співставленні їх з певними статистичними характеристиками цієї роботи. Наприклад, з виконаними експлуатаційними тонно-кілометрами бруutto перевізної роботи поїзних локомотивів ($\sum Q_{\text{бр}} L$), експлуатаційною довжиною мережі залізниць $\sum L_{\text{екс}}$, похідною від них величиною вантажонапруженості $q_{\text{бр}}^n l_{\text{км}} = \sum Q_{\text{бр}} L / \sum L_{\text{екс}}$, масою поїзда бруutto $q_{\text{бр}}^n$ та деякими іншими даними, які є в галузевій статистичній звітності Укрзалізниці [1].

Для використання статистичних даних для практичних оцінок, необхідних для кількісної характеристики системи перевезень НВ, зведемо ці статистичні дані в табличну форму (табл. 1).

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Таблиця 1. Деякі показники експлуатаційної роботи в 2010 році по залізницях України

Показники по залізницях	Донецька	Придніпровська	Південна	Південно-Західна	Одеська	Львівська	Україні
$\sum Q_{бр} L$, млн. тонно- км брутто	59964,41	72734,84	33136,26	67020,66	87121,35	31890,46	351867,97
$\sum L_{екс}$, км	2812,5	3188,9	2812,8	4371,0	4001,8	4491,5	21678,5
$\sum L_{екс}^{\geq 2 кол}$, км	1298,7	996,2	1176,4	1733,4	1277,5	763,7	7245,9
$\sum L_{екс}^{ел}$, км	1281,8	1881,3	1338,6	2095,0	1734,9	1424,2	9755,8
$q_{бр}^n l_{км}$, млн. тонно-км брутто/км	21,3207	22,8088	11,7805	15,5248	21,7705	7,1002	16,2312
$q_{бр}^n$, тонн брутто	3303	3668	3475	3558	3415	2971	3430

Примітка. де $\sum L_{екс}^{\geq 2 кол}$ – експлуатаційна довжина мережі залізниць з 2-ма та більше головними коліями,

$\sum L_{екс}^{ел}$ – експлуатаційна довжина мережі залізниць електрифікованих ліній.

Аналізуючи дані табл. 1, можна зробити висновок, що найбільший вантажообіг на Одеській залізниці; на другому місці Придніпровська залізниця, а найменший – на Південній залізниці. Це пов'язане відповідно з масовими транзитними потоками в напрямку чорноморських портів та відповідними обсягами вантажної роботи на залізницях.

Якби на залізничному транспорті України існувала відрита інформація з обліку ТП з НВ та їх наслідків, тоді можна було б цілеспрямовано аналізувати та вдосконалювати систему перевезень цих вантажів, використовуючи для цього відповідні кореляційні залежності. Такі системи в світі існують і використовуються на благо як перевізників, так і вантажовласників в інтересах населення країни.

Зокрема, як приклад постійного моніторингу ТП з НВ можна навести офіційний сайт північноамериканської Програми скорочення випадків викидів небезпечних матеріалів (NAR) на сайті <http://nar.aar.com>. Призначенням Програми є облік даних про такі випадки, що відбуваються на залізницях США та Канади, не приводячи до ТП, підтримання комп'ютерної бази даних щодо таких інцидентів та сприяння тому, щоб промисловість звертала увагу на випадки витоків. Таким чином, цю програму можна визначити як профілактичну, причому дуже ефективну, про що свідчать дані рис. 1., на якому зображена динаміка зменшення кількості NAR на залізницях США та Канади [2].

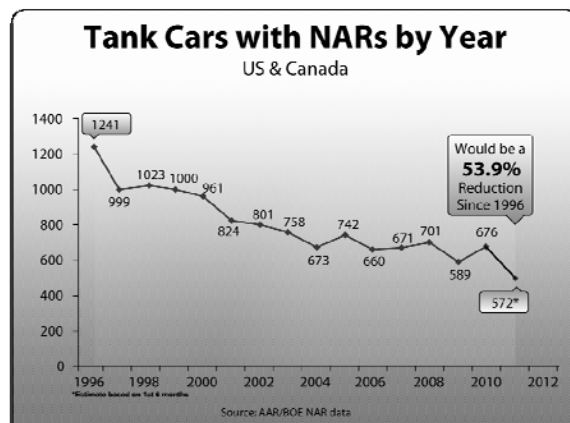


Рис. 1. Динаміка зменшення кількості NAR на залізницях США та Канади

В цій програмі під викидом небезпечних матеріалів (НМ), що не призвів до транспортних подій, мають на увазі ненавмисний вихід НМ при транспортуванні включно з навантаженням та розвантаженням, що не призвів до ТП. Сюди не включають випадки витікання, розплескування або інші виходи, випуски НМ із неналежним чином закритих або пошкоджених клапанів, фітінгів і котлів цистерн, до яких також належать випуск неатмосферних газів через запобіжні пристрої. Переважна більшість подій, про які є повідомлення, стосуються невеликих кількостей речовин.

Вся інформація, що стосується таких інцидентів, що була внесена до цієї програми, отримується суворо конфіденційно Асоціацією американських залізниць (AAR) і не розповсюджується нікому іншому без згоди учасника Програми. Будь-яка статистика, що видається AAR щодо інцидентів, що відбуваються, включає тільки узагальнені цифри і ніяк не виділяє конкретних вантажовідправників чи перевізників, яких вона стосується.

При цьому підсумкові дані є доступними для того, щоб учасники Програми були в змозі відстежити свій індивідуальний прогрес в зменшенні таких випадків.

З рис. 2 видно, що питома інтенсивність випадків (1) або ж кількість млрд т·км в розрахунку на 1 випадок, що трапився, з часу впровадження Програми (2000 р.) до 2004 р. включно зменшувались набагато швидше ніж абсолютна кількість (2); а в подальшому (1) залишається стабільною – при тому, що вантажообіг зростає.

На скриншоті, що наведений на рис. 3, показані ще більш цікаві можливості програми.

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

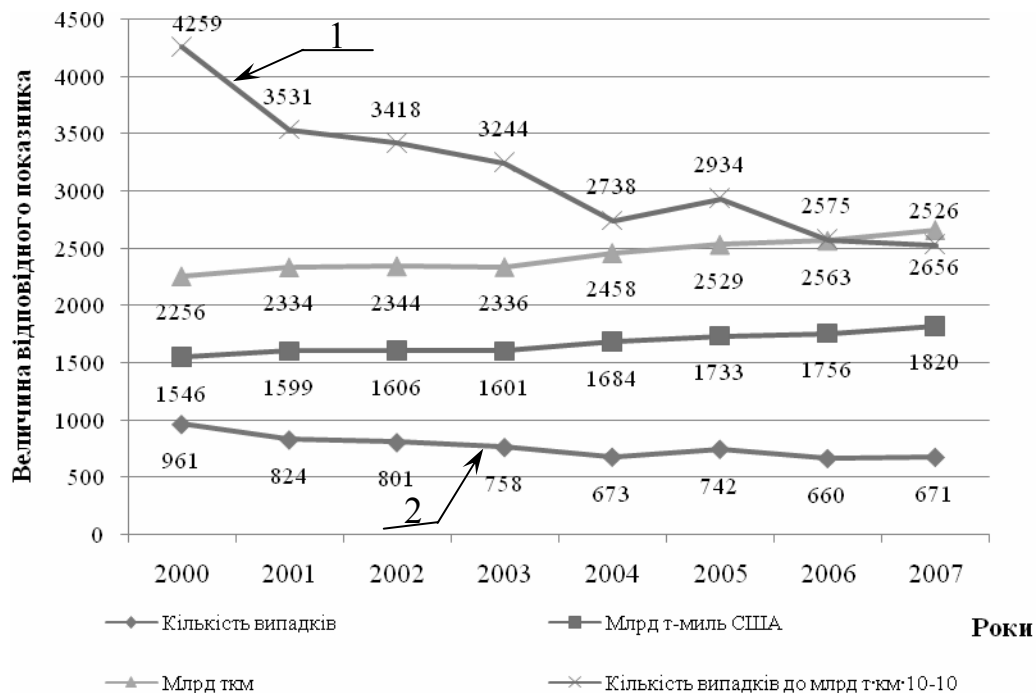


Рис. 2. Динаміка випадків та обсягів вантажних перевезень залізниць США та Канади

NAR Reduction Program

Overview

The AAR's North American Non-Accident Release (NAR) Reduction Program is designed to capture U.S. and Canadian data on non-accident releases, maintain a computerized data base of these incidents, and encourage industry to address the causes of the releases.

A hazardous materials non-accident release (NAR) is the unintentional release of a hazardous material while in transportation, including loading and unloading, not involving an accident. NARs consist of leaks, splashes, and other releases from improperly secured or defective valves, fittings, and tank shells, and also include venting of non-atmospheric gases from safety relief devices. [Effective January 1997, normal safety venting of atmospheric gases such as carbon dioxide and nitrogen is no longer considered a NAR.] The vast majority of reported NARs involve small quantities.

All information concerning the incidents reported in this program is held strictly confidential by the AAR and will not be released to anyone without your consent. Any statistics released by AAR with respect to incidents occurring over time will be aggregate numbers, and will not identify the individual shippers or carriers involved. Summary data is available to enable you to track your individual progress in reducing NARs.

The AAR looks forward to continuing progress in this cooperative, inter-industry program to address a problem of mutual concern. If you have any questions about the program, the next meeting, or for more information about how your company can get involved with the program, please email nar@aar.com or call 719-564-0749.

[Download No NAR Logs](#)

NAR Cost Calculator

Complete fields and click calculate, print, or reset

Estimated Annual NAR Cost	
Number of NARs with Complete Release	× \$750,000 (Overseas Cost) = \$0
Number of NARs with Partial Release	× \$4,100 (Avg Penalty, 1000) = \$0
Number of NARs with Partial Release (Cost)	× \$1,000 (Avg 1000 L Cost) = \$0
Number of NARs with Accidental Change for DOT Violations	× \$1,000 (Avg Accidental) = \$0
Number of NARs with Accidental Change for DOT Violations	× \$1,000 (Avg Accidental) = \$0
Total Cost of Hazardous Shipping Penalties: \$0	

(Assessment change rate to \$0)

Impact of NARs On Profits and Sales	
Annual Sales Volume	\$0
Profit Margin (Percent)	0%
Annual Profits	\$0
Sales Volume × Profit Margin	\$0
NAR/DOT Violation Costs	\$0
NAR/DOT Violation Costs as % of Profits	0%
Amount of Additional Sales Required to Replace Lost Profits	\$0

Reset Calculate Print

Рис. 3. Форма розрахунку грошової оцінки впливу кількості NAR на прибутки та продажі компаній

Наприклад, будь-який користувач може самостійно ввести:

- кількість випадків викидів без аварій (ВБА) з повним виходом речовини (вартість очищення чи ліквідації наслідків оцінюється в 750 тис. доларів США);
- кількість порушень Федеральних правил перевезень, що потягли за собою штраф (середня величина штрафу у 2009 р. склала 8100 доларів США);
- а також кількість інших випадків, менш значимих, з вказанням їх грошового виміру (від 500 до 5000 доларів США).

Трохи нижче за допомогою простої форми, що показана на скриншоті на рис.3, можна отримати грошову оцінку впливу кількості цих випадків на прибутки та продажі компаній.

Не можна сказати, що умови перевезення НВ і ТП з ними не є предметом уваги відповідних служб та підрозділів УЗ. Відповідні відділи, підрозділи та фахівці працюють на всіх рівнях залізничного транспорту, але як вхідна так і вихідна інформація з цього приводу не є публічною.

Тому доводиться користуватися наявними джерелами інформації наприклад інтернет-сайтами <http://donetskrail.at.ua>, <http://www.trainsim.ru>, <http://www.railsystem.info>, на яких можна знайти хоч якісь повідомлення про ТП з НВ. Отримана з них інформація про кількість та характер ТП з НВ очевидно є неповною. Отже, її не можна вважати достовірною для визначення відповідних статистичних характеристик.

Разом з тим для Євросоюзу нормою є відкрита інформація про статистичні дані, структуру та характеристики різних видів економічної діяльності країн Євросоюзу. Наприклад, на сайті Євростату [3] можна знайти інформацію по залізницях всіх країн про всі обсяги роботи, витрати та продуктивність, кількість ТП з НВ та ін. За допомогою інформації, що збирається в такому форматі можна встановити залежності кількості та характеру ТП з НВ залежно від вантажообігу та вантажонапруженості на залізницях. Наприклад, за формулою (1) можна розрахувати середню кількість вантажних поїздів, що проходять по головних коліях кожної залізниці в обох напрямках $N_{добр}^n$ визначається за даними табл. 1 як

$$N_{добр}^n = \frac{\sum Q_{бр} L}{q_{бр}^n \sum L_{екс}}, \quad (1)$$

умовні позначення в якій наведені вище.

Враховуючи те, що перевезення вантажів здійснюються передусім по головних ходах, якими є електрифіковані, двоколіїні (або з більшою кількістю головних колій) лінії, можна ввести коефіцієнт «згущення» перевезень $K_{згц}^{пер}$ на головних ходах, який відображує переведення більшої частини поїздопотоку саме на такі лінії. Цей коефіцієнт можна визначити як:

$$K_{згц}^{пер} = \frac{1}{(1 - \frac{\sum L_{екс}^{ел}}{\sum L_{екс}})(1 - \frac{\sum L_{екс}^{\geq 2кол}}{\sum L_{екс}})}. \quad (2)$$

Розрахункова максимальна кількість вантажних поїздів, що проходить по головних коліях щодоби дорівнює:

$$\max N_{дод}^n = K_{зщ}^{пер} N_{дод}^n. \quad (3)$$

Після введення таких розрахункових оцінок інтенсивності перевезень вантажів слід застосовувати середньозважені статистичні дані щодо ТП з НВ в перерахунку на ці максимальні розрахункові розміри руху вантажних поїздів. Ці результати можуть бути вихідними статистичними характеристиками для оцінки ризиків ТП з НВ в системі перевезень цих вантажів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довідник основних показників роботи залізниць України (1999-2009 роки) [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2010. – 42 с.
2. Non-accident release reduction program. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nar.aar.com>.
3. Statistics explained. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Main_Page

УДК 657.25.

Олена Сорочинська

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

В статті коротко розглянуто систему управління охороною праці на рівні підприємства, а також її вдосконалення на підставі розробки та втілення організаційних нововведень. Здійснено оцінку системи стимулювання охорони праці на підприємстві. Досліджено економічні та соціальні аспекти поліпшення умов та охорони праці.

В статье кратко рассмотрена система управления охраной труда на уровне предприятия, а также ее совершенствования, на основании разработки и воплощения организационных нововведений. Осуществлена оценка системы стимулирования охраны труда на предприятии. Исследованы экономические и социальные аспекты улучшения условий и охраны труда.

In the article control system by a guard labour is shortly considered at the level of enterprise, and also its perfection, on the basis of development and embodiment of organizational innovations. The estimation of the system of stimulation of labour protection is carried out on an enterprise. Investigational economic and social aspects of improvement of terms and labour protection.

Ключові слова: система управління охороною праці, охорона праці, завдання управління охороною праці, вдосконалення системи управління.

Вивчення й вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких відбувається праця людини – одне з найважливіших завдань у розробці нових технологій і систем виробництва. Дослідження й виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробка заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні й сприятливі умови для праці людини. Комфортні й безпечні умови праці – один з основних факторів, який впливає на продуктивність і безпеку праці, здоров'я працівників.

© Сорочинська О.Л., 2012

Державне, регіональне і галузеве управління охороною праці, численні наглядові і контрольні інспекції не забезпечать безпечне ведення робіт, якщо це не стане головним повсякденним завданням і моральним обов'язком для усіх без винятку – роботодавців, керівників, інженерно-технічних працівників, кожного працюючого. Для вирішення всіх проблем у сфері охорони праці потрібний системний підхід створення ефективної системи управління охороною праці (СУОП) на кожному підприємстві, установі, організації незалежно від форми власності і розмірів [1, с. 142].

Останніми роками охорона праці перебуває на етапі кардинальних перетворень. Багато підприємств проявляють зацікавленість щодо використання моделі управління охороною праці, що передбачає взаємну соціальну й економічну відповідальність бізнесу і працівників у процесі забезпечення безпечних умов праці з метою підвищення ролі соціального партнерства в створенні здорового психологічного клімату на підприємстві та максимізації добробуту як окремого працівника, так й організації в цілому.

Серед категорій, за допомогою яких прийнято характеризувати підприємство, звичайно виділяють економічні й технологічні показники. Однак, вони займають провідне положення лише в тому разі, якщо дотримано основну умову діяльності підприємства як суб'єкта господарювання – забезпечується безпека виробничих процесів і трудової діяльності індивіда.

Незадовільний стан охорони праці на підприємстві призводить до гальмування економічного та соціального прогресу країни в цілому. За підрахунками експертів Міжнародної організації праці збитки унаслідок нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань складають 4 % від світового валового внутрішнього продукту (ВВП). Таким чином, вдосконалення системи охорони праці є одним з актуальних питань на рівні як держави, так і окремого підприємства, компанії.

Управління охороною праці на підприємстві – це сукупність дій службових осіб, що здійснюються на підставі постійного аналізу інформації про стан охорони праці на всіх робочих місцях для поліпшення та підтримання його на певному рівні відповідно до законодавчих та нормативних актів [2, с. 108].

Метою управління охороною праці (УОП) – є всебічне сприяння виконанню вимог, які повністю ліквідують, нейтралізують або знижують до допустимих норм вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, забезпечують усунення джерел небезпеки, ізолювання від них персоналу, використання засобів, що усувають небезпечні ситуації та підвищують технічну безпеку, створюють надійні санітарно - гігієнічні та ергономічні умови. УОП передбачає встановлення конкретних кількісних показників діяльності виробничих підрозділів, підтримування котрих в заданих межах забезпечує досягнення основної мети щодо організації безпечних та нешкідливих умов праці [3, с. 20].

Нормативною базою УОП є Конституція України, Закон про охорону праці, Кодекс законів про працю, закони Верховної Ради, постанови КМУ, Укази Президента, Національна програма поліпшення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, Закон про охорону здоров'я, Закон про пожежну безпеку, Система стандартів безпеки праці, правила, норми, інструкції та інші нормативно-правові акти про охорону праці, постанови і накази органів державного управління і нагляду.

На рис. 1 подано загальну схему управління охороною праці в масштабах одного підприємства з функціями й завданнями в справі охорони праці [4, с. 110].

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

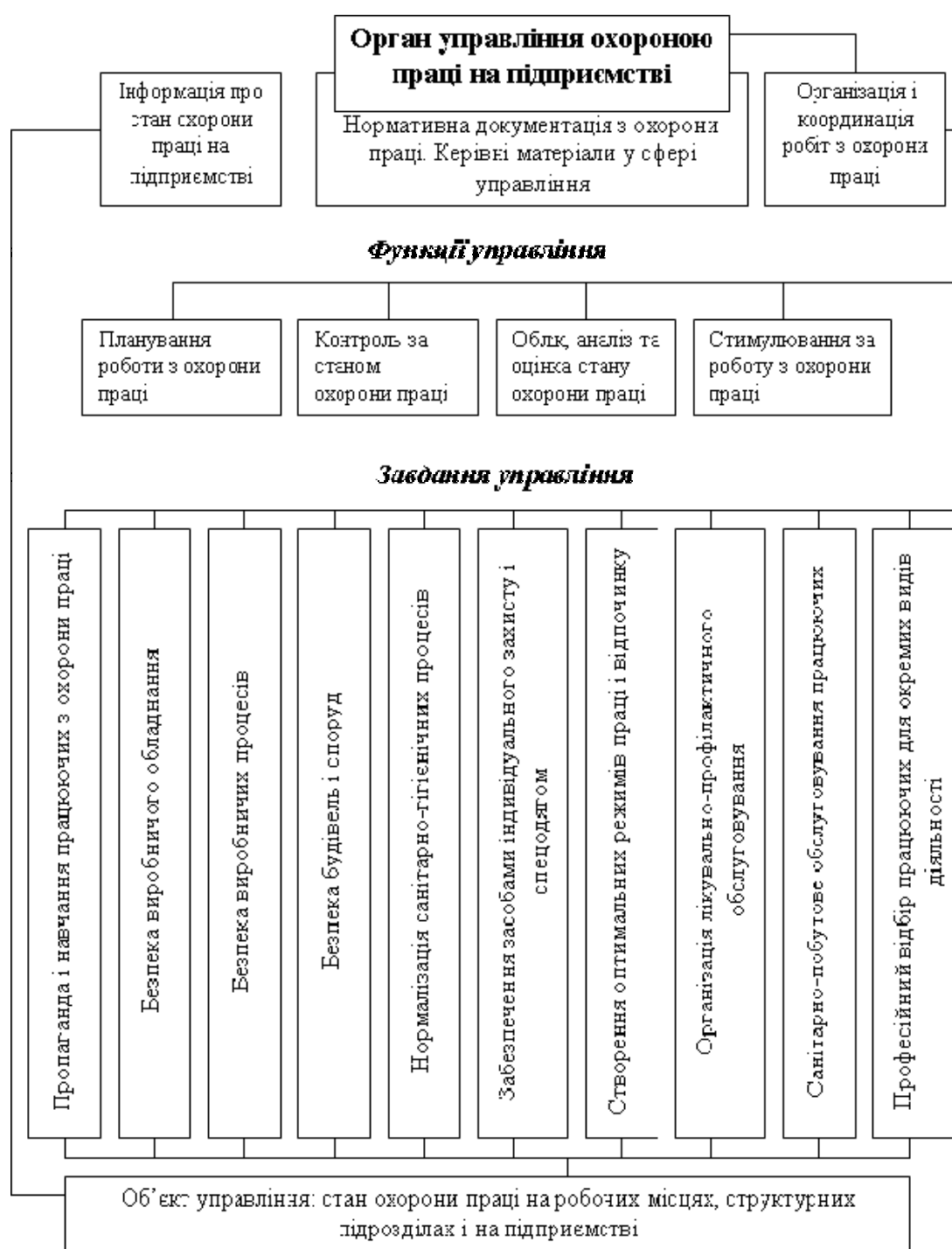


Рис. 1. Схема управління охороною праці на підприємстві

Основні цілі та завдання управління охороною праці:
запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням, аваріям і пожежам, усунення неприпустимих ризиків;
дотримання вимог законодавства і нормативно-правових актів з охорони праці, колективних договорів;
забезпечення ставлення всіх працівників підприємства до безпеки праці як до головних обов'язків;
забезпечення участі працівників підприємства у плануванні, організації мотивації, контролі й оцінці ефективності заходів з охорони праці.

Стимулювання охорони праці – неодмінна умова попередження виробничого травматизму та профілактики профзахворювань. На державному рівні стимулювання охорони праці регулюється законодавчими актами і передусім Законом про охорону праці, у якому цьому питанню присвячено IV розділ, та Законом України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» [5]. Ці закони визначають, що під час розрахунку розміру страхового внеску для кожного підприємства за умови досягнення належного стану охорони праці, зниження рівня або відсутності травматизму і професійної захворюваності внаслідок здійснення роботодавцем відповідних профілактичних заходів може бути встановлено знижку. За високий рівень травматизму і професійної захворюваності та неналежний стан охорони праці встановлюється надбавка до розміру страхового внеску. Економічний механізм управління охороною праці повинен передбачати систему заохочень для тих працівників, які сумлінно дотримуються вимог охорони праці, не допускають порушень правил та норм особистої та колективної безпеки, беруть активну творчу участь у вжитті заходів щодо підвищення рівня охорони праці на підприємстві. Колективний договір (угода) повинен закріплювати різного роду моральні і матеріальні заохочення таких працівників: оплата праці, премії (у тому числі спеціальні заохочувальні премії за досягнення високого рівня охорони праці), винагороди за винахідництво та раціоналізаторські пропозиції з питань охорони праці. Велику користь дає преміювання робітників бригад, дільниць, цехів за тривалу роботу без порушень правил охорони праці, без травм і аварій. У разі наявності небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що постійно загрожують здоров'ю працівника, йому рекомендується виплачувати надбавку за підвищену обережність. Крім матеріального заохочення, велике значення має також і моральне стимулювання, яке свого часу використовувалось в нашій країні і яке успішно використовують закордонні фірми. Форми морального стимулювання можуть бути найрізноманітнішими: від оголошення подяки до організації вечорів відпочинку, пікніків, круїзів для колективів, що досягли найкращих результатів з охорони праці. Узагальнена схема методів стимулювання охорони праці на підприємстві представлена на рис. 2 [6, с. 97-101].

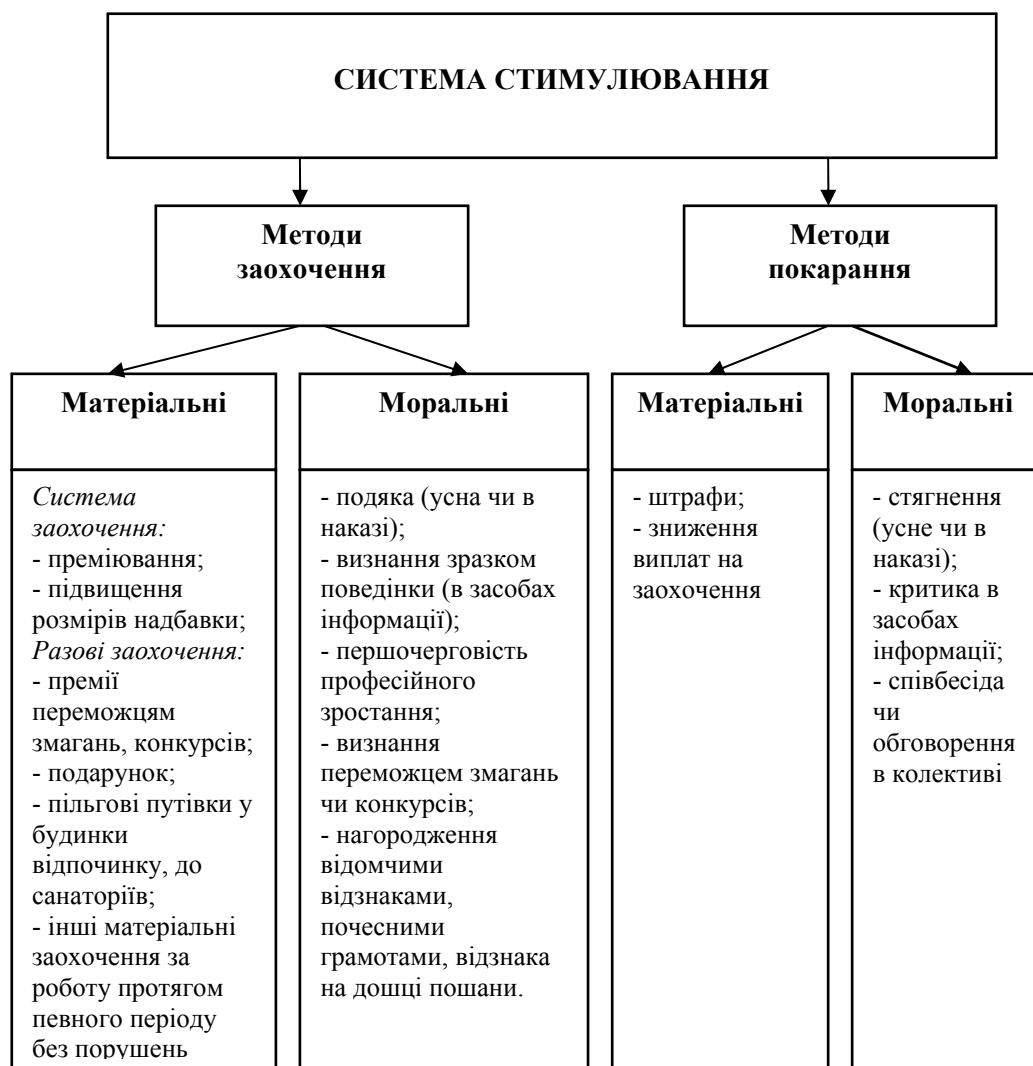


Рис. 2. Методи стимулювання дотримання нормативних вимог охорони праці на підприємстві

Розглядаючи охорону праці в умовах ринкової економіки особливу увагу необхідно звернути на економічні аспекти охорони праці. Вжиття заходів з поліпшення умов і охорони праці чинить стимулюючий вплив як на економічні, так і на соціальні результати виробництва.

До позитивних економічних результатів впливу умов праці на людину належать підвищення продуктивності праці, раціональне використання основних виробничих фондів. Сприятливі умови забезпечують піднесення продуктивності праці за рахунок як інтенсивних змін (скорочення витрат робочого часу на виробництво одиниці продукції), так і екстенсивних (збільшення ефективності використання робочого часу

завдяки зниженню цілоденних втрат за тимчасовою непрацездатністю та виробничим травматизмом).

Слід зазначити, що позитивні економічні результати тісно пов'язані як з особистими факторами (дієздатність, працездатність), так і з соціальними наслідками. Зростання продуктивності праці пов'язане зі скороченням цілоденних витрат робочого часу, зумовлених тимчасовою непрацездатністю, підвищенням використання робочого часу і продовженням періоду активної трудової діяльності.

Несприятливі умови призводять до зворотних результатів: різних форм та ступенів втомлюваності працівників, функціонального напруження організму. До негативних економічних результатів належать недоодержання додаткового продукту, затримка з уведенням нових фондів, непродуктивне споживання робочої сили, зниження продуктивності праці.

Крім того, слід звернути увагу на соціальні результати впливу умов праці на працівників. До позитивних соціальних результатів належать: ступінь сприятливого впливу трудового процесу на здоров'я людини та розвиток її особистості, стан здоров'я, ставлення до праці, соціальна активність; максимальне задоволення однією з найвагоміших потреб людини – потребою в сприятливих умовах праці і безпосередньо пов'язаною з цим потребою у змістовній, творчій, високопродуктивній праці; зміцнення здоров'я.

Негативний соціальний результат включає зниження творчої активності, заінтересованості в праці, погіршення трудової дисципліни, зростання плинності кадрів унаслідок несприятливих умов праці [4, с. 162-163].

Для оцінки результатів проведення заходів щодо поліпшення умов та охорони праці згідно з методиками, розробленими ВЦНДІОП ВЦРПС [6] та ННДІОП України [7] запропоновані чотири групи показників:

- зміна стану умов і охорони праці;
- соціальні;
- соціально-економічні;
- економічні.

Зміна стану умов і охорони праці характеризується підвищенням рівня безпеки праці, поліпшенням санітарно-гігієнічних, психофізіологічних, естетичних показників.

Поліпшення санітарно-гігієнічних показників характеризується зменшенням вмісту шкідливих речовин у повітрі, поліпшенням мікроклімату, зниженням рівня шуму й вібрації, посиленням освітленості.

Зростання психофізіологічних показників визначається скороченням фізичних і нервово-психічних навантажень, у тому числі монотонності праці.

Поліпшення естетичних показників характеризується раціональним компонуванням робочих місць та машин, упорядкування приміщень і території, поєднанням кольорових відтінків тощо.

Зміни стану виробничого середовища за факторами оцінюються різницею абсолютних величин до і після впровадження заходів, а також порівнянням відносних показників, що характеризують ступінь відповідності тих чи інших факторів гранично допустимим концентраціям, гранично допустимим рівням або заданим рівням. Комплексна оцінка зміни стану умов праці здійснюється за показниками приросту кількості робочих місць, на яких умови праці приведені у відповідність до нормативних вимог.

Соціальні результати заходів щодо поліпшення умов та охорони праці визначаються такими показниками:

- збільшенням кількості робочих місць, які відповідають нормативним вимогам, й скороченням чисельності працюючих у незадовільних умовах праці;
- зниженням рівня виробничого травматизму;
- зменшенням кількості випадків професійної захворюваності, пов'язаною з незадовільними умовами праці;
- скороченням кількості випадків інвалідності внаслідок травматизму чи професійної захворюваності;
- зменшенням плинності кадрів через незадовільні умови праці.

Для оцінки соціальних результатів можуть використовуватися також інші показники – ступені задоволення працею та її престижності тощо. Показники соціальної і соціально-економічної ефективності розраховуються як відношення величини соціальних або соціально-економічних результатів до витрат, необхідних для їх здійснення.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов та охорони праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків унаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань як в економіці в цілому, так і на кожному підприємстві [8, с. 54-61].

Питання з охорони праці є одним з найважливіших на сучасному етапі життя нашого суспільства, у період коли роботодавці ставлять для себе основним завданням як найшвидше й з мінімальним вкладенням засобів отримати найбільший прибуток, мало уваги приділяється, а часом і взагалі ігноруються вимоги безпеки праці.

Охорона праці – це багатогранне поняття, під ним слід розуміти не тільки забезпечення безпеки працівників під час виконання ними службових обов'язків, насправді воно охоплює різні заходи. Наприклад, профілактика професійних захворювань, організація повноцінного відпочинку й харчування працівників під час робочих перерв, забезпечення їх необхідним спецодягом і гігієнічними засобами й навіть виконання соціальних пільг і гарантій. Правильний підхід до організації охорони праці на підприємстві, грамотне використання різних нематеріальних способів стимулювання працівників дають останнім необхідне почуття надійності, стабільності й зацікавленості керівництва у своїх співробітниках. Таким чином, завдяки налагодженій охороні праці знижується також плинність кадрів, що в свою чергу благотворно впливає на стабільність усього підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гогіташвілі Г.Г. Системи управління охороною праці: Навчальний посібник. – Львів: «Афіша», 2002. – 320 с.
2. Москальова В.М. Основи охорони праці: Підручник. – Київ: ВД «Професіонал», 2005. – 672 с.
3. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: «Ніка-Центр», 2003. – 280 с.
4. Керб Л.П. Основи охорони праці: Навч. посібник. – Вид. 2-ге, без змін. – К.: КНЕУ, 2006. – 216 с.
5. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності та витратами, зумовленими похованням» від 18 січня 2001р. №2240–ІІІ // Офіційний вісник України. – 2001. – №8. – Ст. 310.
6. Методические рекомендации по комплексной оценке социально-экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охраны труда. – М.: ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1985.
7. Методика визначення соціально-економічної ефективності заходів щодо поліпшення умов і охорони праці. – К., 1999.
8. Охорона праці: Навч. посібник / За ред. В. Кучерявого. – Львів: Оріяна-Нова, 2007. – 368 с.

УДК 656.22

Євген Тимошенко

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Проаналізовано стан залізничних перевезень в Україні та запропоновано шляхи удосконалення технології організації вагонопотоків. Проведено огляд методів моделювання процесу перевезень та обґрунтовано використання математичного апарату мереж Петрі для розв'язання логістичних транспортних завдань.

Проанализировано состояние железнодорожных перевозок в Украине и предложены пути усовершенствования технологии организации вагонопотоков. Проведен обзор методов моделирования процесса перевозок и обосновано использование математического аппарата сетей Петри для решения логистических транспортных задач.

The condition of rail transportation in Ukraine is analyzed and ways improvement of technology the organization traffic volumes are offered. The review of modeling methods the transportations' process is lead and use the mathematical formalism of Petri nets to solve the transport's logistical problems.

Ключові слова: транспортний коридор, вагонопотік, перевізний процес, моделювання, мережа Петрі.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Успішність функціонування залізничної транспортної системи великою мірою залежить від якості управління різноманітними за характером свої діяльності її підрозділами. Мережа залізниць України повинна ефективно забезпечувати пропуск потоків вантажів та пасажирів, як між регіонами в межах країни, так і між сусідськими державами своєю територією, використовуючи для цього всі можливості транспортних коридорів (ТК).

Рішення такої транспортної задачі можливе двома шляхами: напрямком розвитку залізничної мережі або через підвищення ефективності використання вже існуючої. Побудова нових ліній край витратна справа, що потребує тривалого часу. Тому, вочевидь, вигідніше застосування другого варіанту, у рамках реалізації якого можна виділити такі завдання: дослідження властивостей потоків поїздів та функціонування транспортної мережі; визначення перевізних можливостей мережі; оптимізація руху поїздів на розгалуженій залізничній мережі.

Зв'язок теми із важливими науковими та практичними завданнями. Розробка засобу моделювання перевізного процесу та дослідження транспортних потоків залізничної системи України є актуальним для

© Тимошенко Є.В., 2012

розвитку галузі науковим та практичним завданням. Важливість цієї теми підкреслюється її зв'язком із прийнятими Міністерством інфраструктури комплексними програмами утвердження України, як транзитної держави та приєднання її до конвенції про міжнародні залізничні перевезення [1, 2]. Вирішення питань, що порушуються в статті, спрямовані на сприяння виконанню комплексних цільових програм по реструктуризації залізничного транспорту України, підвищенню безпеки руху та створенню національної мережі ТК України [2, 3].

Сучасний стан залізних перевезень в Україні. Українська залізнична транспортна система, за своїми розмірами, щільністю залізниць, обсягом перевізної роботи посідає одне з чільних місць з посеред провідних європейських країн (табл. 1).

У порівнянні статистичних даних двадцяти чотирьох країн Європи, що подають інформацію про свою діяльність [4], обсяги перевезень вантажів на залізницях України вже на двотисячний рік дорівнювали кількості перевезень у Білорусії, Молдові, Румунії, Словаччині та Угорщині узятих разом.

Таблиця 1. Основні характеристики залізниць провідних держав Європи

Показник	Іспанія	Німеччина	Польща	Україна	Франція
Площа, тис. км ²	564,70	357,00	312,70	603,70	547,70
Довжина мережі, тис. км	12,30	40,80	23,40	22,08	31,90
Щільність мережі за площею, км/1000км ²	21,80	114,30	74,80	36,60	58,30
Вантажна напруженість, млн т·км/км·нетто	0,79	1,66	2,88	8,12	1,55
Частка електрифіков. ліній, %	55,80	45,20	49,60	42,15	44,50

Націленість нашої держави на тісну співпрацю з європейським співтовариством, перспектива вступу до Всесвітньої організації торгівлі та одержання статусу країни з ринковою економікою спонукає залізничний транспорт України до інтеграції у світову транспортну систему. На теперішній час ця стратегія є пріоритетною і пов'язана з розвитком міжнародних ТК [2]. В рамках цієї політики, на другій Пан'європейській конференції, була затверджена система дев'яти міжнародних ТК три з яких мають проходити територією України:

коридор №3 – Берлін (Дрезден) – Вроцлав – Львів – Київ (довжина основного ходу – 1640 км, у тому числі Україною: залізничний – 694 км. автошляховий – 612 км);

коридор №5 – Трієст – Любляна – Будапешт – Братислава – Ужгород – Львів (загальна довжина – 1595 км, у тому числі Україною: залізничний – 266 км, автошляховий – 339 км із відгалуженням 47 км);

коридор №9 – Гельсінкі – Санкт-Петербург – Київ (Москва) Одеса (Кишинів) - Бухарест – Олександрополіс (довжина основного ходу – 3400 км, у тому числі Україною: залізничний – 1496 км, автошляховий – 997 км із відгалуженнями – 152 і 242 км).

Шляхи удосконалення технології організації вагонопотоків. Процес перевезень на залізничному транспорті характеризується високими вимогами до безпеки руху, економічності, а також суворим дотриманням строків доставки пасажирів і вантажів. Забезпечення цього пов'язане з використанням прогресивних методів організації вагонопотоків, графіків руху поїздів і технологічних процесів всіх видів лінійних підрозділів.

Одне з головних місць, в управлінні експлуатацією залізниць, відведено завданню раціональної організації вагонопотоків. Її рішення сприяє оптимальному розподілу сортувальної роботи між станціями, забезпеченню своєчасної доставки вантажів, скороченню загальних витрат вагоно-годин під накопичення і переробку, зниженню собівартості перевезень і підвищенню ефективності перевізного процесу.

В експлуатаційних розрахунках вагонопотоки, як правило, визначаються середньодобовим числом вагонів по всіх різновидах вантажів спільно. На кожній станції або ділянці визначається й підтримується певний баланс навантажених і порожніх вагонів. Для цього розробляються схеми напрямку вагонів кожного роду з районів їхнього надлишку до районів з нестачею, причому порожній пробіг непродуктивний і тому повинен бути мінімальним.

Вагонопотоки до пункту призначення, як правило, пропускають за найкоротшим напрямком, однак техніко-економічні розрахунки можуть показати, що більш доцільно направляти вагонопотоки по паралельних лініях з кращим технічним оснащенням (двоколіїні, з електротягою і т.д.), хоча й більшої довжини. Таке планування є основою для подальших розрахунків розмірів руху, необхідної пропускної й переробної здатності залізничної систем та побудови графіків руху.

Результати розрахунків навантажених вагонопотоків подають у табличній формі, у вигляді діаграм і ступінчастих графіків. Такі методи подання вагонопотоків ще поширені на багатьох залізницях, але вони вже значно відстають від можливостей, що надають сучасні комп'ютеризовані інформаційно-керуючих технологій. Це призводить до стримування росту продуктивності залізничних перевезень та обмежує конкурентоспроможність залізниць на ринку транспортних послуг [5, 6]. Тому пропонуються такі напрямки удосконалення технологій планування залізничних транспортних потоків:

- збільшення наочності графічного подання транспортної мережі у сукупності всіх її компонентів та взаємозв'язків;

- використання зручного інструменту для опису та аналізу асинхронних, розподілених та паралельних систем із складною структурою;

- моделювання динаміки функціонування системи й зокрема паралельних процесів, що протікають у ній;

- залучення математичних засобів аналізу транспортної мережі, що дозволяють створювати рівняння станів та інші математичні співвідношення, що описують динаміку системи;

- використання зручних для композиції структури та динаміки потоків транспортних систем семіотичних елементів, що однаково зрозумілі і фахівцям-практикам і науковцям;

- розробка ефективних та надійних програмно-апаратних комп'ютерних комплексів, які б мали зручний людино-машинний інтерфейс та реалізували обговорені в попередніх пунктах характеристики.

Обґрунтування вибору методу моделювання процесу перевезень. У найзагальнішому вигляді, залізничну транспортну систему можна розглядати як мережу, що забезпечує перевізний процес (ПП) і складається з упорядкованого різноманіття вузлових пунктів (станції або транспортних вузлів), що взаємодіють за допомогою транспортних і інформаційних потоків (рис. 1.). Транспортний вузол як система також має, об'єднані внутрішніми зв'язками, складові частини, взаємодія яких залежить від схеми вузла й технології його роботи. Транспортні потоки можна розглядати як з боку кількісної оцінки (розміри руху й розподіл довжин інтервалів між заявками на обслуговування), так і з позиції аналізу їхньої структури, форми організації й спрямованості.

Характерна риса розглянутої системи – це складність точного прогнозування рівномірності ступеня її завантаження внаслідок значної розгалуженості взаємозв'язків (наявність зворотних зв'язків та ін.) між елементами системи.

Відомо багато методів моделювання [7]. До найвідоміших належать комп'ютерне, математичне, імітаційне, статистичне, нечітке моделювання та моделювання, що ґрунтується на застосуванні теорії мереж Петрі (МП).

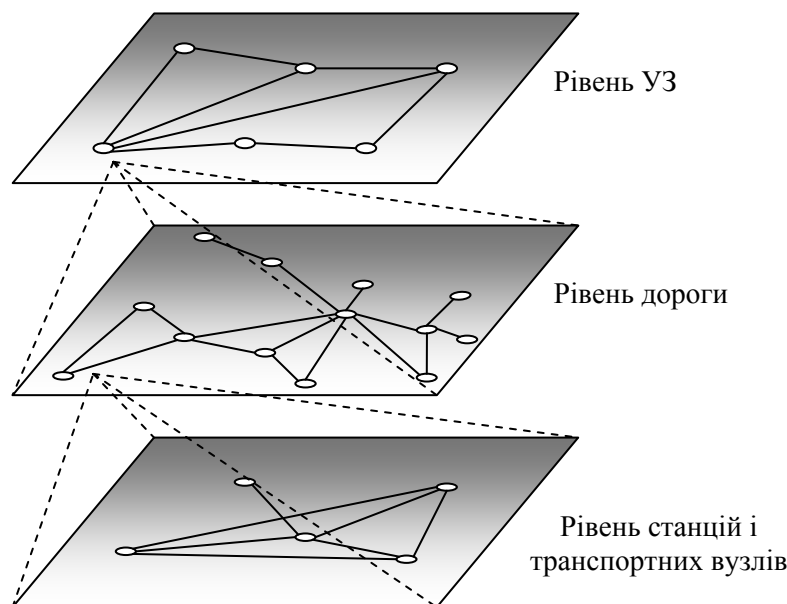


Рис. 1. Ієрархічна стратифікація залізничної транспортної системи

Як свідчать попередні дослідження [6, 8] для моделювання процесу перевезень досить успішно може використовуватися математичний апарат теорії графів, що наочно відбиває географічний принцип побудови залізничної транспортної системи. Однак графічні методи, що дозволяють промодельовати топологію станцій і перегонів, формують тільки статичні моделі, що не враховують багато важливих параметрів ПП (витрати ресурсів, номери вагонів, витрати часу на перевезення, характеристики перевезених вантажів і т.п.). Для моделювання деяких складових процесу перевезень на залізничному транспорті застосовується імітаційне моделювання на комп'ютері. При цьому використовуються універсальні, процедурно-орієнтовані мови загального призначення, а також спеціалізовані мови імітаційного моделювання.

Відзначені моделі та методи моделювання мають певні недоліки, які значно обмежують їхнє використання для досліджень ПП на залізниці. До таких вад у першу чергу належить значна кількість змінних, а отже і станів моделі. Через це задача, яка моделюється буде мати занадто велику розмірність, що ускладнює її вирішення. Методи лінійного програмування, що використовуються при розв'язанні подібних задач, наприклад симплекс-метод, вимагають значних витрат часу на постановку задачі й одержання цільової функції. Основними недоліками імітаційного моделювання є його висока вартість, значні витрати часу на розробку моделі, складність верифікації та зайва масштабність моделювання.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. З вище викладеного, можна зробити такі висновки стосовно характеристик методу моделювання вагонопотоків:

1. Математичний апарат, що обирається для моделювання, повинен бути максимально адаптований до завдань залізничного транспорту, відображати динаміку процесу перевезень і мати ефективний та зручний програмний інструментарій для реалізації моделювання з мінімальними витратами часу.

2. Обраний апарат повинен дозволяти реалізувати декомпозицію системи, що моделюється відповідно до специфіки управління ПП та максимально враховувати технологію роботи галузі і дозволить найефективніше використовувати результати моделювання.

3. Використовувані мова та середовище моделювання, не повинні вимагати від користувача знань мов комп'ютерного програмування.

Одним із перспективних напрямків дослідження у вирішенні означених завдань може стати використання графічного методу моделювання, заснованого на математичному апараті МП. Він дозволяє, з одного боку, вирішити задачу декомпозиції, а з іншого – врахувати і відобразити динамічний характер ПП із рядом важливих його параметрів (витрата ресурсів, витрати часу, характеристики вантажів і т.п.)

На сьогоднішній день МП вже знайшли широке застосування в дослідженні процесів у обчислювальних системах, і добре себе в цій галузі зарекомендували. А, отже, можна сподіватися на те, що удосконалений через розробку нових поширень та адаптований до завдань залізничного транспорту, математичний апарат МП може з успіхом бути застосований для моделювання вагонопотоків та підвищення ефективності процесу перевезень залізницями України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України. – 2009. – № 101. – С. 179.
2. Кірпа Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія / Г.М. Кірпа. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Дніпропетровськ.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
3. Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України. – 2007. – № 1. – С. 198.
4. Залізниці світу в ХХІ столітті: Монографія / За заг. ред. Г.М. Кірпи. – Дніпропетровськ.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 224 с.
5. Данько Н.И. Моделирование железнодорожных транспортных коридоров и систем Украины / Н.И. Данько, Г.И. Загарий, Е.В. Тимошенко // Вісник економіки транспорту і промисловості: 36 науково-практичних ст. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків.: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 7. – С. 21.

АВТОРИ СТАТЕЙ ВИПУСКУ

Азарков Олександр Володимирович – аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Алексійчук Надія Михайлівна – Державне підприємство «Український транспортно-логістичний центр»

Белевцова Наталя Леонідівна – кандидат технічних наук, професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Білухін Дмитро Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електрорухомий склад залізниць» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Брайковська Надія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Вагони», проректор з науково-педагогічної роботи Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Воронко Ірина Олександрівна – аспірант, старший викладач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Висоцька Галина Сергіївна – асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Габчак Максим Костянтинович – асистент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Гаюр Андрій Віталійович – студент групи 1-ЕТ-магістри, лаборант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Герцій Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Телекомунікаційних технологій та автоматики» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Горецький Олексій Анатолійович – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Гребінь Руслан Олексійович – магістрант Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Грушевська Тетяна Миколаївна – здобувач, асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Даніленко Едуард Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Даніленко Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Олександра Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Юрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Будівельні матеріали та хімія» Національного транспортного університету.

Дубравін Юрій Федорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Забудняк Тетяна Василівна – здобувач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Заїченко Віктор Володимирович – доцент кафедри «Будівельні матеріали та хімія» Національний транспортний університет.

Ищенко Вадим Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Вагони» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Йосифович Роман Миколайович – доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Овчаренко Сергій Микола йович – аспірант кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту; начальник сектору розробок технологій та нормативно-технічної документації АРМ АСК ВП УЗ Донецького відділення ДП «Проектно-конструкторське технологічне бюро з автоматизації систем управління на залізничному транспорті».

Осьмак Віктор Євгенійович – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Карпінський Сергій Леонідович – аспірант, асистент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кельріх Михайло Борисович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, академік Транспортної академії наук.

Кільчинський Олександр Олександрович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кириченко Анна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника Головного комерційного управління «Укрзалізниці».

Ковальчук Вікторія Валентинівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косарчук Валерій Володимирович – професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Крижановська Тетяна Василівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Крижановський Антон Володимирович – студент 4 курсу КНУ ім. Т.Г. Шевченка, кафедри «Теорії і технології програмування», факультету «Кібернетики».

Куліченко Анатолій Якович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Рухомий склад і колія» Львівського факультету Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.

Мараховський Леонід Федорович – доктор технічних наук, професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Мацюк В'ячеслав Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Міхно Наталія Леонідівна – інженер-програміст Центру дистанційного навчання Київського національного економічного університету ім. В. Гетьмана.

Мироненко Віктор Кімович – доктор технічних наук, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Москвін Максим Вікторович – здобувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Наконечна Світлана В'ячеславівна – аспірант, викладач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Новак Дмитро Петрович – магістр кафедри «Будівельні конструкції і споруди»

Петриковець Ольга Василівна – асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Пецов Роман Олександрович – аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Приходько Віталій Миколайович – студент Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Пугачов Геннадій Семенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Ревчук Михайло Олександрович – асистент, завідувач лабораторій кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Резник Тетяна Сергіївна – інженер кафедри «Будівельні конструкції і споруди»

Рисцова Алла Юрійвна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Рисцова Катерина Ігорівна – студентка 5 курсу НТУУ «КПІ» Інституту прикладного системного аналізу, кафедри «Математичні методи системного аналізу».

Родкевич Оксана Григорівна – старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сахнік Сергій Валентинович – магістр кафедри «Будівельні конструкції і споруди»

Семененко Володимир Миколайович – доктор технічних наук, провідний старший співробітник Інституту гідромеханіки НАН України.

Семененко Тетяна Миколаївна – старший викладач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Семенюк Марина Сергіївна – аспірант кафедри «Телекомунікаційних технологій та автоматики» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сипливий Микола Васильович – аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сорочинська Олена Леонідівна – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри «Екології та безпеки життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Стрелко Олег Григорович – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету «Управління залізничним транспортом» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Талавіра Геннадій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Тимошенко Євген Валерійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри Комп'ютерні системи та мережі Бердянського державного педагогічного університету.

Тюнін Віктор Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Черних Юрій Максимович – кандидат технічних наук, доцент, професор 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.

Ширченко Катерина Володимирівна – студент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ РУКОПИСІВ

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у «Збірнику наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту» (далі – Збірник) розроблені з урахуванням Постанови Президії ВАК від 15.01.2003 р. № 7-05/1.

1. До друку у Збірнику приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: анотацію та ключові слова трьома мовами (українська, російська, англійська), постановка проблеми у загальному та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку в даному напрямі.

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню журналу і бути завізована власноручно підписом автора. **Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.** Надіслана поштою та неправильно оформлена автором стаття, що не відповідає вимогам, розглядатися та друкуватися не буде.

Разом з текстом статті (два примірники) і дискетою 3,5 дюйма із записаним текстом, до редколегії Збірника подаються:

- рецензія на статтю;
- акт експертизи;
- витяг з протоколу засідання кафедри чи лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;
- довідка про авторів (прізвища, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, учене звання, почесне звання, місце роботи, посада, номери телефонів);
- заява з підписами авторів про те, що надіслана стаття не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці виміру слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг до 8 – 10 рядків).

5. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

6. Текстові матеріали готують і друкують на аркушах білого одностороннього паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word for Windows (6.0 чи 7.0), для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись із використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватися шрифт Times New Roman.

Параметри сторінки Збірника встановлені такі:

- поля верхнє та бокові – 35 мм;
- поле нижнє – 45 мм;
- відступ від верхнього колонтитула – 12 мм;
- відступ від нижнього колонтитула – 20 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити.

Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 5 мм, інтервал між рядками – одинарний.

1. Матеріали набирають такими шрифтами:

- *УДК* – 11 пунктів, курсив;
- *автори* – 12 пунктів, напівжирний курсив;
- **НАЗВА СТАТТІ** – прописні літери, 12 пунктів, напівжирний;
- *анотація* – 11 пунктів, напівжирний курсив;
- основний текст – 11 пунктів, звичайний;
- © *Вовк А. А., 2010* – 12 пунктів, напівжирний курсив.

2. Усі **рисунки, таблиці, діаграми** повинні мати назви та номери (у випадку, коли в одному матеріалі міститься два і більше названих елементів):

Рис. 1. Розрахункова схема...

Таблиця 1. Проблеми...

Слова *Рисунок, Таблиця, Діаграма, Схема* та їхні номери набираються курсивом, 11 пунктів, їхні назви – напівжирним шрифтом, 11 пунктів, назви та номери таблиць розміщують над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Від рисунка до підпису і від підпису до тексту потрібно відступити три інтервали. Посилання в тексті на таблиці даються у скороченому вигляді: «табл. 1», – звичайним шрифтом.

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, усі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують курсивом: «Продовження табл. 1» або «Закінчення табл. 1».

3. Графічні файли із **формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями** мають бути розташовані в тексті в рамці MS WORD. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі «EQUATION EDITOR» для «WINDOWS».

Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські – тільки прямим шрифтом.

4. **Список використаної літератури** складається за ГОСТ 7.1-84.

Зокрема, вказуються:

- Порядковий номер джерела у списку, прізвища та ініціали всіх авторів, повна назва роботи, на яку посилаються, в якому журналі чи збірнику (повна назва) вона надрукована, рік видання, номер журналу або випуску збірника, сторінки (від – до), на яких її там уміщено;
- у посиланнях на авторські свідоцтва та патенти обов'язково вказуються також індекс МКІ, рік і номер Бюлетеня й дата публікації (за титульною сторінкою цього номера Бюлетеня);

▪ при посиланнях на монографії, на збірники в цілому, підручники, довідники вказуються місце (місто) видання та назва видавництва, рік видання, а також загальна кількість сторінок у книзі.

Усі бібліографічні описи джерел подаються мовою оригіналу.

Перед списком використаної літератури набирати напівжирним шрифтом (11 пунктів) **ЛІТЕРАТУРА**. Джерела в списку – звичайним шрифтом 9 пунктів, прізвища авторів – звичайним курсивом 9 пунктів. Після списку – **Надійшла...** напівжирним шрифтом (11 пунктів).

При посиланні на використану літературу потрібно зазначити назву використаного видання та (у квадратних дужках звичайним шрифтом) його номер у списку, наприклад: «...і визначаються тарифною схемою Прейскуранта 0-01 [2]».

5. Інтервали між елементами матеріалу такі:

- УДК – автори – 2;
- автори – назва статті – 3;
- назва статті – анотація – 2;
- анотація – основний текст – 1;
- основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 2;
- назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, схеми, діаграми – їхні 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;
- список літератури – **Надійшла...** – 2.

Науково-виробниче видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ

Серія «Транспортні системи і технології»
Випуск 20

Відповідальний за випуск В. І. Данилевський
Директор РВЦ ДЕТУТ Л. В. Пономаренко
Головний редактор О. В. Ємець
Редактори О. В. Ємець, Н. В. Щербак
Комп'ютерна верстка: Н. Г. Книш, В. О. Андрієнко

Підписано до друку 15.05.2012 р. Формат 60х90¹ /8.
Папір для тиражувальних апаратів. Гарн. Таймс.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 36,2. Обл.-вид. арк. 25,3.
Наклад 100 прим. Зам. № 95-2-12.

Надруковано в Редакційно-видавничому центрі ДЕТУТ.
Свідоцтво про реєстрацію № 141 від 30.10.01.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.

