

**МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

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

СЕРІЯ

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

ВИПУСК 18

Київ·ДЕТУТ·2011

УДК 656: 62

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 18. – К.: ДЕТУТ, 2011. – 222 с.

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним та 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. Даніленко, доктор технічних наук, професор кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд», академік Транспортної академії України;

М. Б. Кельріх, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони», 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 оригінала.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 7 від 26.05.2011 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту

Свідоцтво про державну реєстрацію KB 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 та кандидата наук (Бюлетень ВАК України від 18.11.2009 р., № 36).

© Державний економіко-технологічний
університет транспорту, 2011

ЗМІСТ

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКА

Білан С. М., Моторнюк Р. Л. Системи супроводження рухомих об'єктів у реальному часі на основі клітинних технологій.....	5
Бондаренко І. О., Курган Д. М. Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії.....	14
Гирич В. Ю. Оцінка ефективності завантажувально-розвантажувального процесу вантажного комплексу аеропорту на перспективу.....	19
Горячев Ю. К., Куропятник А. С. Улучшение профиля маятниковой подвесной канатной дороги.....	24
Даніленко Е. І., Бойко В. Д., Твердомед В. М. Вертикальні динамічні сили взаємодії на хрестовинах стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах.....	29
Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М. Експлуатаційні впливи на бетони в цементобетонних покриттях доріг.....	38
Ищенко В. Н., Брайковская Н. С. Методика определения холодопроизводительности компрессора при теплотехнических испытаниях рефрижераторных вагонов.....	45
Іванов В. Б., Косенко В. І., Панов С. Л. Використання високоеластичних муфт в приводах локомотивів.....	49
Карпінський С. Л. Аналіз способів виготовлення довгих рейкових плітей і проблеми, що виникають при їх застосуванні в кривій ділянці колії.....	54
Косарчук В. В., Азарков А. В. К методике прогнозирования долговечности рельсов.....	61
Манько А. В., Лазнюк М. В. Сравнительный анализ нормативных методик расчета местной устойчивости стенок двутавровых балок при действии локальных напряжений.....	73
Михно Н. Л. Способы построения реконфигурируемого процессора на «элементном» уровне.....	84
Наконечна С. В. Аналіз контурних методів для обробки зображень.....	95
Обуховський В. В. Акустико-емісійний метод контролю бокових рам і надресорних балок вантажних вагонів.....	102
Сорока О. О. Заходи для подовження терміну служби рейок по дефектності.....	108
Таланов Г. П. Наслідки розробки табличних значень опору ґрунтів під п'ятою бурунабивних паль.....	113
Таланов Г. П. Удосконалений метод ітерації для розрахунку розмірів фундаментів під мостові опори.....	117
Тарасюк В. М. Імпульсний метод контролю частоти обертання тягових двигунів під час випробувань.....	121
Демченко В. А. Аналіз впливу профіля поверхності катання колесної пари локомотива на характер автоколебаний.....	125

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Ковальчук В. В., Ільницька А. В.</i> Еволюція фазових траєкторій при варіюванні параметрів триланкового маятника.....	132
<i>Крюков М. М.</i> Розв'язання задач про деформацію тонких оболонок обертання із застосуванням періодичних В-сплайнів.....	139
<i>Лобас Л. Г., Лобас Людм. Г.</i> До питання реалізованості слідкуючих сил.....	147
<i>Рудницький А. Г., Рудницкая А. А., Семененко Т. Н.</i> Использование метода локальной аппроксимации при прогнозировании поведения хаотических временных рядов.....	151
<i>Тюнін В. Д.</i> До питання визначення лінії взаємного перетину кривих поверхонь другого порядку та побудови фігур перерізу проєціюючими площинами безпосередньо в аксонометричних проєкціях.....	164
<i>Яковенко В. С.</i> Алгоритм розподілу клієнтів дистрибутора по районах міста.....	167

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУ

<i>Зайцев В. А.</i> Проводимая работа по энергосбережению на железнодорожном транспорте Украины. Фактическое состояние, ближайшие перспективы и необходимость изменений.....	171
<i>Табаков В. З., Крижановська Т. В., Дячук О. П.</i> Забезпечення монопроцесного запуску клієнта єдиної інформаційно-аналітичної системи «служба зайнятості».....	177

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

<i>Габа В. В.</i> Шляхи підвищення ефективності експлуатації парку вантажних вагонів.....	183
<i>Кириченко Г. І., Мацюк В. І., Стрелко О. Г., Родкевич О. Г.</i> Визначення рівня достовірності інформації про вантажі, що перевозяться залізницями України	187
<i>Ломотько Д. В., Шляхова Т. Е.</i> Средства повышения уровня автоматизации сортировочных устройств.....	194
<i>Мироненко В. К., Висоцька Г. С.</i> Новий методичний підхід до аналізу причин та наслідків затримок вагонів на прикордонних передавальних станціях.....	201
<i>Шилаєв П. С.</i> Удосконалення технології інтермодальних перевезень вантажів.....	209
Автори статей випуску.....	215
Правила оформлення рукописів.....	219

УДК 658.012:681.32

Степан Білан
Руслан Моторнюк

СИСТЕМИ СУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ НА ОСНОВІ КЛІТИННИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглядаються основні задачі та проблеми побудови систем спостереження за рухомими об'єктами на основі клітинних технологій. Розроблене клітинне середовище та проведено комп'ютерне моделювання його функціонування по спостереженню за рухомими об'єктами в реальному часі.

Рассматриваются основные задачи и проблемы построения систем наблюдения за подвижными объектами на основе клеточных технологий. Разработана клеточная среда и проведено компьютерное моделирование ее функционирования по наблюдению за подвижными объектами в реальном времени.

Basic tasks and problems of construction of the systems of supervision after mobile objects on the basis of cellular technologies are examined. A cellular environment is developed and the computer design of its functioning is conducted on the supervision after mobile objects in real time.

Ключові слова: рухомий об'єкт, клітинне середовище, зображення, процесорний елемент.

Вступ

Бурхливий розвиток технологій та пов'язане з цим зростання обсягів інформаційних потоків вимагає створення спеціалізованих обчислювачів, які забезпечуватимуть значно вищу швидкість обробки великих масивів інформації порівняно з існуючими на даний час персональними ЕОМ. Особливо актуальним це завдання може стояти у системах, які працюють в режимі реального часу; наприклад, в системах відеоспостереження, технічного зору, стеження за технологічними процесами і т. ін. Одним з напрямків вирішення даної проблеми є створення пристроїв на основі однорідних клітинних структур для обробки зображень [1 – 5].

В сучасних цифрових ЕОМ зображення обробляються послідовно, за відповідним законом, тобто на обробку однієї зорової сцени витрачається великий об'єм часу, що залежить, в першу чергу, від часу сканування робочого поля екрану. В однорідних клітинних структурах зображення повністю накладається на матрицю процесорних елементів (ПЕ), що дає змогу одночасно виконувати операції по перетворенню одразу всього зображення.

© Білан С. М., Моторнюк Р. Л., 2011

Грунтуючись на ідеях Станіслава Улама, видатний американський учений Джон фон Нейман запропонував концепцію клітинних автоматів. Він використовував клітинні автомати для створення більш правдоподібних моделей просторово протяжних систем. Результати його досліджень наведені у фундаментальній роботі [6]. На базі клітинних автоматів можуть бути побудовані пристрої, які виконують різноманітні перетворення зображення: обчислення відстані між двома точками, перетворення системи координат, виділення контурів та зрізів, знаходження площі, визначення геометричного центру, виправлення одиничних помилок [7].

Схема застосування клітинних середовищ в системах відеоспостереження

Особливо чутливими до швидкості обробки даних є системи відеоспостереження, основним завданням яких є детектування з послідовним супроводженням рухомих об'єктів в полі зору камери. Областями використання таких систем можуть бути залізничні переїзди (для відслідковування транспортних засобів, що продовжують рух при закритому шлагбаумі – для попередження машиніста потяга, що наближається), охоронні системи та системи спостереження (для фіксування об'єктів чи транспортних засобів, які перетинали певний периметр) та ін.

Загальна схема використання клітинних автоматів для детектування руху в кадрі відеоряду може мати наступний вигляд (рис. 1). На рис. 1 відображено сцену (1), за якою ведеться спостереження, цифрова відеокамера (2), відцифроване відео, з якої подається на клітинну структуру (3) і на комп'ютер (4). Завдяки високій швидкодії клітинного середовища бітова маска пікселів, в яких зафіксовано рух, передаватиметься на комп'ютер майже одразу після отримання ним кадру зображення. Далі комп'ютерна програма залежно від поставлених задач може, наприклад, обвести рамкою рухомий об'єкт, або вирізати його по цій рамці із всього зображення, або збільшити до меж рухомої області та ін.

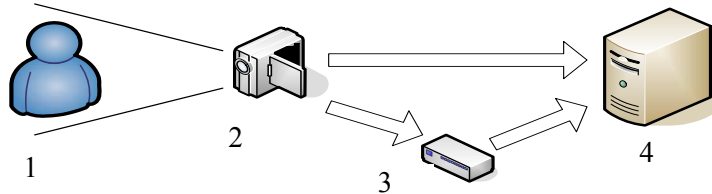


Рис. 1. Схема використання клітинних автоматів для детектування руху

У разі використання аналогової відеокамери схема дещо зміниться. Відеопотік подаватиметься тільки на комп'ютер, де буде оцифровуватись і покадрово подаватись на клітинну структуру. Результат роботи клітинної структури 1 у вигляді побітової маски тих пікселів зображення, в яких було зафіксовано рух, буде подаватись на комп'ютер для подальшої обробки залежно від задач, які були поставлені перед системою.

Звичайний (класичний) процесорний елемент клітинного середовища є однорозрядним, тобто кожен ПЕ представляє один піксель бінарного зображення. В стані логічної «1» він кодує чорний піксель, в стані «0» – білий піксель. Це найпростіший вид зображення і для роботи з ним потрібен найпростіший ПЕ з точки зору його схемотехнічної реалізації. Для детектування руху в цьому випадку необхідно провести порівняння поточного стану на вході ПЕ з його попереднім станом. Якщо ці стани однакові («0»=«0», «1»=«1»), то руху в даному пікселі не було і на виході детектування руху встановлюється логічний «0». Якщо відбулася

зміна («0»→«1» або «0»→ «1»), то рух був, і на виході детектування руху встановлюється «1». На рис. 2 наведений приклад двох послідовних кадрів (у лівій частині у зменшеному вигляді) бінарного зображення з рухомим прямокутником і колом, та результат моделювання роботи клітинного середовища (праворуч), де чорним кольором показано бінарне зображення поточного кадру, а червоним – ПЕ, в яких була зафіксована зміна стану, а отже був рух.

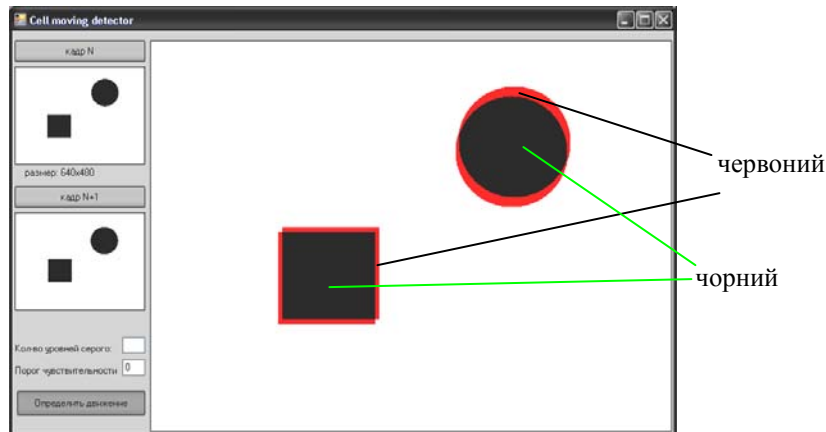


Рис. 2. Детектування руху на примітивному бінарному зображенні

Але такі спрощені умови, де фон зображення має один (білий) колір, а рухомі об'єкти – чітко відрізняються від фону і тому мають інший (чорний) колір, мало схожі на реальні умови застосування подібних систем. На практиці не завжди рухомий об'єкт буде мати достатній контраст із фоном, щоб при бінаризації не відбулося їх «злиття». На рис. 3 наведений приклад складного кольорового зображення із малокоонтрастними рухомими об'єктами. У даному випадку бінаризація «знищила» два об'єкти з малою контрастністю в лівій частині кадру, у той час як висококоонтрастні об'єкти в правій частині залишились і вірно визначився їх рух.

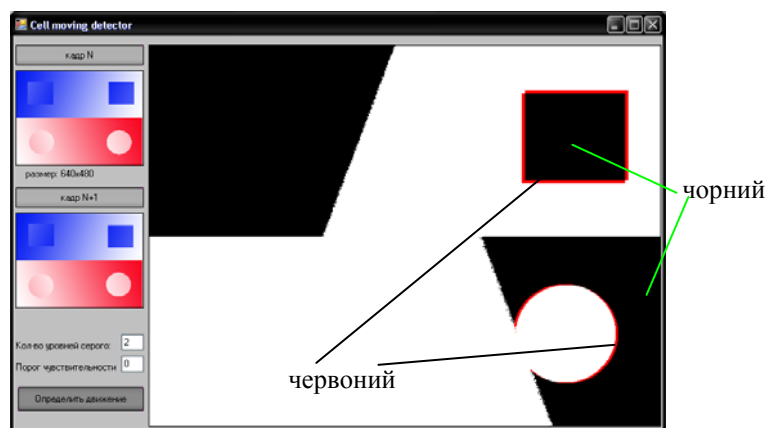


Рис. 3. Детектування руху на складному малокоонтрастному зображенні, приведенному до бінарного

На рис. 4 наведений приклад роботи клітинного середовища по детектуванню руху на реальних зображеннях з контрастним (а) та малоконтрастним (б) фоном та об'єктом, відповідно.

Як видно з рис. 4, бінаризація дає задовільні результати при роботі з контрастним зображенням і взагалі неприйнятні при роботі з малоконтрастними реальними зображеннями. Єдиним виходом є використання не однорозрядних, а багаторозрядних ПЕ, які зможуть кодувати і порівнювати не тільки бінарні, але й багатоградаційні зображення. Від використання ПЕ, які можуть обробляти кольорові елементарні елементи зображення, доведеться зразу відмовитись через дві вагомі причини. Перша причина полягає в тому, що для кодування кольору в трьохканальній системі RGB необхідна досить велика розрядність, що призведе до не виправданого ускладнення схемотехніки ПЕ, а друга визначається надлишковістю інформації. Тобто, для визначення, рухається об'єкт чи ні, наявність інформації про колір майже завжди є надлишковою.

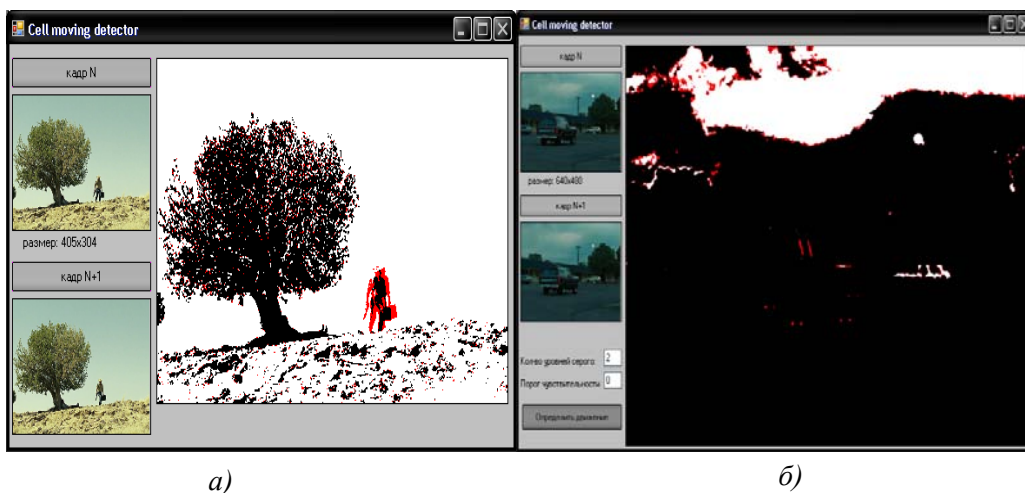


Рис. 4. Детектування руху на реальному контрастному зображенні (а) та малоконтрастному зображенні (б), приведених до бінарного

Обробка багатоградаційних зображень

Таким чином достатньо використовувати зображення, яке складається з відтінків сірого кольору. У цьому випадку замість трьох RGB-каналів достатньо одного, що як мінімум в три рази дозволить зменшити апаратні затрати.

На рис. 5, а подано приклад роботи 8-розрядних ПЕ, які працюють з 256 відтінками (градаціями) сірого кольору, а на рисунку 5, б – 5-розрядні ПЕ (32 відтінки). Крім того, представлено приклади роботи 4-розрядних (рис. 5, в) ПЕ (16 відтінків) та 3-розрядні (рис. 5, г) ПЕ (8 відтінків). Для даного випадку зменшення кількості кольорів до 8-ми призводить до наслідків, які були при обробці цього зображення на бінарних ПЕ (рис. 3). У цьому випадку спостерігається злиття (часткове) об'єкта з фоном. Але вже при 16 відтінках (рис. 5, г) об'єкт чітко відділяється від фону. Зменшення розрядності дає вигоду в апаратних затратах, але занадто мала розрядність негативно впливає на якість виділення рухомих об'єктів. Чим менше градацій, тим більше шумів буде знищено, тим менші апаратні затрати на побудову ПЕ. Але у той же час більше деталей зображення буде втрачено і

більша ймовірність того, що якщо контраст між рухомим об'єктом і фоном незначний, то відбудеться злиття об'єкта і фону. У результаті такого злиття рух не буде зафіксований, або не весь рухомий об'єкт буде виділений. Скоріш за все для більшості ситуацій достатньо буде використання 16 відтінків (4-розрядні ПЕ).

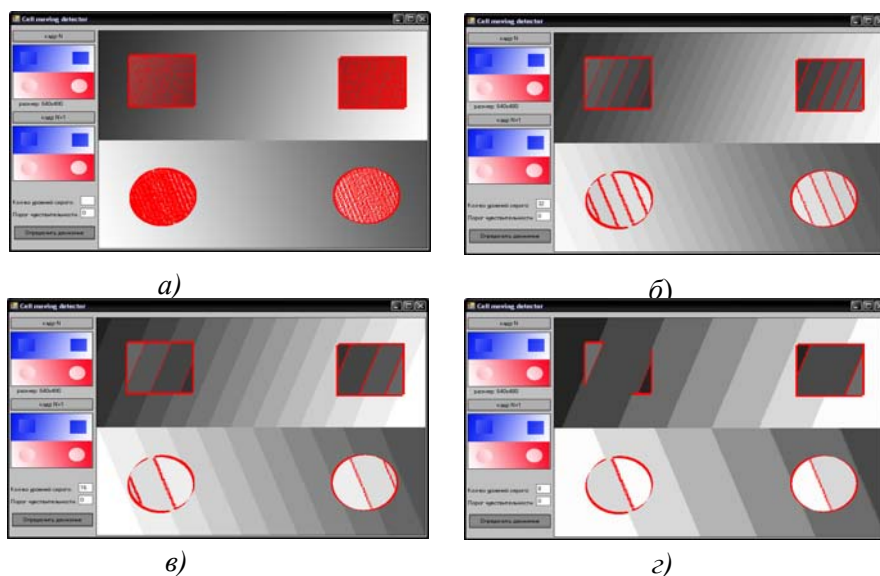


Рис. 5. Детектування руху на складному малокоонтрастному зображенні, приведенному до відтінків сірого

На реальних зображеннях, отриманих з кадрів відеопотоку, отримаємо наступну картину (рис. 6). Майже вся площа зображення покривається сіткою ПЕ, які спрацювали на зміну коду сірого кольору від попереднього до поточного кадру. Це відбувається тому, що на реальному відео при оцифровці кожен піксель може не отримувати однакові коди кольору, навіть якщо ніяких змін у цій точці не відбувалось. Для зору людини, наприклад, колір RGB (180,180,180) нічим не відрізнятиметься від RGB (182,181,179), обидва вони будуть світло-сірі. Але програмно – це два різних кольори з різними кодами.

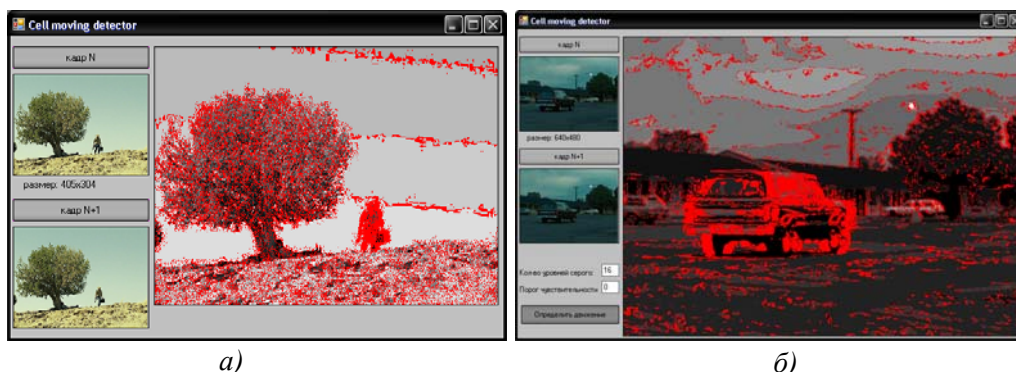


Рис. 6. Детектування руху на реальному контрастному зображенні (а), та малокоонтрастному зображенні (б) приведених до 16 відтінків сірого

Для того, щоб ПЕ не спрацьовували на такі «однакові» кольори, достатньо ввести поріг чутливості. Всі зміни коду кольору пікселя, які менші цього порогу, вважати такими, в яких руху не було зафіксовано, і навпаки для пікселів, зміна коду кольору в яких більше порогового рівня – вважати такими, які зафіксували рух. Приклад роботи ПЕ із введенням певного порогового рівня наведений на рис. 7.

На практиці при цифровому фото та відео зйомці зустрічаються так звані «биті» і «гарячі» пікселі – це дефектні пікселі, зображення яких на світлому фоні завжди темні і на темному фоні завжди яскраві, відповідно. Крім того, можуть виникати одиничні помилки, які не пов'язані з дефектними пікселями і в яких також буде помилково зафіксовано рух. Для фільтрації таких одиничних завад можна для ПЕ, в яких був зафіксований рух, перевірити стан усіх сусідніх ПЕ, і якщо в них руху не було зафіксовано, вважати даний піксел помилковим і зняти з його виходу сигнал наявності руху.



Рис. 7. Робота ПЕ з використанням порогового рівня для відсіювання «однакових» кодів сірого відтінку

Алгоритм та програмне моделювання роботи ПЕ

Виходячи зі всього вищесказаного, ПЕ повинен мати наступні входи/виходи (рис. 8): $mov(i-1, j-1)$, $mov(i-1, j)$, $mov(i-1, j+1)$, $\dots$, $mov(i+1, j+1)$ – входи від вихідних сигналів сусідніх ПЕ, що визначають належність даного пікселя зображення до рухомої області; $pixel(i, j)$ – вхідна шина для занесення в ПЕ коду градацій сірого зображення, що представлене відповідним пікселем (i, j) ; $assigasy$ – вхід величини порогу чутливості (точність) визначення зміни коду пікселя від попереднього до поточного кадру; $detect$ – керуючий сигнал, за яким починається відслідковування рухомих елементів зображення; CLK – вхід синхроімпульсів; $mov(i, j)$ – вихідний сигнал ПЕ, що визначає належність даного пікселя зображення до рухомої області.

Алгоритм функціонування ПЕ клітинного середовища складається з таких кроків.

1. Занести у відповідні ПЕ клітинного середовища значення кодів відповідних пікселів ($pixel(i, j)$) кадру відеозображення.
2. При відсутності сигналу «detect» записати код, введений в п. 1, в регістр для запам'ятовування попереднього коду пікселя; перейти до п. 1, очікуючи сигнал «detect».
3. При наявності сигналу «detect» записати код, введений в п. 1, в регістр для запам'ятовування поточного коду пікселя.
4. Знайти різницю між величиною попереднього коду пікселя і поточного коду пікселя.

5. Порівняти модуль різниці, отриманий у п. 4 із значенням порогу чутливості («ассигасу»). Якщо модуль різниці більший від порогу чутливості – перейти до п. 7, в іншому випадку – перейти до п. 6.

6. На вихід $mov(i,j)$ виставити значення логічного «0», тобто вважати даний піксель таким, що з урахуванням порогу чутливості «ассигасу» не змінив свого коду між попереднім і поточним кадрами. Завершити роботу алгоритму.

7. На вихід $mov(i,j)$ виставити значення логічної «1», тобто вважати даний піксель таким, що з урахуванням порогу чутливості «ассигасу» змінив свій код між попереднім і поточним кадрами, отже спостерігається рух у даному пікселі.

8. Проаналізувати вхідні сигнали від виходів «mov» сусідніх ПЕ ($mov(i-1,j-1)$, $mov(i-1,j)$, $mov(i-1,j+1)$, ..., $mov(i+1,j+1)$). Якщо серед них є хоч один із сигналом «1» – завершити роботу алгоритму, в іншому випадку – до п. 9.

9. Даний піксель визначений як такий, в якому відбувся рух, але в жодному із сусідніх руху не зафіксовано, скоріш за все це помилкове спрацювання на шуми чи завади, тому на вихід $mov(i,j)$ виставити значення логічного «0» – руху в пікселі не знайдено. Завершити роботу алгоритму.

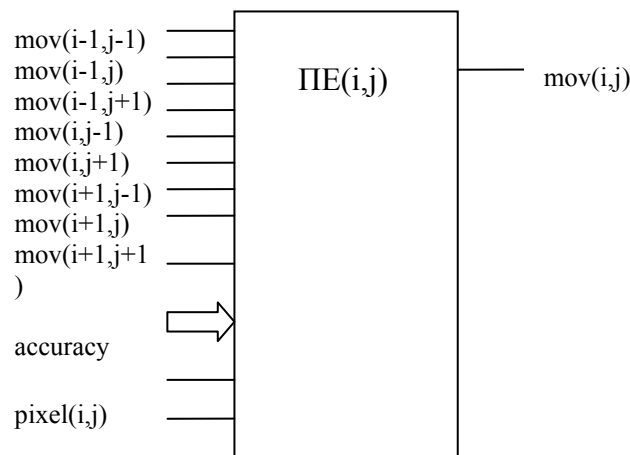


Рис. 8. Графічне зображення ПЕ

У результаті роботи даного алгоритму на виходах «mov» буде закодована бітова маска тих пікселів зображення, в яких відбулася зміна стану з урахуванням порогу чутливості. Для програмного моделювання роботи даного клітинного середовища була написана спеціальна програма, результати роботи якої наведені на рис. 2 – 7, 9. Програма повністю підтвердила працездатність алгоритму і дозволила виявити досить цікаві факти з особливостей обробки бінарних зображень, зображень з різною кількістю відтінків сірого кольору, різними порогами чутливості.

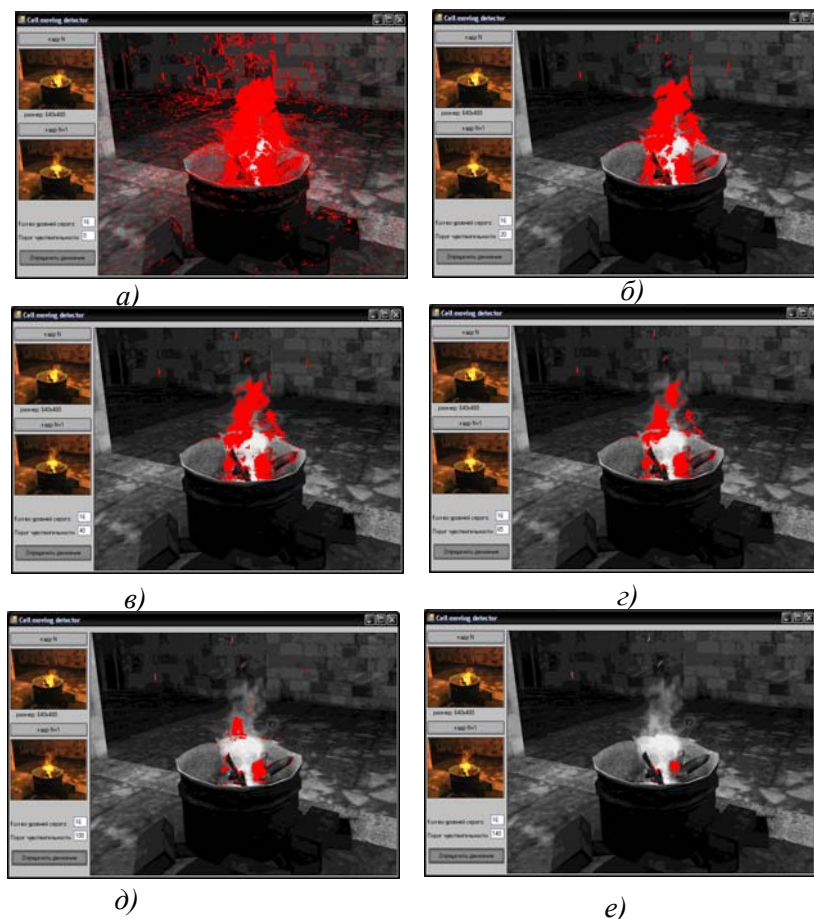
Динамічний вибір порогу чутливості

Використовуючи різний поріг чутливості для однієї і тієї ж зорової сцени, можна досягти різних результатів залежно від постановки задачі. Взагалі встановлення рівня чутливості індивідуальне для кожного випадку застосування системи і може бути налаштовано під потрібний результат. Але разом з тим можна виділити певні правила, використовуючи які можна додатково побудувати спеціальну систему керування клітинним середовищем, яка сама автоматично буде встановлювати потрібний поріг чутливості.

Одним з таких правил може виступати процентне відношення кількості ПЕ, які зафіксували рух від загальної кількості всіх ПЕ середовища, на які було подано зображення (рухомий об'єкт має певний заздалегідь встановлений максимальний розмір).

Ще один приклад регулюючого правила – наявність рідко розкиданих ПЕ, які зафіксували рух, по всій площині зображення, адже рухомий об'єкт звичайно займає якесь певне конкретне місце. Починати слід з невеликих порогів чутливості і постійно підвищувати його, доки не буде отримано більш-менш локалізованого скупчення пікселів, що відображають рух зображення, шляхом змін власних параметрів.

На рис. 9 проілюстровано можливий результат роботи останнього правила. Поріг чутливості змінювався від 0 до 140. Залежно від встановлених параметрів система керування могла б зупинити свій вибір на варіантах (в) або (г) як найбільш інформативних з точки зору результату – на них вже немає хаотично розкиданих пікселів у області руху зображення, яка локалізована майже без втрат.



**Рис. 9. Різні рівні порога чутливості для одного 16-ти відтінкового зображення:
а – 0, б – 20, в – 40, г – 65, д – 100 і е – 140**

Висновки

Запропонований метод дозволив побудувати систему спостереження за рухомими об'єктами в реальному часі. Розроблений алгоритм функціонування процесорного елемента і проведено комп'ютерне моделювання процесів обробки зображень з рухомими об'єктами. Програма повністю підтвердила працездатність алгоритму при роботі з зображеннями як кольоровими, так і з градаціями сірого. Проведені дослідження дозволили визначити оптимальний поріг чутливості, при якому немає хаотично розкиданих пікселів, що вказують на рух об'єкта, і область руху локалізована майже без втрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белан С.Н. Использование клеточных технологий в системах обработки и распознавания изображений. // Искусственный интеллект. – № 3. – 2008. – С. 244-253.
2. Білан С.М. Дослідження методів розпізнавання зображень у задачах ідентифікації об'єктів залізничного транспорту на основі геометричного типу//Транспортні інновації, 2009. – № 10. – С. 11-13.
3. Белан С.Н. Система распознавания изображений с растущими клеточными слоями. // Искусственный интеллект. – № 4. – 2010. – С. 150-161.
4. Белан С.Н. Принципы организации технической системы распознавания и обработки изображений на основе клеточных технологий // Матеріали Другої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2010). Том 1. – 2010. – С. 127-131.
5. Білан С.М., Коваль Д.М. Зафарбовування областей на базі клітинних аперіодичних нейроавтоматів // Вісник ЖІТІ. – № 10. – 1999 – С.166-173.
6. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971; В оригинале: von Neumann J. Theory of Self-Reproducing Automata: Edited and completed by A. Burks. – University of Illinois Press, 1966;
7. Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Білан С.М., Поплавський А.В. Паралельні обчислювальні методи та засоби пірамідальної обробки інформації. Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 253 с.

УДК 625.1

*Ірина Бондаренко
Дмитро Курган*

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ
ПРУЖНИХ ХВИЛЬ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ**

Викладені основні положення розробки математичної моделі напружено-деформаційного стану залізничної колії із застосуванням теорії розповсюдження пружних хвиль. Залізнична колія розглядається як просторова система об'єктів з певними характеристиками. Наведені рівняння для визначення геометрії положення фронтів хвиль залежно від часу та взаємодії об'єктів. Визначена методика розрахунку напружень та деформацій відповідно до принципів хвильової теорії. Отримані результати можуть бути використані для вирішення задач надійності залізничної колії, особливо для швидкісного руху та оцінки застосування нових матеріалів.

Изложены основные положения разработки математической модели напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути с применением теории распространения упругих волн. Приведены уравнения для определения геометрии положения фронтов волн в зависимости от времени и взаимодействия объектов. Определена методика расчета напряжений и деформаций в соответствии с принципами волновой теории. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач надежности пути, особенно для скоростного движения и оценки использования новых материалов.

Substantive provisions of working out mathematical model for the is intense-deformed condition of a railway way with application of the theory of distribution of elastic waves are stated. The equations for definition of geometry of position of waves fronts depending on time and interaction of objects are resulted. The design procedure of pressure and deformations according to principles of the wave theory is defined. Results for the decision of problems of reliability of a way, especially for high-speed movement and an estimation of use of new materials are received.

Ключові слова: надійність, напруження, хвиля, пружність, колія.

Теоретична база розрахунків залізничної колії постійно оновлюється та розвивається. Основними напрямками розвитку традиційно є міцність, стійкість та безпека. Останнім часом відокремився новий напрямок – надійність колії, тобто створення наукової бази, що дозволяє прогнозувати стан колії в процесі експлуатації під дією різноманітних факторів. Надійність вивчає закономірності

© Бондаренко І. О., Курган Д. М., 2011

виникнення відмов конструкції та методи їх прогнозування, надає засоби підвищення надійності виробів, а також розробляє методи підтримання надійності в процесі експлуатації. В практиці ведення колійного господарства доводиться постійно вирішувати задачі, що пов'язані з теорією надійності: визначення міжремонтних термінів, облік впливу на них різних факторів, визначення періодичності контролю стану колії, прогнозування термінів служби елементів колії при різних умовах експлуатації та ін.

Щоб вести розробки в цьому напрямку, необхідно мати розрахунковий інструмент. Якщо дослідити моделі, які зазвичай застосовуються при розрахунках колії, то їх можна поділити на три групи. По-перше, це максимально спрощені моделі, які дозволяють визначити напруження, застосувавши теорії опору матеріалів, у будь-якому елементі колії від дії поодинокі постійної сили. Ці розрахунки мають цілий ряд спрощень, припущень та емпіричних коефіцієнтів. По-друге, це моделі, що засновані на системі рівнянь Лагранжа другого роду. В динаміці твердого тіла приймається, що сила, яка прикладена до точки об'єкта, миттєво приводить до переміщення всі інші точки та тіло рухається як одне ціле відносно центра мас. При розрахунках надійності залізничної колії говорити про постійні маси можна тільки умовно. Причому ці маси матимуть невеликі за значенням переміщення, які відбуваються за короткий термін часу. По-третє, це варіаційні методи, які, з появою потужних комп'ютерів, на сьогодні отримали широке застосування (метод кінцевих елементів, опорних операторів тощо), до недоліків яких треба віднести необхідність в добротному генераторі триангуляції та складності отримання апріорних і аналітичних оцінок. Всі вищезазначені моделі засновані на принципах класичної теорії пружності, де розглядається тіло, що знаходиться у стані рівноваги під дією прикладених сил, причому вважається, що пружні деформації вже досягли статичних значень. Такі трактовки можуть бути достатньо точними для задач, в яких час між моментом прикладення навантаження і встановленням дійсної рівноваги малий порівняно з часом, за який відбувається спостереження. Однак, для розрахунків надійності ще треба дослідити дію сил, які прикладені на короткий час або швидко змінюються. Потреби практики диктують необхідність вивчення коливань системи тіл, як одного з основних факторів, що впливають на безвідмовну експлуатацію конструкції колії та її споруд. Тільки на базі виявлення основних закономірностей з яким фізичним осмисленням природи динамічних явищ можна створювати найбільш ефективні методи оцінки та прогнозування експлуатаційно-технічного стану колії та її споруд, розробляти ефективні засоби захисту від негативної вібрації, вирішувати проблеми шумозабруднення навколишнього середовища, оцінювати ефективність нових нетрадиційних конструкцій залізниці. На основі цих факторів для вирішення поставлених задач було вирішено застосувати теорію хвильового розповсюдження.

Для застосування теорії пружних хвиль залізнична колія розглядається як просторова система об'єктів, які характеризуються геометричними розмірами і фізичними властивостями, що визначають швидкості розповсюдження хвиль та параметри деформацій пружності і здвигу. До них прикладаються сили, що мають будь-яку просторову орієнтацію, час дії та непостійність значення. В якості реакції на дію зовнішніх сил розглядається виникнення і розповсюдження в тілі об'єкта просторових сферичних хвиль. Їх геометрія буде підпорядкована хвильовому рівнянню

$$\begin{cases} (x, y, z) \in A(t) \left| \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \Delta; \right. \\ A(t) \subset \Omega \end{cases}, \quad (1)$$

де ∇^2 визначає оператор $\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$;

(x, y, z) – геометричне місце точки фронту хвилі;

$A(t)$ – множина точок, що на момент часу t визначають межі розповсюдження хвилі;

ρ – щільність речовини;

Δ – об'ємне поширення;

λ, μ – постійні Ляме;

Ω – простір, обмежений поверхнею тіла.

Розповсюдження хвиль корегується розмірами об'єктів і враховує зміни у параметрах хвильового процесу при переході з одного об'єкта до іншого. При наявності на поточному часовому кроці в об'єкті декількох фрагментів хвильових процесів використовується метод суперпозиції [1]. На рис. 1 на прикладі двох об'єктів кубічної форми показано перехід хвильового процесу з одного об'єкта до іншого.

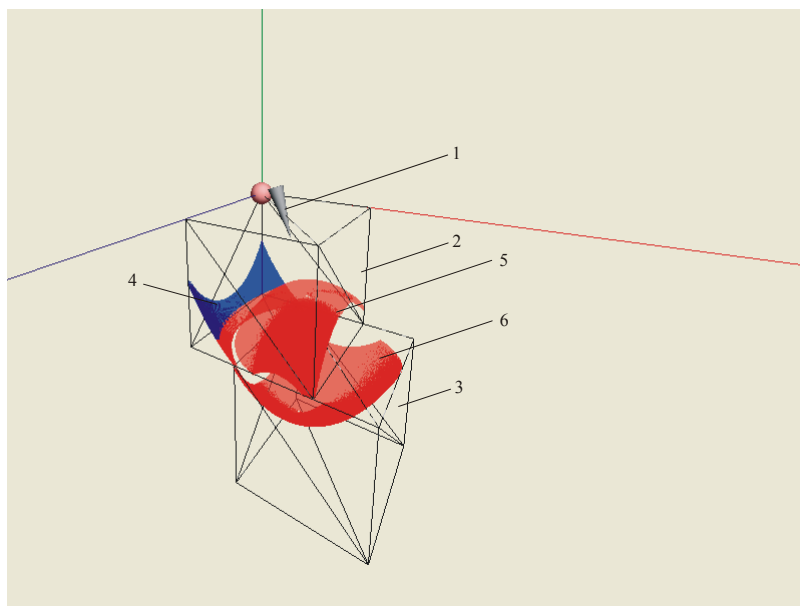


Рис. 1. Перехід хвильового процесу з одного об'єкта до іншого

1 – місце та напрямок дії зовнішньої сили; 2, 3 – контактуючі об'єкти з різними фізичними властивостями; 4 – фронт хвилі в об'єкті «2» від дії сили «1»; 5 – фронт хвилі в об'єкті «2» після відбиття від об'єкта «3»; 6 – фронт хвилі в об'єкті «3».

Визначити напруження та деформації можна згідно з теорією розповсюдження хвиль у твердому тілі [2, 3, 4]. Для отримання рішення в загальному вигляді тіло представляється як набір сегментів $B_i = A(t) \setminus A(t - \delta t)$. Для кожного такого сегмента у відповідності до другого закону Ньютона прискорення руху маси, яке приводить до виникнення деформацій пружності та здвигу, буде врівноважуватися різницею потенціалів напружень σ_i на суміжних поверхнях

$$\rho V(B_i) \frac{d^2 u_i}{dt^2} = \sigma_i S_i - \sigma_{i-1} S_{i-1}, \quad (2)$$

де $S_{i-1} = B_i \cap B_{i-1}$;

$V(B_i)$ – об’єм простору, обмеженого сегментом B_i .

Відповідно до закону Гука можна врахувати зв’язок між напруженнями та локальними деформаціями в сегменті $\left(\frac{u_i}{\delta y} \right)$

$$\sigma_i = K \frac{u_i}{\delta y}, \quad (3)$$

де K – модуль пружності речовини.

Тоді напружено-деформаційний стан тіла в цілому можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} \rho V(B_1) \frac{d^2 u_1}{dt^2} = K S_1 \frac{u_1}{\delta y} - f(P); \\ \rho V(B_i) \frac{d^2 u_i}{dt^2} = K S_i \frac{u_i}{\delta y} - K S_{i-1} \frac{u_{i-1}}{\delta y}; \\ \dots \\ \rho V(B_n) \frac{d^2 u_n}{dt^2} = K S_n \frac{u_n}{\delta y} - K S_{n-1} \frac{u_{n-1}}{\delta y}. \end{cases}, \quad (4)$$

де $f(P)$ – зовнішнє навантаження на поверхню об’єкта.

За наведеними обґрунтуваннями було розроблено теоретичну математичну модель залізничної колії та відповідну практичну програмну реалізацію для виконання розрахунків на персональному комп’ютері. На рис. 2 показаний приклад розташування фронтів хвильових процесів в елементах залізничної колії для одного з кроків розрахунку.

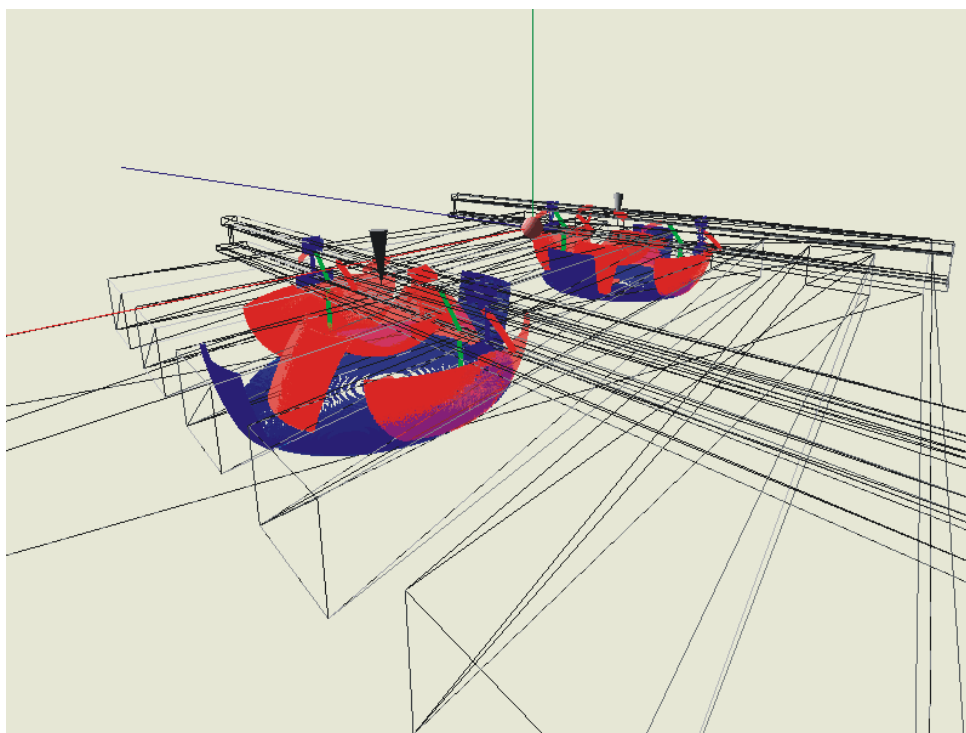


Рис. 2. Приклад розташування фронтів хвильових процесів в елементах залізничної колії

Таким чином, розглянуті теоретичні основи та практична реалізація просторової моделі залізничної колії ґрунтованої на принципах хвильової теорії. Запропонований підхід дозволяє отримувати рішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії у часі від просторового динамічного навантаження без залучення таких умовних характеристик, як, наприклад, приведена маса. Використання такої моделі насамперед доцільне при виконанні розрахунків для високих швидкостей руху, коли час дії сил може порівнюватись з часом реакції системи, або при проектуванні та застосуванні нових конструкцій і матеріалів, приведені розрахункові характеристики яких зазвичай визначаються експериментальним шляхом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Овсянников А. С., Стариков В. А. Метод суперпозиции сингулярных решений в осиметрических задачах теории упругости. – Киев: Наук. думка. 1989. – 100 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
3. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах. – М., 1955. – 192 с.
4. Ерофеев В. И., Кажяев В. В., Семерикова Н. П. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. – М.: Физматлит, 2002. – 208 с.

УДК 656.7.073:656.71 (045)

Вікторія Гирич

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-
РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНОГО
КОМПЛЕКСУ АЕРОПОРТУ НА ПЕРСПЕКТИВУ**

З метою раціонального використання повітряного транспорту, в статті наведена математична модель оцінки ефективності функціонування завантажувально-розвантажувальних процесів у вантажному комплексі аеропорту на перспективу, розроблена на основі виходоорієнтованої оптимізаційної методології Аналізу Середовища Функціонування. Розроблена модель дозволяє перейти до дослідження тенденції зміни фактичних об'ємів експортних та імпортних вантажів через аеропорт, що є одним із етапів наукового дослідження проблеми оптимізації роботи вантажного комплексу аеропорту.

С целью рационального использования воздушного транспорта, в статье представлена математическая модель оценки эффективности функционирования загрузочно-разгрузочных процессов в грузовом комплексе аэропорта, разработанная на основании выходоориентированной оптимизационной методологии Анализа Среды Функционирования. Разработанная модель позволяет перейти к исследованию тенденции изменения фактических объемов экспортных и импортных грузов через аэропорт, что является одним из этапов научного исследования проблемы оптимизации работы грузового комплекса аэропорта.

In order to provide rational usage of air transport, the mathematical model of loading-unloading processes functioning effectiveness estimation in air cargo terminal, developed on the bases of output oriented optimization Data Envelopment Analysis methodology is presented in the article. The elaborated model gives possibility to investigate tendency of actual export and import goods volumes through an airport changing, which is one of the stages of scientific investigation of air cargo terminal work optimization problem.

Ключові слова: вантажний комплекс аеропорту, оцінка діяльності, метод аналізу середовища функціонування, завантажувально-розвантажувальні процеси.

Вступ. Протягом останніх років повітряний транспорт та пов'язана з ним наземна інфраструктура стали ключовими факторами регіонального розвитку в

© Гирич В. Ю., 2011

усьому світі, і в Україні зокрема. Статистика вантажоперевезень через головний аеропорт України ДП МА «Бориспіль» у період з 2005 по 2009 р. свідчить про те, що об'єми різних типів вантажів, задіяних у завантажувально-розвантажувальних процесах аеропорту, є досить великими та мають стійку тенденцію до росту.

Все це вимагає розробки методів оцінки ефективності завантажувально-розвантажувальних процесів у системі управління вантажопотоками в аеропорті на плановий період, коли об'єми вантажів заздалегідь невідомі, з метою їх раціонального використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день використовується широкий спектр простих методів для аналізу діяльності складних об'єктів. Вагомий внесок у розроблення теоретичних і методологічних основ створення механізмів оцінки ефективності діяльності складних систем зробили такі вітчизняних та іноземні науковці, як Єршов Е. Б., Кисельов І. А., Кривоножко В.Б., Уткін О.Б., Сафін М. М., Личев А.В., Чарнес А., Купер В., Родс Е., Банкер Р., Сейффорд Л., Тон К. та ін. [1–7].

В роботі [1] для формалізації техніко-економічної діяльності управління вантажними потоками і раціональної організації процесів завантаження та/чи розвантаження побудована матрична модель, суть якої полягає у створенні такого інструменту для розрахунків, в якому визначені співвідношення показників, пов'язані один з одним. Властивості блочних матриць забезпечують наглядність представлення складних взаємозв'язків та роблять матрицю зручним інструментом логічного аналізу складних структур, де одночасно відображаються технологічний, організаційно-виробничий та економічний аспекти діяльності досліджуваних об'єктів.

Ця загальна ідея отримала свій розвиток у наукових дослідженнях [2, 3], де представлені різні моделі, за допомогою яких визначається міра виробничої ефективності досліджуваного об'єкта. В одній із таких моделей, для аналізу діяльності складних систем, використовується метод простих коефіцієнтів, в якому спочатку знаходиться деякий набір коефіцієнтів, а потім визначаються функції від них. Як правило, припускається неперервність та монотонність цієї функції, і називається вона функцією оцінки діяльності об'єктів дослідження. Тут, за значенням функції оцінки діяльності, як міра ефективності, оцінюється ефективність використання ресурсів даним об'єктом.

В роботах [2, 4, 5, 6] для побудови функції оцінки діяльності складних систем застосовується так звана методологія Аналізу Середовища Функціонування (англ. Data Envelopment Analysis), основоположниками якої є відомі американські фахівці А. Чарнес та В. Купер. Слід відзначити, що останнім часом на заході почався дійсний бум по застосуванню цієї методології для аналізу діяльності великих організацій як виробничих, так і невиробничих (нафтових компаній, банків, комп'ютерних фірм і т.п.) [7].

Однак, у дослідженнях вітчизняних науковців даний метод практично не використовується. На наш погляд, потенційна потреба й ефект від використання цього методу для аналізу ефективності функціонування елементів систем однорідних економічних об'єктів можуть бути значними.

Незважаючи на вагомий напруження, проаналізовані вище дослідження містять загальні методологічні підходи оцінки діяльності різних підприємств та потребують модифікації для вирішення науково нової проблеми, пов'язаної із оцінкою ефективності завантажувально-розвантажувальних процесів у системі

управління вантажопотоками аеропорту на плановий період, коли об'єми вантажів заздалегідь невідомі.

Постановка завдання. Скориставшись детальним аналізом існуючих методів оцінки діяльності складних об'єктів, методологічною базою для нашого дослідження обрана методологія Аналізу Середовища Функціонування (АСФ). На основі АСФ, для побудови функції оцінки діяльності завантажувально-розвантажувальних процесів у системі управління вантажопотоками, діяльність об'єкта описується за допомогою наборів вхідних та вихідних параметрів. Вхідні параметри, зазвичай, позначаються як $x_1, x_2, \dots, x_m$, а вихідні як $y_1, y_2, \dots, y_n$ (рис. 1).

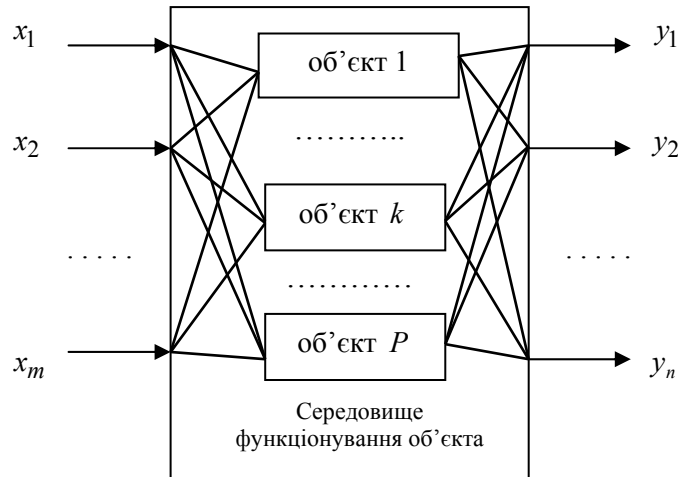


Рис. 1. Опис діяльності об'єкта на основі АСФ

Міра ефективності у методології АСФ має наглядну економічну суть. Вона показує, на скільки процентів об'єкту потрібно скоротити свої ресурси та/чи збільшити свою продуктивність, щоб він став більш ефективним у середовищі свого функціонування. Іншими словами, даний метод дає змогу визначити такий рівень ресурсів, при якому об'єкт функціонує оптимально.

Для побудови моделі нашої задачі, з використанням методології АСФ, розглянемо її більш детально. Нехай кожен виробничий об'єкт, діяльність якого потрібно оцінити, споживає m вхідних параметрів, а виробляє n вихідних параметрів. Використовуючи значення спостережень $X_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk}) \geq 0$ та $Y_k = (y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{nk}) \geq 0$ при $k=1, \dots, P$, векторів $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ та $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ задається множина T виробничих можливостей у такому вигляді:

$$T = \{(X, Y) / X \geq \sum_{k=1}^P X_k \lambda_k, Y \leq \sum_{k=1}^P Y_k \lambda_k, \sum_{k=1}^P \lambda_k = 1, \lambda_k > 0, k = 1, \dots, P\}. \quad (1)$$

Таким чином, на основі дискретних значень параметрів, що спостерігаються, розглядаються всі можливі, економічно допустимі, значення цих параметрів, які задаються як точки множини T . Множина T також монотонна, тобто, якщо $(X, Y) \in T$ і $U \geq X$, $V \leq Y$, тоді $(U, V) \in T$. Поряд із цими властивостями множина T міститься у всіх множинах, які мають вказані вище властивості випуклості та монотонності, тобто вона – мінімальна за включенням [4].

Для встановлення міри ефективності функціонування засобів механізації вантажного складу аеропорту від невідомих об'ємів вантажопотоків розглянемо орієнтовану на вихід математичну модель [3].

Відповідно до цієї моделі, міра ефективності досліджуваного об'єкта чи просто ефективність буде найкращою, якщо в результаті рішення задачі, знайти

$$\max \delta \quad (2)$$

при обмеженнях

$$\sum_{k=1}^P x_{ik} \lambda_k + u_i = x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^P y_{jk} \lambda_k - v_j = \delta y_{jo}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^P \lambda_k = 1, \quad (5)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad u_i \geq 0, \quad v_j \geq 0, \quad (6)$$

отримано, що $\delta = 1$, $X_0 = X\lambda^*$ і $\delta Y_0 = Y\lambda^*$ для всіх її оптимальних рішень $\lambda^* = (\lambda_1^*, \dots, \lambda_P^*)$. Тут X_k та Y_k вектори значень вхідних та вихідних параметрів даного об'єкта, відповідно.

Математична модель. Тепер побудуємо аналогічну модель відносно завантажувального та розвантажувального процесу, який відбувається у вантажному комплексі аеропорту, ототожнюючи його об'єктом із двома вхідними x_1, x_2 та вихідними y_1, y_2 параметрами, тобто $n = m = 2$. Тут:

x_1 – об'єми імпортованих вантажів;

x_2 – об'єми експортних вантажів і $y_1 = x_2 - x_1$, $y_2 = x_2 + x_1$.

Позначимо $X = (x_1, x_2) \geq 0$ та $Y = (y_1, y_2) \geq 0$, і нехай $X_k = (x_{1k}, x_{2k})$ та $Y_k = (y_{1k}, y_{2k})$ значення векторів X та Y , які спостерігаються для $k = 1, \dots, P$. Оскільки у завантажувально-розвантажувальних процесах тип вантажу (експортний чи імпортований) не має значення, не порушуючи спільності, можна припустити, що отримані значення об'ємів експортних та імпортованих вантажів дорівнюють один одному, тобто $x_2 = x_1$. У цьому випадку із умови (4) отримуємо, що $-v_1 = \delta y_{10}$ при $j = 1$. Оскільки функціонування досліджуваної системи вважається ефективним при $\delta = 1$, то із нерівності $-v_1 = \delta y_{10}$, та із умови $v_1 \geq 0$, $y_{10} \geq 0$, випливає $v_1 = y_{10} = 0$. Тому, відносно об'єкта, який розглядається в даному дослідженні, умова (4) має такий вигляд:

$$\sum_{k=1}^P (x_{1k} + x_{2k}) \lambda_k = y_{20} + v_2 \quad (7)$$

при $j = 2$. Враховуючи те, що відносно орієнтованої по виходу моделі, при $\delta = 1$ повинен бути $\delta Y_0 = Y\lambda^*$, то для $y_2 = x_2 + x_1$ виконується така рівність:

$$\sum_{k=1}^P (x_{1k} + x_{2k}) \lambda_k = y_{20}. \quad (8)$$

Так як $\sum_{k=1}^P \lambda_k = 1$ і $\lambda_k \geq 0$ для всіх $k = 1, \dots, P$ (див. обмеження (5) і (6)), то

значення змінних λ_k можна трактувати, як ймовірності розподілу значень фактичних об'ємів вантажу певного типу за період спостереження.

Тоді y_{20} – середнє значення фактичних об'ємів даного вантажу за період спостереження.

Отже, відповідно до умови (8), кількісна міра ефективності функціонування засобів механізації у завантажувально-розвантажувальних процесах, відносно планових об'ємів вантажопотоків, досягає свого максимального значення, **якщо для кожного типу вантажу його плановий (той, який прогнозується) об'єм дорівнює середньому значенню фактичних об'ємів цього ж типу вантажу.** Тому, в подальшому нас буде цікавити знаходження значення параметра y_{20} як функції від суми об'ємів експортних та імпортних вантажів.

Висновки. У результаті проведених досліджень побудована математична модель оцінки ефективності функціонування завантажувально-розвантажувальних процесів вантажного комплексу аеропорту, на основі орієнтованої на вихід оптимізаційної методології Аналізу Середовища Функціонування. Розроблена модель дозволяє перейти до дослідження тенденції зміни фактичних об'ємів експортних та імпортних вантажів, а також сумарного об'єму вантажопотоків через аеропорт, що дасть змогу розробити методику розрахунку значення функції оцінки ефективності завантажувальних та розвантажувальних процесів за значеннями параметрів x_2 і x_1 .

ЛІТЕРАТУРА

1. Еришов Э. Б. О выявлении и использовании структурных особенностей матриц в задачах планирования // Экономика и математические методы. – 1966. – Т. 2. – Вып. 2. – С. 249 – 261.
2. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making // European Journal of Operation Research. – 1978. – Т. 2. – No 6. – P. 429 – 444.
3. Banker R.D. Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale efficiency in data envelopment analysis // Management science. – 1984. – V. 30. – No. 9. – P. 1078 – 1092.
4. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
5. Киселева И. А. Коммерческие банки: Модели и информационные технологии в процедурах принятия решений. – М.: УРСС, 2002. – 400 с.
6. Кривоножко В.Б., Уткин О.Б. Сафин М. М., Лычев А.В. В сб.: Не линейная динамика и управления. – М.: Физматлит, 2007, с. 285 – 303.
7. Emrouznejad A. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA / Emrouznejad A., Parker B., Tavares G. // Journal of Socio-Economics Planning Science. – 2008. – vol. 42(3). – P. 151 – 157.

УДК 625.571

Юрий Горячев
Алексей Куропятник

УЛУЧШЕНИЕ ПРОФИЛЯ МАЯТНИКОВОЙ ПОДВЕСНОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГИ

При проектировании подвесных канатных дорог выполняется поиск оптимально-компромиссного решения, удовлетворяющего условиям экономической эффективности, технологичности и безопасности. Результатом является набор параметров, среди которых выделяют характеристики профиля дороги. Изменение этих величин может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на технико-экономические показатели.

В данной статье рассмотрено влияние смещения опор трехпролетной канатной дороги маятникового типа вдоль трассы на нагруженность элементов привода, которая оценивается по величине окружного усилия.

Під час проектування підвісних канатних доріг здійснюється пошук оптимально-компрісного рішення, яке задовольняє умовам економічної ефективності, технологічності та безпеки. Результатом є набір параметрів, серед яких відокремлюють характеристики профілю дороги. Зміна цих величин може як позитивно, так і негативно впливати на техніко-економічні показники.

У даній статті розглянуто вплив зміщення опор трипрогонної канатної дороги маятникового типу вздовж траси на навантаженість елементів приводу, яка оцінюється за величиною окружного зусилля.

When designing ropeways to search optimally and compromise solution that satisfies the conditions of economic efficiency, technologically and safety. The result is a set of parameters, among which are the characteristics of the ropeway profile. Changing these variables can have both positive and negatively impact on the technical and economic indicators.

This article considers the influence of displacement of supports of the pendulum-type ropeway having three spans along the route to the loading of the elements of the drive, which was estimated by the drive traction.

Ключевые слова: канатная дорога, окружное усилие, нагруженность элементов привода, смещение опор.

Проектирование подвесных канатных дорог различного конструктивного исполнения и назначения предусматривает многовариантный расчет основных

© Горячев Ю. К., Куропятник А. С., 2011

параметров дороги в различных комбинациях их значений с целью достижения максимального экономического эффекта. При этом одной из важнейших задач является поиск оптимально-компромиссного решения, сочетающего в себе экономическую целесообразность, технологичность и безопасность конструкции.

Одной из основных характеристик канатной дороги является производительность (для грузовых дорог) или пропускная способность (для пассажирских дорог). Этот параметр в сочетании с экономическими показателями и техническими характеристиками может быть определяющим при обосновании целесообразности проведения модернизации дороги. Однако при таком подходе вопросы нагруженности элементов конструкции учитываются наименьшим образом. Поэтому проведение исследований с целью формирования новых и гармонизации существующих методик проектного и проверочного (позволяющего оценить техническое состояние действующей дороги) расчетов является актуальной задачей с точки зрения обеспечения безопасности грузо- и пассажироперевозок.

Величина пропускной способности особенно важна для пассажирских канатных дорог, введенных в эксплуатацию десятки лет назад и являющихся одним из основных видов транспорта в месте их расположения. Примером таковой может служить пассажирская подвесная канатная дорога маятникового типа «Мисхор – Ай-Петри», основной задачей которой является доставка туристов и местных жителей от подножья к вершине горы с минимальными затратами времени за счет прямолинейности профиля трассы в плане.

Поскольку количество пассажиров с каждым годом увеличивается, возникла необходимость повышения пропускной способности дороги, которая, как известно [1], зависит от вместимости вагонов, продолжительности цикла транспортировки и прочих факторов, влияние которых мало, а учет сложен. При условии сохранения вместимости вагонов (что обеспечит неизменность рабочей нагрузки с достаточной степенью точности) возможным представляется снижение продолжительности транспортировки за счет модернизации конструкции дороги.

В работе [2] специалистами организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание указанной дороги, предложен один из вариантов решения сформулированной выше проблемы, заключающийся в изменении размещения опор вдоль трассы с целью уменьшения количества циклов разгона и торможения, осуществляемых при проходе вагонами опор. Данное техническое решение позволяет увеличить расчетную пропускную способность дороги почти в 1,5 раза, что, безусловно, является весьма полезным. Тем не менее, учитывая указанные ранее соображения, необходимо также оценить влияние предлагаемой модернизации на нагруженность элементов конструкции дороги с целью сохранения запаса прочности и обеспечения безопасности эксплуатации.

Нагруженность элементов привода канатной дороги как при проектировании, так и в процессе эксплуатации можно оценить, основываясь на результатах анализа диаграмм окружных усилий [3], отражающих изменение соответствующей величины во времени, либо как функции положения вагонов на трассе. При этом приведенные в работе [4] методика и рекомендации позволяют построить диаграммы окружных усилий привода модернизированной дороги до внесения конструктивных изменений.

Целью данной работы является формирование математической модели, позволяющей построить диаграммы окружных усилий привода канатной дороги

«Мисхор – Ай-Петри», выполнить анализ нагруженности элементов привода (по величине окружного усилия) и выдать рекомендации относительно целесообразности проведения предложенной в работе [2] модернизации с точки зрения минимизации нагруженности и улучшения условий работы привода.

При формировании математической модели будем руководствоваться принципами модульной компоновки [5], что позволит обобщить полученные результаты с возможностью применения при анализе аналогичных конструкций.

Результаты исследований [6] свидетельствуют о нецелесообразности размещения опоры двухпролетной маятниковой канатной дороги таким образом, чтобы вагоны проходили ее одновременно (равенство длин траекторий движения вагонов в обоих пролетах), так как это увеличивает (порой весьма существенно – в зависимости от технических характеристик дороги) нагруженность тягового каната и элементов привода. Поскольку данный принцип положен в основу предложенной в работе [2] модернизации, необходимо провести аналогичные исследования по следующим исходным данным:

- профиль – согласно рис. 1;
- полезная нагрузка $P = 32$ кН (40 пассажиров по 80 кг);
- вес пустого вагона $P_0 = 18$ кН;
- погонный вес несущего каната $q_n = 0,1263$ кН/м (канат закрытый несущий по ГОСТ 7675-73 диаметром 47 мм);
- погонный вес тягового каната $q_t = 0,01635$ кН/м (канат двойной свивки по ГОСТ 2688-80 диаметром 21 мм; диаметры головного и хвостового канатов принимаем равными);
- рабочее усилие натяжного устройства, воспринимаемое одной ветвью тягового каната, $T_0 = 56,5/2$ кН (масса противовеса 5,65 т);
- длина каната на трассе $L_k = 1342$ м.

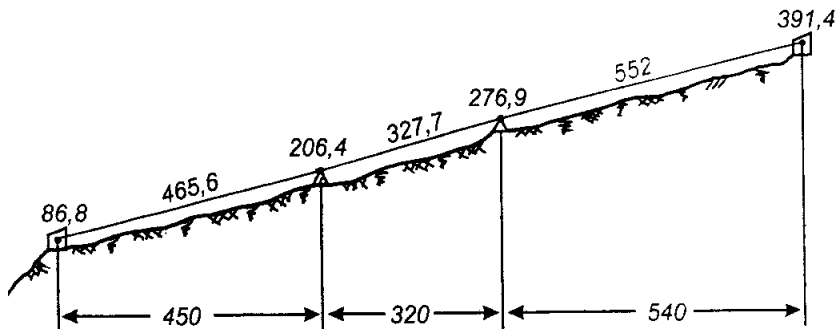


Рис. 1. Профиль канатной дороги «Мисхор – Ай-Петри»

Окружное усилие привода U может быть определено как разность натяжений набегающей на приводной шкив и сбегавшей с него ветвей тягового каната ($T_{нб}$ и $T_{сб}$ соответственно). При этом величины натяжений определяются по формулам [4]:

$$T_{нб} = P_n C_p \cos \gamma_n + P_n \sin \gamma_n + W_n; \quad (1)$$

$$T_{сб} = -P_b C_p \cos \gamma_b + P_b \sin \gamma_b + W_b, \quad (2)$$

где P_n , P_b – составляющие веса нижнего и верхнего вагонов соответственно, воспринимаемые одним тяговым канатом (в рассматриваемой дороге два тяговых каната; под нижним следует понимать вагон, движущийся от нижней станции к верхней, верхний вагон – во встречном направлении);

γ_n , γ_b – углы подъема нижнего и верхнего вагонов соответственно;

W_n , W_b – составляющие натяжения ветвей тягового каната от собственного веса со стороны нижнего и верхнего вагонов соответственно;

C_p – коэффициент сопротивления движению вагона.

Величины P_n и P_b для двух случаев, характеризующих максимальную нагруженность элементов привода, могут быть определены следующим образом:

– нижний вагон полный, верхний – пустой

$$P_n = 0,5(P + P_0); P_b = 0,5P_0; \quad (3)$$

– нижний вагон пустой, верхний – полный

$$P_n = 0,5P_0; P_b = 0,5(P + P_0). \quad (4)$$

Значения углов подъема могут быть определены из таких выражений:

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \beta + \frac{P_n \cos \beta + (q_n + q_t)l}{2H \cos \beta} \left(1 - 2 \frac{x_n}{l}\right); \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_b = \operatorname{tg} \beta + \frac{P_b \cos \beta + (q_n + q_t)l}{2H \cos \beta} \left(1 - 2 \frac{x_b}{l}\right), \quad (6)$$

где β , l – угол наклона хорды и длина пролета соответственно;

H – горизонтальная составляющая натяжения несущего каната;

x_n , x_b – координаты, определяющие положение нижнего и верхнего вагонов по горизонтали относительно верхних опор соответствующих пролетов.

Составляющие натяжения ветвей тягового каната от собственного веса могут быть определены по формулам:

$$W_n = T_0 + q_t(h_c + f l_c); \quad (7)$$

$$W_b = T_0 - q_t(h_c + f l_c), \quad (8)$$

где f – коэффициент сопротивления движению тягового каната;

h_c – перепад высот по конечным станциям;

l_c – длина дороги по горизонтали.

Используя приведенную в работе [4] методику определения величины H и указанные формулы, строим диаграммы окружных усилий привода до и после модернизации дороги (рис. 2). При этом смещение пиковых значений вдоль оси абсцисс объясняется сутью модернизации – смещением опор вдоль трассы [2].

Из диаграмм следует, что изменение пиковых (максимальных и минимальных) значений окружного усилия находится в пределах 10 %, что может считаться допустимым, учитывая нормативный запас прочности и прогнозируемый экономический эффект модернизации. Однако изменение амплитуды колебаний (разности значений пиков одного всплеска величины окружного усилия) превышает 30 % в сторону увеличения таковой для привода модернизированной дороги, что безусловно негативно отразится на нагруженности элементов привода при

динамических нагрузках, сопровождающих процессы разгона и торможения при прохождении вагонами опор. В подобных случаях рекомендуется производить более глубокий технико-экономический анализ для обоснования целесообразности введения предложенной модернизации.

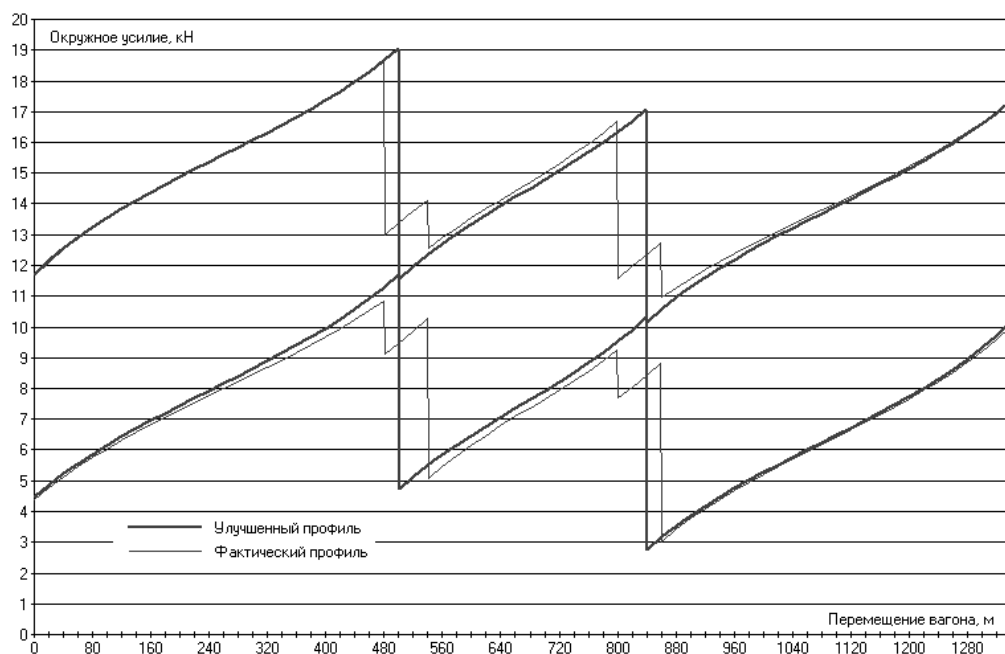


Рис. 2. Диаграммы окружных усилий

ЛІТЕРАТУРА

1. Беркман М. Б. Подвесные канатные дороги / М. Б. Беркман [и др.]. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
2. Сванидзе Л. Г. Размещение опор маятниковой канатной дороги / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – № 4.
3. Сванидзе Л. Г. Окружные усилия на шкивах канатных дорог / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2008. – № 7. – С. 48-50.
4. Горячев Ю. К. Построение диаграмм окружных усилий привода маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев, Л. Г. Сванидзе, А. С. Куропятник, В. Ф. Супрунов // Подъемно-транспортная техника. – 2010. – № 4.
5. Горячев Ю. К. Применение принципа модульной компоновки к математическому моделированию нагруженности несущего каната маятниковой подвесной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава. – 2010. – № 2(27). – С. 205-214.
6. Горячев Ю. К. Рациональное размещение опоры двухпролетной маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Подъемно-транспортная техника. – 2010. – № 2.

УДК 625.151

Едуард Даніленко
Володимир Бойко
Володимир Твердомед

**ВЕРТИКАЛЬНІ ДИНАМІЧНІ СИЛИ ВЗАЄМОДІЇ НА ХРЕСТОВИНАХ
СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ТИПУ Р65 МАРКИ 1/11
НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БРУСАХ**

У статті розглянуті питання теоретичного розрахунку вертикальних динамічних сил взаємодії колії та коліс рухомого складу при проходженні вертикальних нерівностей в межах хрестовин стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах в різних умовах експлуатації та порівняння сил взаємодії з аналогічними силами, що виникають на хрестовинах з дерев'яними брусами.

В статье рассмотрено вопросы теоретического расчета вертикальных динамических сил взаимодействия пути и колес подвижного состава при прохождении неровностей в пределах крестовин стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 на железобетонных брусьях в различных условиях эксплуатации и сравнение сил взаимодействия с аналогичными силами, которые возникают на крестовинах с деревянными брусьями.

In article it is considered questions of theoretical calculation of vertical dynamic forces of way interaction and rolling stock wheels at passage of roughness within crosspieces transfers of type Р65 of mark 1/11 on ferro-concrete bars in various service conditions and comparison of interaction forces with similar forces which arise on crosspieces with wooden bars.

Ключові слова: стрілочний перевід, хрестовина, нерівність, динамічна сила взаємодії.

Розвиток залізничного транспорту України та інтеграція залізниць в єдину транспортну мережу Європи, пов'язані з цим задачі підвищення швидкостей руху поїздів, пропускної та провізної спроможності залізниць, якості та надійності роботи залізничної галузі в цілому – все це потребує вдосконалення та модернізації конструкції залізничної колії та стрілочних переводів.

Стрілочні переводи є найбільш складними конструкціями колії, які працюють у специфічних й більш важких умовах експлуатації порівняно зі звичайною конструкцією колії. Тобто, від технічного стану, надійної, якісної та безпечної роботи стрілочних переводів залежить практично увесь процес перевезень на залізничному транспорті.

© Даніленко Е. І., Бойко В. Д., Твердомед В. М., 2011

Зі становленням роботи залізниць України, як самостійної транспортної системи, змінилась стратегія ведення колійного господарства відносно посилення надійності, міцності та довговічності стрілочних переводів за рахунок укладання в підрейкову основу більш довговічних залізобетонних брусів (замість дефіцитних довгомірних дерев'яних брусів), сумісно із застосуванням надійних пружних рейкових скріплень. Широке впровадження залізобетонних брусів на залізницях України за останні 20 років стало одним із пріоритетних напрямків Укрзалізниці з посилення конструкцій колії.

Робота стрілочних переводів із залізобетонними брусами порівняно з дерев'яними відрізняється тим, що суттєво змінюється жорсткість рейкових ниток та змінюється приведена маса колії, що безпосередньо бере участь у взаємодії з рухомих складом. Сили взаємодії в системі «колесо-рейка» на переводах із залізобетонними брусами суттєво відрізняються від сил взаємодії на звичайній колії, а також від сил взаємодії на переводах із дерев'яними брусами. Сили взаємодії безпосередньо впливають на формування зносу та нерівностей на поверхні кочення стрілочних переводів, зокрема, на хрестовинах, які є найбільш зношуваним елементом конструкції стрілочного переводу, а за станом поверхні кочення на стрілочних переводах, і насамперед на хрестовинах, визначають допустимі швидкості руху переводами.

При теоретичних розрахунках вертикальних сил взаємодії колії та коліс рухомого складу при проходженні нерівностей в межах жолобчатих хрестовин стрілочних переводів на залізобетонних брусах необхідно враховувати увесь комплекс динамічних сил, що виникають, додатково до статичного колісного навантаження, в механічній системі «колесо-рейка» при русі та коливаннях цієї системи.

До факторів, що викликають, коливання системи «екіпаж-колія» і які впливають на формування силової динаміки, як відомо, відносяться: геометричні нерівності рейкових ниток; геометричні нерівності на поверхні кочення коліс; пружні нерівності рейко-шпальної решітки; невідновжені інерційні сили, що виникають при переміщеннях мас рухомого складу; інерційні сили від обертання невідновжених мас на колесах; автоколивальні та резонансні явища в системі; люфти та зазори в елементах колії та рухомого складу.

Питомий вплив зазначених факторів у формуванні динамічної взаємодії неоднаковий. Нерівності на колії та колесах рухомого складу практично повною мірою визначають формування інерції не підресорених мас і сил, тобто тих сил, за рахунок яких при справному рухомих складі фактично повністю відбувається формування силової взаємодії між колесами та конструкцією колії.

У даний час існує достатня кількість розроблених вченими-залізничниками розрахункових схем для теоретичного дослідження динамічних сил взаємодії рухомого складу з елементами колії.

Найбільш точними розрахунковими схемами є такі, що детально моделюють силову взаємодію в просторі та враховують велику кількість ступенів свободи системи. Застосування таких схем потребує великої кількості вихідних параметрів, що ускладнює визначення вихідних даних і підвищує ймовірність внесення в розрахунок неточностей, а це може призвести до значних помилок в кінцевому результаті. Тому розрахункова схема повинна бути підібрана таким чином, щоб при найбільш простому вигляді вона давала результат з достатньою для практичних цілей точністю.

Використання тієї чи іншої схеми потребує відповідного обґрунтування. Порівняльними дослідженнями доведено, що у багатьох випадках складні багаторівневі системи з великою кількістю ступенів свободи можуть бути значно спрощені при вирішенні конкретних задач без значних втрат точності розрахунків.

Із загальної кількості можливих схем взаємодії колії та рухомого складу найбільше застосовуються два типи схем: зі зосередженими масами та з розподіленими масами взаємодії.

З наведених причин в якості розрахункової, прийнята плоска поздовжня схема взаємодії колії (хрестовини) та екіпажу (найбільш розповсюджена конструкція вагона – 4-х вісний вантажний напіввагон із візками ЦНП–ХЗ–О), що розроблена та запропонована д.т.н., професором Е.І. Даніленком в роботі [1]. Розрахункова схема взаємодії (рис. 1) для вирішення плоскої задачі дії екіпажу на рейкову нитку, представлена у вигляді 2-вісного візка, пов'язаного через раму та кузов з другим візком. В якості збуджуючого чинника в прийнятій розрахунковій схемі розглядаються вертикальні нерівності на поверхні кочення хрестовин.

Прийнята розрахункова схема взаємодії достатньо повно описує коливальний процес механічної системи «екіпаж-колія» і дозволяє при правильному виборі розрахункових параметрів колії (стрілочного переводу) та екіпажу отримати результат із необхідною точністю, що задовольняє практичним цілям задачі, що вирішується.

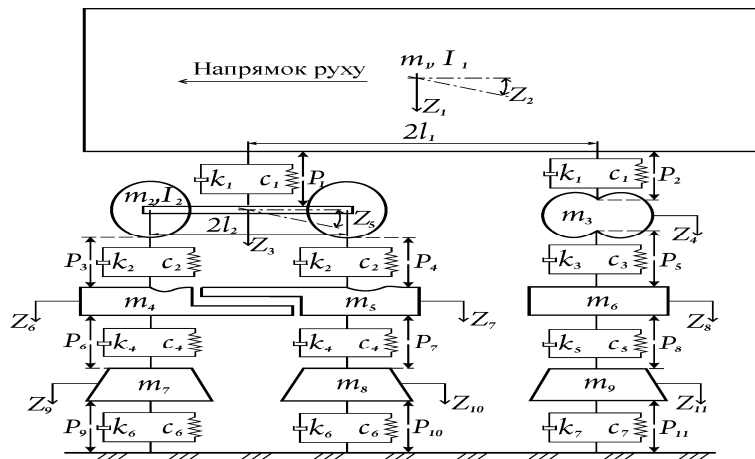


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії хрестовини та екіпажу в поздовжній площині

Мета розрахунку сил взаємодії за прийнятою розрахунковою схемою (рис. 1) полягає в тому, щоб за відомими середньостатистичними вертикальними нерівностями на хрестовинах стрілочних переводів на залізобетонних брусах [2], механічними характеристиками конструкції колії (стрілочного переводу) і рухомого складу визначити динамічні сили взаємодії, які виникають при проході екіпажу по нерівності на хрестовині, що розглядається.

Особливістю прийнятої розрахункової схеми є врахування взаємного впливу на прогин під кожним із коліс, що розглядається, сусіднього колеса у візку через загальну для коліс опору – хрестовину.

Початкові диференціальні рівняння процесу коливань описаної механічної системи «екіпаж-колія», в площині хрестовини (рис. 1) відповідно до принципу д'Аламбера можна представити у вигляді системи з 11-ти рівнянь. Сили вертикальної взаємодії P_i , які входять у систему диференціальних рівнянь (1), визначаються із залежностей (2):

$$\left. \begin{aligned} m_1 Z_1'' + P_1 + P_2 &= 0 \\ I_1 Z_2'' + P_2 l_1 + P_1 l_1 &= 0 \\ (m_{21} + m_{22}) Z_3'' - P_1 + P_3 + P_4 &= 0 \\ m_3 Z_4'' - P_2 + P_5 &= 0 \\ I_2 Z_5'' - P_3 l_2 + P_4 l_2 &= 0 \\ m_4 Z_6'' - P_3 + P_6 + \delta_{6-7} P_7 &= 0 \\ m_5 Z_7'' - P_4 + P_7 + \delta_{7-6} P_6 &= 0 \\ m_6 Z_8'' - P_5 + P_8 &= 0 \\ m_7 Z_9'' - P_6 - \delta_{6-7} P_7 + P_9 &= 0 \\ m_8 Z_{10}'' - P_7 - \delta_{7-6} P_6 + P_{10} &= 0 \\ m_9 Z_{11}'' - P_8 + P_{11} &= 0 \end{aligned} \right\} \cdot \quad (1),$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= c_1 (Z_1 - Z_3 - l_1 Z_2) + k_1 (Z_1' - Z_3' - l_1 Z_2') \\ P_2 &= c_1 (Z_1 - Z_4 - l_1 Z_2) + k_1 (Z_1' - Z_4' - l_1 Z_2') \\ P_3 &= c_2 (Z_3 - Z_6 - l_2 Z_5 - \eta_1(V_t)) + k_2 (Z_3' - Z_6' - l_2 Z_5' - \eta_1(V_t)) \\ P_4 &= c_2 (Z_3 - Z_7 + l_2 Z_5 - \eta_2(V_t)) + k_2 (Z_3' - Z_7' - l_2 Z_5' - \eta_2(V_t)) \\ P_5 &= c_3 (Z_4 - Z_8 - \eta_3(V_t)) + k_3 (Z_4' - Z_8' - \eta_3(V_t)) \\ P_6 &= c_4 (Z_6 - Z_9) + k_4 (Z_6' - Z_9') \\ P_7 &= c_4 (Z_7 - Z_{10}) + k_4 (Z_7' - Z_{10}') \\ P_8 &= c_5 (Z_8 - Z_{11}) + k_5 (Z_8' - Z_{11}') \\ P_9 &= c_6 Z_9 + k_6 Z_9' \\ P_{10} &= c_6 Z_{10} + k_6 Z_{10}' \\ P_{11} &= c_6 Z_{11} + k_7 Z_{11}' \end{aligned} \right\} \cdot \quad (2)$$

На (рис. 1) і у рівняннях (1 і 2) прийняті такі буквенні позначення:

m_1 – маса половини кузова; $m_2 = m_3$ – маса половини візка; $m_4 = m_5$ – приведена маса хрестовини, що віднесена до одного колеса; m_6 – подвоєна приведена маса хрестовини, що віднесена до двох коліс 2-го візка; $m_7 = m_8$ – приведена маса основи стрілочного переводу, що віднесена до одного колеса; m_9 – подвоєна приведена маса основи, що віднесена до двох коліс 2-го візка; Z_i, Z_i', Z_i'' – вертикальні переміщення мас, їх перші та другі похідні; c_i і k_i – відповідні жорсткості пружних зв'язків і коефіцієнти в'язкого тертя дисипативного в'язкого між елементами механічної системи; $\delta_{6-7} = \delta_{7-6}$ – ординати лінії впливу переміщення під силою P_6 від сили P_7 і навпаки; $\eta_1(V_t)$, $\eta_2(V_t)$, $\eta_3(V_t)$ – функції нерівностей під першим, другим колесами та під серединою 2-го візка залежно від пройденого шляху; I_1 – момент інерції кузова відносно осі, що перпендикулярна поздовжній площині симетрії вагона; I_2 – момент інерції візка відносно осі, що перпендикулярна поздовжній площині симетрії вагона; I_3 – момент інерції кузова відносно осі, що перпендикулярна поперечній площині симетрії вагона; I_4 – момент інерції візка відносно осі, що перпендикулярна поперечній площині симетрії вагона; $2l_1$ – відстань між точками обпирання кузова на візок; $2l_2$ – відстань між осями коліс у візку.

Для розв'язання систем диференційних рівнянь використовувався персональний комп'ютер (ПЕОМ), що дозволило при застосуванні алгоритмічних мов програмування досягти як необхідної точності, так і швидкості інтегрування. При цьому застосований найбільш розповсюджений і зручний у програмуванні чисельний метод Рунге – Кутта 4-го порядку, який дозволяє досягти необхідної точності інтегрування. Для чисельного рішення системи диференційних рівнянь прийнятий постійний шаг інтегрування. Зазначений метод дозволяє вирішувати системи звичайних диференційних рівнянь 1-го порядку. Для рішення системи рівнянь 2-го порядку були виконані необхідно перетворення, прийнятні для розрахунку на ПЕОМ.

Задача з визначення сил взаємодії в зоні стрілочного переводу потребує не тільки правильного вибору розрахункової схеми, а і врахування цілого ряду вихідних розрахункових характеристик стрілочних переводів, залежно від конструкції, мети розрахунку та інших факторів. Тому, визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні хрестовин є складною комплексною задачею, процес рішення якої включає послідовне виконання розрахункових етапів.

Вихідними умовами для розрахунку вертикальних динамічних сил взаємодії P_k на хрестовинах типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах є пружно-динамічні характеристики усіх параметрів, відповідно до розрахункової схеми (рис. 1), середньостатистичні вертикальні нерівності на хрестовинах, які отримані експериментальним шляхом при різній зношеності хрестовин (при середньому зносі – пропущений тоннаж $T = 50$ млн т брутто і зносі близькому до максимального – пропущений тоннаж близький до $T = 100$ млн т брутто) та умови експлуатації (швидкість та переважний напрямок руху) [2].

Розрахункову методику для визначення пружно-динамічних параметрів колії та стрілочних переводів із врахуванням їх конструкції та особливостей взаємодії між собою рейкових ниток було розроблено проф. Е.І. Даніленко [1]. Вихідні дані для розрахунків динамічних сил взаємодії величини приведених мас хрестовини, основи під хрестовиною пружно-динамічних параметрів колії визначені теоретично. Розрахунки виконано відповідно до алгоритму [3] з використанням програмного забезпечення, розробленого для ПЕОМ.

Параметри вертикальних нерівностей на поверхні кочення хрестовин (за умови відсутності нерівностей на колесі) є головними збуджуючими чинниками формування силової динаміки та значно впливають на величину вертикальних сил взаємодії в контакт колеса і хрестовини. Вертикальні динамічні сили на хрестовинах залежать насамперед від форми (впадина, горб, синусоїдальна), глибини h , величини зустрічного i_z і сумарного $\sum i$ ухилів нерівності, а також від швидкості та напрямків переважного руху поїздів (пошерстний (ПШ) або протишерстний (ПРШ)).

Сумарна динамічна сила $P_{дин}$, що діє на хрестовину від коліс рухомого складу в зоні нерівності, визначається за формулою:

$$P_{дин} = P_{ст} + P_k, \quad (3)$$

де $P_{ст}$ – статичне навантаження від дії рухомого складу;

P_k – динамічна добавка вертикальної сили в контакт від нерівності на хрестовині, що знаходиться в функціональній залежності від параметрів нерівності, швидкості та переважного напрямку руху.

Для розрахунку сил взаємодії P_k в зоні хрестовин при відомих геометричних параметрах вертикальних нерівностей [2] була розроблена комп'ютерна програма в мережі системи аналітичної математики, яка дозволяє в зручному для користувача виді задавати чи корегувати пружно-динамічні характеристики хрестовин і параметри вертикальних нерівностей (вертикальна нерівність на хрестовині представляється у вигляді координат ламаної лінії по всій довжині траєкторії руху), а також проводити графічну оцінку розподілу динамічних сил взаємодії по довжині вертикальної нерівності.

Безпосередньо розрахунок вертикальних динамічних сил взаємодії P_k виконано для середньостатистичних вертикальних нерівностей [2] за умови впливу однакового екіпажу – вантажний завантажений 4-х вісний напіввагон на візках ЦНП–ХЗ–О в діапазоні швидкостей руху $V = 30 \div 100$ км/год. для умов (ПШ) або (ПРШ) напрямків руху поїздів прямим напрямком. Результати розрахунку сил P_k представлені в табл. 1.

При розрахунках визначались динамічні сили в контакті під 1-м і 2-м колесами візка: колеса з хрестовиною (P_3 і P_4), хрестовиною і брусом (P_6 і P_7), брусом і основою (P_9 і P_{10}).

Таблиця 1. Результати розрахунків сил взаємодії в межах хрестовин типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах

Сила	Швидкість V , км/год.							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Нерівність при середньозношеному стані хрестовини (ПШ рух, середній знос $h \cong 3,0$ мм, пропущений тоннаж $T \cong 50$ млн т брутто)								
P_3	88,49	128,11	163,54	202,19	239,82	275,21	307,13	334,33
P_4	85,37	121,71	159,40	189,08	211,27	250,03	287,00	323,77
P_6	38,08	59,23	90,53	109,72	132,73	155,33	188,93	201,92
P_7	35,17	61,02	90,84	113,57	131,42	156,49	187,48	199,61
P_9	19,03	35,03	44,67	54,09	64,29	65,38	72,99	76,77
P_{10}	20,87	33,74	46,47	56,04	63,76	66,68	73,96	77,63
Нерівність при середньозношеному стані хрестовини (ПРШ рух, середній знос $h \cong 3,0$ мм, пропущений тоннаж $T \cong 50$ млн т брутто)								
P_3	58,64	79,56	96,25	117,21	141,91	161,86	196,52	228,41
P_4	32,01	72,64	89,78	109,31	143,49	158,76	185,59	230,07
P_6	29,48	54,48	66,53	82,01	92,67	110,35	132,72	145,66
P_7	28,78	49,53	63,40	82,47	92,05	108,85	128,07	145,71
P_9	19,03	28,25	40,08	49,29	55,21	55,23	61,53	69,28
P_{10}	17,47	23,65	37,94	44,55	52,53	53,75	62,73	68,29
Нерівність при зносі хрестовини близькому до максимально допустимому (ПШ рух, середній знос $h \cong 6,0$ мм, пропущений тоннаж $T \cong 100$ млн т брутто)								
P_3	54,01	95,4	128,44	177,63	223,76	274,03	323,67	370,90
P_4	47,40	77,24	108,41	164,99	208,43	269,44	319,90	358,98
P_6	32,78	59,07	66,38	87,20	109,88	137,59	171,66	183,40
P_7	32,03	50,84	64,72	84,67	111,22	137,16	157,48	177,93
P_9	20,10	35,69	42,75	56,78	66,72	68,11	72,15	74,16
P_{10}	21,47	33,03	41,98	55,78	65,32	68,54	73,42	75,28
Нерівність при зносі хрестовини близькому до максимально допустимому (ПРШ рух, середній знос $h \cong 6,0$ мм, пропущений тоннаж $T \cong 100$ млн т брутто)								
P_3	76,22	123,45	160,54	205,42	242,70	276,63	304,18	324,95
P_4	55,74	128,11	154,41	178,34	232,60	279,90	299,25	322,39
P_6	46,82	80,28	96,54	121,67	156,10	170,66	171,18	200,19
P_7	46,11	77,75	96,02	114,79	155,18	168,26	172,78	190,33
P_9	22,02	44,34	54,44	65,62	72,75	83,19	84,99	92,94
P_{10}	21,37	41,93	58,69	62,21	71,16	83,46	86,65	91,05

Для порівняльного аналізу вертикальних сил взаємодії, що виникають на хрестовинах, укладених на залізобетонній і дерев'яній основі, в табл. 2 наведено результати розрахунку динамічних сил P_3 , P_6 і P_9 для середньостатистичних вертикальних нерівностей на хрестовинах типу Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах за даними проф. Е.І. Даніленка [1].

Таблиця 2. Сили взаємодії на хрестовинах типу Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах

Сила	Швидкість, км/год.				
	20	40	60	80	100
Нерівність № 1.1, ПШ рух, середній знос					
P_3	12,5	44,4	69,7	123,9	188,6
P_6	13,8	40,0	66,0	90,3	136,7
P_9	12,3	32,7	65,3	84,0	131,2
Нерівність № 1.2, ПШ рух, середній знос					
P_3	10,9	43,7	79,3	139,5	154,9
P_6	11,2	39,1	71,5	103,6	119,2
P_9	9,6	29,5	60,2	92,2	118,1
Нерівність № 1.100, ПШ рух, знос близький до максимального					
P_3	15,9	55,5	74,9	130,4	256,5
P_6	19,4	39,9	71,0	88,6	122,6
P_9	21,8	28,0	56,8	86,4	111,2
Нерівність № 1.20, ПШ рух, знос близький до максимального					
P_3	18,6	61,7	122,8	177,8	238,5
P_6	20,0	54,4	99,1	143,4	184,5
P_9	19,2	41,5	80,2	123,2	159,3

За результатами розрахунків (табл. 1) отримано, що сили взаємодії під 1-м колесом візка (P_3 і P_6) більші ніж під 2-м колесом (P_4 і P_7), за виключенням значень сил в контакті між брусом і основою P_9 і P_{10} (має місце різне співвідношення між силами при різниці не більше ніж 5 кН). Тому на рис. 1 і 2 представлені графічні залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V)$ в контакті під 1-м колесом візка з хрестовиною (P_3), хрестовиною і брусом (P_6), брусом і основою (P_9) для хрестовин на залізобетонних брусах при переважному ПШ і ПРШ напрямку руху. На тих же рисунках також наведено графічні залежності $P_i = f(V)$ для аналогічних розрахунків сил взаємодії P_3 , P_6 і P_9 на хрестовинах на дерев'яних брусах (табл. 2).

Аналіз результатів виконаних розрахунків вертикальних динамічних сил взаємодії при проходженні вертикальних нерівностей на хрестовинах типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах при різній зношеності (середня і максимальна зношеність) та різному переважному ПШ чи ПРШ напрямку руху поїздів і порівняння їх з результатами, що були отримані для хрестовин на дерев'яних брусах [1], дозволив зробити такі висновки:

1. Найбільші значення мають сили в контакті коліс з поверхнею кочення хрестовини. При цьому сили в контакті під 1-м колесом візка з хрестовиною P_3 досягають найбільших значень, ніж аналогічні сили P_4 під 2-м колесом, практично в усьому діапазоні розглянутих швидкостей руху (в окремих випадках найбільше перевищення сили P_4 над силою P_3 складає 4,7 кН).

2. Для хрестовин на залізобетонних брусах при переважному ПШ і ПРШ напрямку руху поїздів однотипні сили взаємодії в контакті під 1-м і 2-м колесами візка з хрестовиною (P_3 і P_4), хрестовиною і брусом (P_6 і P_7), брусом і основою (P_9 і P_{10}) відрізняються один від одного не більше, ніж на 18 %.

Тому, для зручності подальшого аналізу розглядаємо тільки сили під першим колесом P_3 , P_6 , і P_9 .

3. Вертикальні сили, що діють на хрестовини на залізобетонних брусах, отримані більшими, ніж аналогічні сили для хрестовин на дерев'яних брусах, за винятком сил в контакті між брусом і основою колії (P_9 і P_{10}).

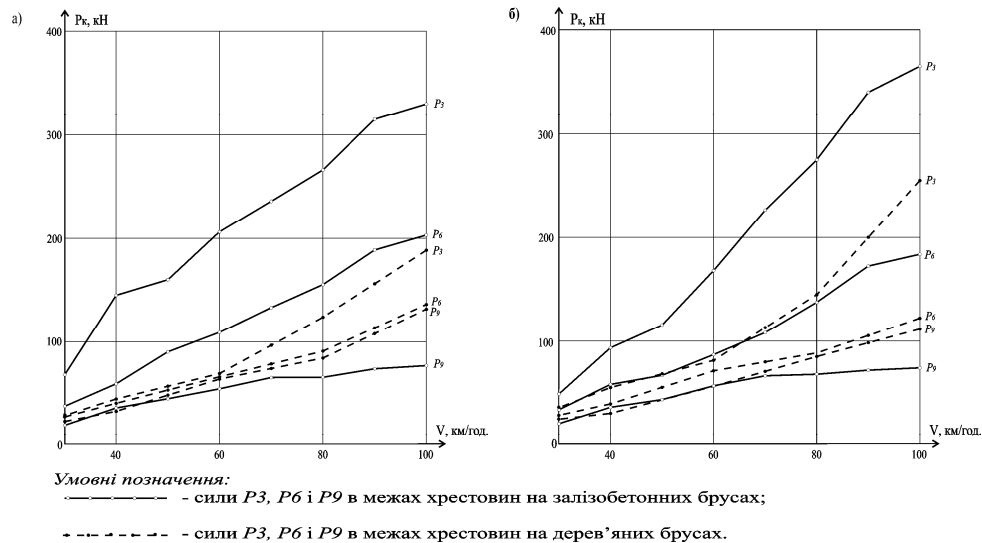


Рис. 2. Сили взаємодії в межах хрестовини при переважному ПШ напрямку руху в різні періоди експлуатації: а) середній знос; б) знос близький до максимального

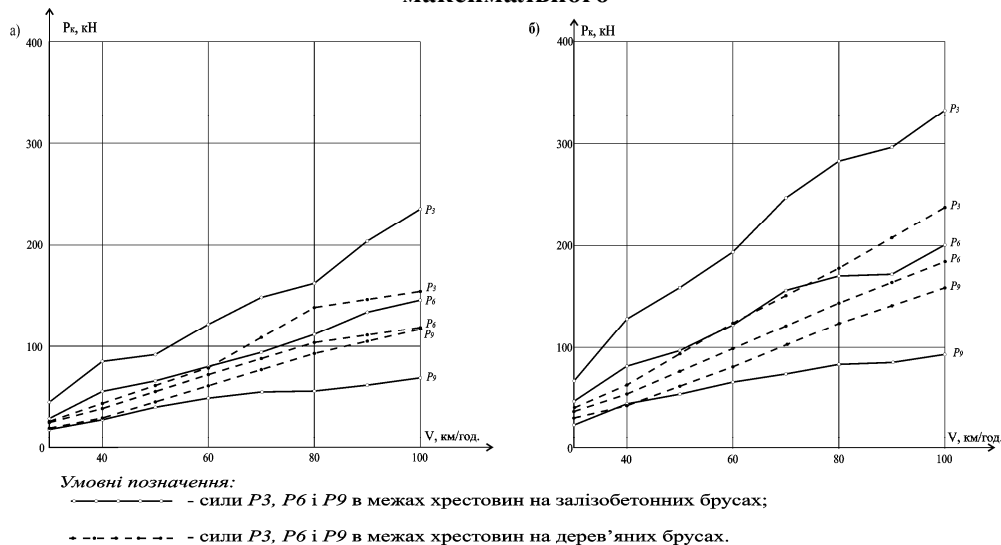


Рис. 3. Сили взаємодії в межах хрестовини при переважному ПРШ напрямку руху в різні періоди експлуатації: а) середній знос; б) знос близький до максимального

4. Порівняння вертикальних динамічних сил взаємодії на хрестовинах на залізобетонних брусах при ПШ і ПРШ русі поїздів показало, що на ПШ хрестовинах динамічні сили взаємодії P_k у 1,2 – 1,5 раза мають більші значення (при швидкості руху $V = 100$ км/год) залежно від величини зносу (максимальний або середній знос хрестовин).

5. Для ПШ хрестовин на залізобетонних брусах величини сил взаємодії в контактні колеса і хрестовини P_3 – менші в середньому у 1,33 раза при максимальній зношеності хрестовин ($T \cong 100$ млн т брутто), ніж при середній ($T \cong 50$ млн т брутто) в діапазоні швидкостей до 80 км/год. При швидкостях більше 80 км/год. сили P_3 – більші у 1,1 раза для максимально зношених хрестовин ($T \cong 100$ млн т брутто), ніж для середньозношених.

Для ПРШ хрестовин, укладених на залізобетонних брусах, величини сил взаємодії в контактні колеса і хрестовини P_3 – більші в середньому у 1,7 раза при максимальній зношеності хрестовин ($T \cong 100$ млн т брутто), ніж при середній ($T \cong 50$ млн т брутто) в діапазоні швидкостей до 80 км/год. При швидкостях більше 80 км/год. сили P_3 – менші у 1,42 раза для максимально зношених хрестовин, ніж для середньозношених.

6. На хрестовинах на залізобетонних брусах:

– із середнім зносом $h_{cp} \cong 3,0$ мм при ПШ русі поїздів вертикальні динамічні сили P_k досягають більших значень у 1,8 – 2,8 раза залежно від швидкості ($V = 40$ – 100 км/год), а при ПРШ напрямку руху вертикальні сили P_k у 1,2 – 1,5 раза більші, ніж аналогічні сили для хрестовин на дерев'яних брусах. Максимальні значення сил досягали $P_k = 334,3$ кН при ПШ русі і $P_k = 228,4$ кН при ПРШ русі зі швидкістю $V = 100$ км/год;

– з максимальним зносом $h_{max} \cong 6,0$ мм при ПШ русі поїздів вертикальні динамічні сили P_k отримані в 1,5 – 2,3 раза більші залежно від швидкості ($V = 40$ – 100 км/год), а при ПРШ напрямку руху вертикальні сили P_k в 1,4 – 1,9 раза більші ніж аналогічні сили для хрестовин на дерев'яних брусах. Максимальні значення сил досягали $P_k = 370,9$ кН при ПШ русі і $P_k = 325$ кН при ПРШ русі зі швидкістю $V = 100$ км/год.

Причиною суттєвого збільшення рівня сил на хрестовинах на залізобетонних брусах є підвищена жорсткість конструкції та збільшена маса колії, що бере участь у взаємодії з рухомим складом, а це призводить до формування більш локальних вертикальних нерівностей на хрестовинах на залізобетонній основі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Даниленко Э.И. Теоретические основы и практические методы расчета прочности и износостойкости пересечений и соединений рельсовых путей промышленного транспорта: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.22.12 / Э.И. Даниленко. – С. Петербург, 1992. – 565 с.
2. Бойко В.Д. Вплив зносу стрілочних переводів на залізобетонних брусах на динаміку взаємодії колії та рухомого складу: дис. ... кандидата техн. наук: спец. 05.22.06 / В.Д. Бойко. – Київ, 2010. – 198 с.
3. Молчанов В.М. Визначення пружнодинамічних параметрів підрейкової основи як передумов для розв'язання проблем силового розрахунку стрілочних переводів / В.М. Молчанов // Збірник наукових праць КУЕТТ. – Вип. 1 – 2. – К., 2003. – С. 16 – 19.

УДК 666. 983

*Олександра Дорошенко
Юрій Дорошенко*

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВПЛИВИ НА БЕТОНИ В ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТЯХ ДОРІГ

У статті розглядаються фактори, що впливають на експлуатаційні властивості цементобетонних покриттів доріг. Показано, що застосування суперпластифікаторів, дисперсного армування та покращення якості вихідних матеріалів дозволяють підвищити якість цементобетонного покриття доріг.

В статье рассматриваются факторы, влияющие на эксплуатационные свойства цементобетонных покрытий дорог. Показано, что применение суперпластификаторов, дисперсного армирования и улучшения качества исходных материалов позволяют повысить качество цементобетонного покрытия дорог.

The article deals with factors affecting the performance properties of concrete pavement of roads. Shown that the use of superplasticizer, disperse reinforcement and improvement of the quality of the source materials allow to increase the quality of cement concrete pavements.

Ключові слова: покриття доріг, цементобетон, морозостійкість, водонепроникність, довговічність.

Бетон дорожніх споруд працює в несприятливих навколишніх умовах, оскільки піддається не тільки механічному впливу транспортних засобів, але й дії атмосферних опадів, що приводить до багаторазового зволоження й висушування, заморожування й відтаювання) [1, 2, 3, 4]. Таким чином, для перешкодження даному типу впливів і підвищенню довговічності бетону необхідно підвищувати його водонепроникність (W) [5, 6]. Основною причиною проникності бетону є наявність у його структурі капілярної пористості [7, 8]. Бетон мав би досить високу водонепроникність, якби складався винятково із твердих часток [9]. На практиці в суміш вводять більше води, ніж потрібно для гідратації цементу. Цей надлишок води при випаровуванні створює порожнечі й пори, які можуть з'єднуватися між собою й створювати капілярні канали. А.М. Невиль вважав [5], що основну роль у проникності бетону відіграє проникність цементного каменю.

На дорожній бетон впливає також волога, що проникає в бетон за рахунок капілярного підсмоктування. Основною причиною капілярного підсмоктування є наявність у бетоні системи найтонших капілярів, що сприяють переносу вологи.

© Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., 2011

Як окремий вид впливу, який має загальну природу з капілярним підсмоктуванням, є безнапірна фільтрація. У роботах [10, 11] досліджувалася безнапірна водопроникність бетону і цементного каменю. На мінімізацію деформативності й проникності впливають: застосування суперпластифікаторів, оптимальне співвідношення кристалогідратів і гелю, В/Ц і коефіцієнтів розсунення зерен.

Зволоження матеріалу викликає його набрякання, а висушування – усадку. Обидва процеси характеризуються відповідними об'ємними деформаціями, які створюють у бетоні внутрішні напруження. Усадка бетону виникає під впливом фізико-хімічних й капілярних явищ, що відбуваються в гелієвій складовій цементного каменю й обумовлені зміною вологовмісту в бетоні [12]. Висихання зволжених конструкцій відбувається за рахунок градієнтів температури і вологості між конструкцією й середовищем експлуатації [13]. Із проходженням циклів зволоження й висушування відзначаються нарощування залишкових деформацій, які можуть бути визначені як утома [14].

Усадка й усадочні напруги в бетоні найнебезпечніші у ранньому віці [15]. Свіжеукладений бетон під дією сухого повітря, сонця й вітра інтенсивно випаровує вологу, що викликає зменшення його обсягу й ускладнює процес твердіння й формування структури. Виникають внутрішні усадочні напруги, які погано компенсуються маломіцним бетоном. У цей період на поверхні бетону з'являються усадочні тріщини.

Зовнішні знакозмінні деформації від зволоження й висушування викликають пошкодження бетону та нагромадження внутрішніх дефектів [13, 16] у подальшій експлуатації конструкції.

Усадка матеріалів, як капілярно-пористих тіл, пов'язана з тиском меніска рідини в капілярі на стінки капіляра [17], тобто в тріщині меніск рідини давить на береги тріщин, викликаючи збільшення ширини її розкриття. В тріщині, яка заповнена водою, реалізується «ефект Ребіндера», пов'язаний з адсорбційним зниженням міцності [18], що веде до збільшення обсягу капілярно-пористих тіл при їхньому насиченні водою [19].

Дія багаторазового заморожування й відтавання впливає на верхній шар цементобетонного покриття. На бетони дорожнього покриття узимку діє:

- багаторазове заморожування й відтавання в насиченому стані; причому бетон може насичуватися як чистою водою, так і розчинами хлористих солей;
- багаторазове замерзання під шаром води з утворенням на поверхні бетону шару льоду;
- багаторазове відтавання шару льоду на поверхні бетону із застосуванням хлористих солей;
- багаторазове глибоке висушування (виморожування) бетону, насиченого розчином хлористих солей.

Важливу роль у забезпеченні необхідної морозостійкості бетону відіграє наявність нормальних умов твердіння в початковий період. Порушення таких умов твердіння приводить до інтенсивного проходження масообмінних процесів, викликаних градієнтами температури й вологості, а також їхньою спільною дією. Рідка фаза піднімається до поверхні, утворюючи в його розчинній частині пори й капіляри відкритого типу або розширюючи вже існуючі. Важливу роль відіграє водно-тепловий режим конструкції дорожнього одягу в цілому. При близькому розташуванні ґрунтових вод може відбуватися інфільтрація вологи знизу, що

приведе до того, що бетон постійно зволожується і перебуває в стані часткового водонасичення, і його руйнування під дією негативних температур може відбуватися швидше. При цьому утвориться велика кількість відкритих макропор.

Морозне руйнування бетону пов'язане із значним розширенням води при її переході в лід у порах матеріалу. Тиск замерзаючої води в незамкнутах порах може досягати сотень атмосфер [20].

Вважалося [21, 22], що відбувається вплив льоду, який кристалізується, на стінки пор, що викликає місцеві напруження. Пізніше дослідники прийшли до думки, що причиною руйнування при заморожуванні й відтаванні є гідравлічний тиск, що виникає у вологому бетоні при замерзанні води [21].

Було запропоновано близько 20 гіпотез морозного руйнування [23]: гідравлічний тиск некрижаної води, що обтискується льодом, який утворюється в порах; кристалізаційний тиск льоду; утворення «льодових лінз»; осмотичний тиск; міграція води через пористе середовище в зону контакту між льодом і пористою основою; сегрегація льоду в мікропорах й ін. Процес деструкції бетону при заморожуванні й відтаванні варто розглядати як розвиток і нагромадження тріщин у гетерогенному матеріалі [24]. При замерзанні рідини тиск від збільшення її обсягу передається на береги тріщини й на воду в плівковому стані, що не змінила свій агрегатний стан. Крім того, у полі високих напруг у вершині тріщини може відбуватися зрушення [13]. Це приводить до розсунення сторін тріщини та збільшення її довжини з подальшим зниженням міцності [25].

У тонких порах і капілярах з розмірами $10^{-5} \dots 10^{-7}$ см вода перебуває в структурованому виді й температура її замерзання досягає -50°C .

Процес корозії бетону в агресивних середовищах – це комплекс гетерогенних хімічних процесів взаємодії бетону з компонентами агресивного середовища [26]. Корозійні процеси в бетоні і залізобетоні під впливом агресивних середовищ дуже різняться між собою. Це пов'язано як з різноманітністю властивостей бетону (його станом), так і з властивостями агресивного середовища.

Корозія першого виду можлива, коли під дією однобічного напору виникає фільтрація води крізь товщу бетону. Наслідком корозії першого виду є розчинення і виносення із структури бетону продуктів гідратації цементу, що істотно знижує показники фізико-механічних властивостей бетону і поступово руйнує його. Найбільш розчинною речовиною є утворюваний при гідролізі гідроксид кальцію.

Суть корозії другого виду [27] полягає у розвитку обмінних реакцій між кислотами чи солями навколишнього середовища і складовими елементами цементного каменю. Внаслідок таких реакцій у поверхневих шарах бетону, які стикаються з агресивним середовищем, виникають новоутворення без в'язучих властивостей і достатньої щільності. Ці речовини розчиняються або вимиваються механічно, при цьому оголюються нові шари бетону; так процес продовжується до повного руйнування бетону.

Найнебезпечнішим видом хімічних впливів можна вважати сульфоалюмінатну корозію – під дією сульфатних вод у цементному камені утворюється етрингіт, і як показали останні дослідження, таумасит [28].

У результаті впливу сульфатів бетон поступово руйнується й переходить у пухкий стан, що легко виявляється візуально [29].

Основною ознакою корозії третього виду є нагромадження в порах-капілярах і інших порожнечах цементного каменю, розчину або бетону, кристалів солей, що утворилися за рахунок хімічних реакцій взаємодії агресивного середовища й

складових частин новотворів цементного каменю. Кристали солей, розширюючись, руйнують стінки пор цементного каменю.

Особливо великий вплив робить утворення на поверхні бетону шару льоду й дія солей відтаювання. При замерзанні під шаром льоду підвищується ступінь водонасичення бетону, особливо в поверхневому шарі, що стикається з льодом [30]. Танення льоду при негативній температурі під дією хлористого натрію є ендотермічним процесом і тому у поверхневому шарі бетону відбувається різке зниження температури.

Відзначається також прискорене руйнування бетону при заморожуванні в розчинах електролітів, зокрема хлоридів. Існує думка, що це відбувається через інтенсифікацію хімічної корозії, пов'язаної з підвищенням концентрації солей у розчині в міру виморожуваного з нього прісного льоду [31].

У процесі руйнування бетону, насиченого розчинами хлоридів, при його заморожуванні важливу роль відіграє гідравлічний тиск, що виникає, коли концентрація розчину становить близько 4 % [32].

При висушуванні бетонів, насичених розчинами хлористих й інших солей, відбувається кристалізація цих солей у порах бетонів. Деякі із цих солей при зміні вологості переходять із безводної форми в кристалогідрати зі значним збільшенням об'єму. Такі перетворення солей викликають значні додаткові напруги в бетоні. Є дані про негативний вплив на міцність бетону концентрованого розчину NaCl, навіть при короткочасному впливі [33].

Важливими властивостями дорожнього цементного бетону є його міцність утоми – здатність зберігати міцність при багаторазовому механічному навантаженні, а також його деформативність. Під деформативністю дорожнього цементного бетону мається на увазі його здатність змінювати форму й розміри не руйнуючись. Щільність, морозостійкість і водонепроникність дорожнього цементного бетону визначають його довговічність. Необхідна щільність забезпечується оптимальним змістом води в цементобетонній суміші ($V/C < 0,5$). Морозостійкість же цементного бетону залежить як від морозостійкості складових матеріалів, так і щільності бетону [34].

Фізичний і хімічний вплив навколишнього середовища проявляється одночасно з механічними впливами транспорту й засобів експлуатації (стирання, вдавнення й удари).

Останнім часом спостерігається стійка тенденція збільшення кількості, вантажопідйомності й швидкості руху транспортних засобів. З урахуванням існуючого стану дорожніх покриттів по показниках рівності дані тенденції приводять до істотного збільшення динамічної складової тиску на покриття.

В умовах постійного недоремонту мережі автомобільних доріг, при погіршенні показника рівності покриття, дорожні одяги починають працювати в умовах динамічних перевантажень, що приводить до їхнього прискореного руйнування. Динамічні перевантаження на нерівних ділянках у середньому становлять 50 – 90 %, при припустимих – 30 %.

Характерна риса роботи цементобетонних покриттів полягає у тому, що всі впливи сприймаються, у першу чергу, поверхневим шаром [30]. При цьому руйнування бетону відбувається, в основному, у поверхневому шарі. У початковий період руйнується поверхневий шар бетону шляхом відшарування товщиною 0,1-1 см. Потім відбувається поступове руйнування розчину в глибину. Крупний

заповнювач оголюється й під впливом динамічних впливів коліс автотранспорту викиришується з бетону [35].

Механічні впливи автомобільного транспорту викликають у цементобетонному покритті вертикальні й горизонтальні зусилля. Під впливом вертикальних навантажень відбувається вигин, наприклад, плит, що лежать на пружній основі, що викликає появу в бетоні напруг розтягання при вигині [36]. Горизонтальні зусилля в покритті виникають (особливо при гальмуванні) при руху транспорту зі змінною швидкістю. Ці зусилля викликають напружений стан, як правило, у поверхневих шарах покриття й спричиняють додаткове абразивне зношування дорожнього бетону.

Довговічність конструкцій багато в чому залежить від того, наскільки правильно при їхньому зведенні були враховані особливості поведінки бетону при динамічному навантаженні [37].

Позитивним моментом для протидії динамічним впливам бетонів можна вважати факт більшої стійкості дрібнозернистих бетонів порівняно з бетонами на великому заповнювачі [37]. У роботі [25] показано, що при ударних навантаженнях руйнування бетону відбувається через розвиток внутрішніх поверхонь розділу. Стійкість бетонів як грубогетерогенних матеріалів до ударних навантажень може бути підвищена за рахунок керування макроструктурними параметрами в процесі самоорганізації матеріалу.

Відповідно до напруженого стану до цементного бетону дорожніх покриттів пред'являються вимоги по міцності на стиск і розтягання при вигині, які викладені у ДБН В.2.3-4:2007 «Автомобільні дороги». Відзначимо, що для дорожнього цементного бетону міцність на розтягнення при вигині має більш важливу роль [36].

У результаті різкого збільшення інтенсивності транспортних потоків, погіршення навколишнього середовища (автомобільні вихлопи, пально-мастильні й антигололедні реагенти й т.п.), істотно зросли навантаження на дорожні одяги, у тому числі й із цементобетонними покриттями. Актуальним є пошук рішень, спрямованих на збільшення термінів служби дорожніх одягів, у тому числі із цементобетонними покриттями, що працюють в тяжких умовах експлуатації. В цей час при будівництві й реконструкції автомобільних доріг однією з основних умов є підвищення довговічності й експлуатаційної стійкості дорожніх покриттів.

Для підвищення довговічності дорожнього бетону необхідно знизити рівень його внутрішнього напруженого стану до величини, що забезпечує його тривалу роботу (збереження розрахункової міцності) з урахуванням транспортних, кліматичних і експлуатаційних (боротьба з ожеледдю) й інших впливів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Леонович И.И., Бабаскин Ю.Г. Исследования эксплуатационных свойств дорожного цементного бетона // Совершенств. трансп.-эксплуатац. качеств автомоб. дорог: Мат-лы междунар. науч.-техн. конф. 4.1. – Минск: Белорус. гос. политех. акад. – 1996. – С. 54-56.
2. Бунин М.В., Грушко И.М., Ильин А.Г. Структура и механические свойства дорожного цементного бетона. – Харьков: изд-во универ., 1968. – 199 с.
3. Свиридов Н.В. Повышение долговечности цементобетонных аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1979. – 167 с.
4. Слободчиков Ю.В. Условия эксплуатации и надёжность работы автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1987. – 128 с.
5. Невиль А.М. Свойства бетона / А.М. Невиль. – М.: Из-во лит-ры по строительству, 1972. – 344 с.

6. *Алексеев С.Н.* Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н.Алексеев, Ф.М.Иванов, С. Модры, П. Шиссель. – М.: Стройиздат, 1990. – 317 с.
7. *Элбакидзе М.Г.* Фильтрация воды через бетон и бетонные гидротехнические сооружения / М.Г. Элбакидзе. – М.: Энергия, 1974 – 145 с.
8. *Сизов В.П.* К вопросу прогнозирования водонепроницаемости бетона / В.П. Сизов // Бетон и железобетон. – № 6. – 1996. – С. 8-11.
9. *Стольников В.В.* Исследования по гидротехническому бетону. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 330 с.
10. *Плугин А.А.* Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: коллоидно-химические основы. Дис. на соискание уч. степени д.т.н. по спец. 05.23.05 / Плугин Андрей Аркадиевич. – Харьков, 2005. – 426 с.
11. Содержание и ремонт инженерных сооружений, работающих в сложных условиях // А.Н. Плугин, О.А. Калинин, Д.В. Шумик и др. / Залізничний транспорт України. – 2001. – № 2. – С. 49-53.
12. *Бутт Ю.М.* Технология цемента и других вяжущих веществ / Ю.М. Бутт. – М.: Стройиздат, 1986. – 407 с.
13. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будивельник, 1991. – 144 с.
14. *Попов Н.А.* К вопросу усталости бетона при многократных циклах чередующихся воздействий окружающей среды / Н.А. Попов, В.А. Невский // Труды каф. строительных материалов МИСИ. – М.: 1957. – № 5. – С. 73-91.
15. *Миронов С.А.* Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата / С.А. Миронов, Е.Н. Малинский. – М.: Стройиздат, 1985. – 317 с.
16. *Krasilnikov K.G.* The change of cement stone porous structure in the process of expansion and shrinkage at adsorption of water / K.G. Krasilnikov, N.N. Skoblinskaya // Pore struct. and propert. mater. proc. Int. Symp. RILEM / IUPAC, Prague 1973. Final Rept. Part 4. -Prague, Academia, -1974. – P.51-69.
17. *Цицосани З.Н.* Усадка и ползучесть бетона / З.Н. Цицосани. – Тбилиси: Мецниереба, 1979. – 230 с.
18. *Ребиндер П.А.* Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
19. *Суханов В.Г.* Моделирование структуры материала конструкций как открытых самоорганизующихся систем / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой // Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 201-202.
20. *Горчаков Г.И.* Коэффициент температурного расширения и температурной деформации строительных материалов / Г.И. Горчаков, И.И. Лифанов, Л.Н.Терехин – М.: Изд. комитета стандартов, мер, измерительных приборов при Совете министров СССР, 1968. – 150 с.
21. *Добролюбов Г.* Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.
22. *Красильников К.Г.* Фазовые переходы вода-лед в порах цементного камня и бетона. Физико-химические исследования бетонов и их составляющих / К.Г. Красильников, А.Ф. Тарасов // Труды НИИЖБ, вып. 17. – М., 1975. – С. 100.
23. *Подвальный А.М.* Механизм морозного разрушения бетонных и железобетонных конструкций / А.М. Подвальный // Бетон и железобетон – пути развития. Том 3. Технология бетона. Сборник трудов 2 всероссийской конференции. – М., 2005. – С. 171-177.
24. *Подвальный А.М.* Механизм проявления в бетоне собственных деформаций и напряжений / А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2007. – № 4. – С. 13-16.
25. *Выровой В.Н.* Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.
26. *Розенталь Н.К.* Проблемы коррозии бетона / Н.К. Розенталь // Мат-лы 1-й всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия», книга 3. – М.: Ассоциация «Железобетон», 2001. – С. 1419-1430.
27. *Волянський О.А.* Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій: Підручник – К.: Вища шк., 1994. – Ч. 1. Технологія бетону. – 271 с.
28. *Федосов С.В.* Сульфатная коррозия бетона / С.В. Федосов, С.М. Базанов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 192 с.
29. *Мишутин А.В.* Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003. – 192 с.
30. *Геймор В.Ф.* О прочности и других свойствах верхнего слоя бетонного покрытия // Повышение работоспособности дорожных конструкций в условиях сухого жаркого климата. – М., 1990. – С. 12-14.

31. *Адамчик К.А.* Коррозионная морозостойкость бетонов/ Тр. НИИЖБ. – Вып. 22. – М.: Стройиздат, 1961. – С. 105–118.
32. *Бабушкин В.И.* Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – М., 1968. – 187 с.
33. Долговечность железобетона в агрессивных средах: Совм. изд. СССР-ЧССР-ФРГ / С.Н.Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
34. *Грушко И.М.* Структура и прочность дорожного цементного бетона / И.М. Грушко, Н.Ф. Глушенко, А.Г. Ильин. – Харьков: изд-во ХГУ, 1965. – 15 с.
35. *Леонович И.И., Лазук Г.Н., Зиневич СИ.* Дефекты цементно-бетонных дорожных покрытий и меры по их предотвращению // Совершенствование технико-экономических качеств автомобильных дорог: Мат-лы междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 1. – Минск: Бел. гос. политех. акад., 1996. – С. 70-76.
36. *Орловский Ю.И.* Оценка напряжённого состояния бетона дорожных конструкций // Бетон и железобетон. – 1995. – № 4. С. – 2-5.
37. *Баженов Ю.М.* Бетон при динамическом нагружении / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.

УДК 629.463.125

Вадим Ищенко
Надежда Брайковская

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
КОМПРЕССОРА ПРИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ
РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ ВАГОНОВ**

Изложена методика определения холодопроизводительности компрессора рефрижераторных вагонов, которая основывается на современных методах проведения теплотехнических испытаний холодильных систем.

Викладена методика визначення холодопродуктивності компресора рефрижераторних вагонів, яка застосована на сучасних методах проведення теплотехнічних випробувань холодильних систем.

The technique of determining cold-compressor refrigerator cars, which is based on modern methods for thermal testing of refrigeration systems.

Ключевые слова: рефрижераторный вагон, холодильная установка, компрессор, холодопроизводительность, испытания.

Определение важнейшей характеристики холодильных установок рефрижераторных вагонов – холодопроизводительности, в настоящее время осуществляется только на специальных стендах завода-изготовителя. Для точного определения холодопроизводительности специальные стенды стабилизируют внешние нагрузки и температурные режимы и, что наиболее сложно, обеспечивают измерение секундного расхода циркулирующего хладагента.

Испытания, которые проводятся на ремонтных предприятиях, дают лишь общую оценку теплотехнического состояния холодильной установки и рефрижераторного вагона. Это значит, что в течение длительного времени эксплуатации, особенно после капитального или деповского ремонтов рефрижераторных вагонов и при использовании альтернативных хладагентов, нет каких либо данных о действительной холодопроизводительности холодильной установки.

Существующие современные методы позволяют целенаправленно проводить испытания холодильного оборудования с использованием компьютерных программ, уменьшить их объем, находить оптимальные условия протекания рабочего процесса, повышать точность обработки полученных результатов, сокращать затраты и стоимость работ.

В реальных условиях компрессор эксплуатируется при самых различных сочетаниях рабочих температур и давлений, чаще всего отличающихся от условий испытаний. Для определения холодопроизводительности, моделируют условия работы в зависимости от типа и назначения холодильной установки, в составе которой испытывается компрессор.

© **Ищенко В. Н., Брайковская Н. С., 2011**

По результатам испытаний предусматривается построение характеристик компрессора в виде графических зависимостей [1]

$$Q_0, N_e, E = f_i(x_i), \quad (1)$$

где Q_0 – холодопроизводительность компрессора, Вт;

N_e – эффективная мощность компрессора, Вт;

E – эффективный холодильный коэффициент.

$$i = 1.2; x_1 = P_0; x_2 = P_k$$

P_0 – давление кипения хладагента, Па;

P_k – давление конденсации хладагента, Па.

Для оценки технического состояния испытуемого компрессора, построенные по результатам испытания графические зависимости холодопроизводительности от режима работы $Q_0 = f(P_k, P_0)$, сопоставляются с зависимостями завода-изготовителя. Зависимость $Q_0 = f(P_k, P_0)$ является внешней характеристикой компрессора, которая определяется на основании объемной производительности компрессора по формуле [2]

$$Q_0 = \lambda V_h q_v, \quad (2)$$

где λ – коэффициент подачи компрессора;

V_h – объем описываемый поршнями компрессора за единицу времени, м³/с;

q_v – удельная объемная холодопроизводительность всасываемых поров хладагента Дж/м³.

Для построения теоретического значения зависимости $Q_0 = f(P_k, P_0)$ компрессора 4ПБ28 холодильной установки ВР-18х2-1-2 рефрижераторной секций РС-4 при его эксплуатации на альтернативном хладагенте составлена математическая модель при использовании уравнения, определяющего объемную производительность компрессора (2).

Обычно коэффициент подачи компрессора определяют опытным путем, обобщая данные в виде графических зависимостей или эмпирических уравнений.

Для определения коэффициента подачи фреоновых компрессоров типа 2ФУУБС-18 холодильных установок ВР-1М рефрижераторных 5-вагонных секций постройки Брянского машиностроительного завода, ВНИИ холодмаш рекомендует формулу [3]

$$\lambda = 0,855 - 0,0425 \cdot \frac{P_k}{P_0}. \quad (3)$$

Компрессор 4ПБ28 по конструкции картера, всасывающих и нагнетательных коллекторов, кривошипно-шатунного механизма, всасывающих и нагнетательных клапанов имеет аналогичную конструкцию с поршневым фреоновым компрессором типа 2ФУУБС-18. На основании приведенной аналогии для определения коэффициента подачи компрессора 4ПБ28 используем формулу (3). С учетом значения удельной объемной холодопроизводительности всасываемых поров хладагента математическая модель для построения зависимости $Q_0 = f(P_k, P_0)$ приобретает вид

$$Q_0 = \left(0,855 - 0,0425 \cdot \frac{P_k}{P_0} \right) \cdot V_h \cdot \frac{h_1 - h_4}{v_1}, \quad (4)$$

где h_1, h_4 – энтальпия хладагента соответственно на всасывании в компрессор и после регулирующего вентиля, Дж/кг;
 v_1 – удельный объем пара хладагента на стороне всасывания компрессора, м³/кг.

Использование математического уравнения (4) в компьютерной программе позволяет установить теоретическое значение холодопроизводительности компрессора в широком диапазоне изменения давления кипения хладагента P_0 при разных постоянных давлениях конденсации хладагента P_k и построить зависимость $Q_0 = f(P_k, P_0)$ для компрессора 4ПБ28 при его эксплуатации на альтернативном хладагенте С10М1 марка А (рис. 1).

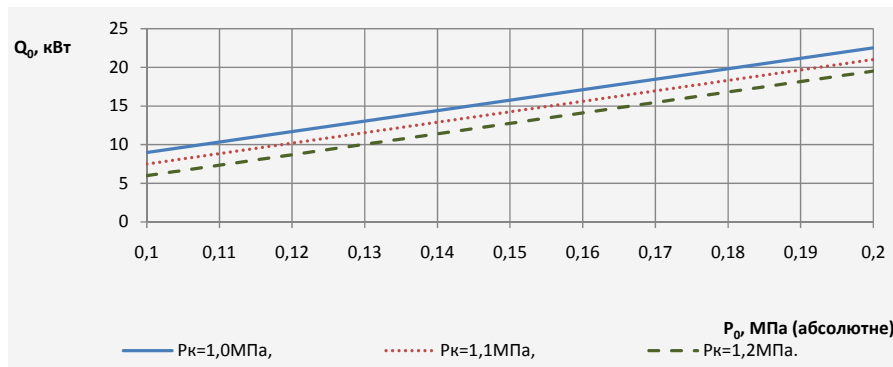


Рис. 1. График зависимости холодопроизводительности компрессора 4ПБ28 от давления кипения и конденсации хладагента С10М1 марка А

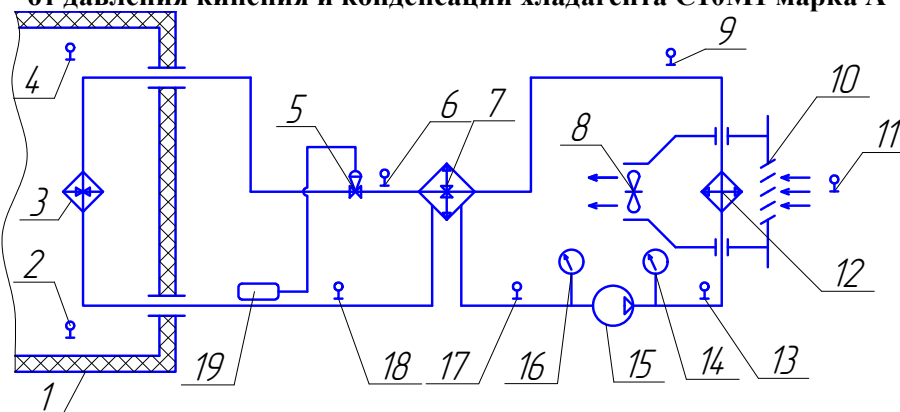


Рис. 2. Схема размещения измерительных приборов для определения холодопроизводительности компрессора типа 4ПБ28:

1 – грузовое помещение вагон, 2, 4, 6, 9, 11, 13, 17, 18 – датчики температуры, 3 – испаритель, 5 – терморегулирующий вентиль, 7 – теплообменник, 8 – вентилятор конденсатора, 10 – жалюзи, 12 – конденсатор, 14 – манометр давления нагнетания, 15 – компрессор, 16 – манометр давления всасывания, 19 – термобалон терморегулирующего вентиля.

Для определения холодопроизводительности компрессора 4ПБ28 холодильной установки ВР-18х2-1-2 предлагается схема размещения измерительных приборов при теплотехнических испытаниях рефрижераторных секций РС-4 (рис. 2). На основании полученных данных о режиме работы холодильной установки строиться графическая зависимость $Q_0 = f(P_k, P_0)$, позволяющая при сопоставлении с расчетными значениями оценить техническое состояние испытуемого компрессора.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая методика определения холодопроизводительности компрессора рефрижераторных вагонов базируется на современных методах испытаний и предусматривает построение характеристик компрессора в виде графических зависимостей.

2. На основании математического обеспечения и компьютерных программ построенные теоретические зависимости холодопроизводительности компрессора от условий работы $Q_0 = f(P_k, P_0)$ используются для оценки значений холодопроизводительности действительного компрессора.

3. Определение холодопроизводительности компрессора при испытании рефрижераторных вагонов осуществляется по показаниям измерительных приборов, использования математического обеспечения и компьютерных программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцова Н.С., Петрушанская Л.Я., Якименко В.Я. Планирование эксперимента определения холодопроизводительности компрессора // Холодильная техника. – 1986. – № 8. – С. 22-25.
2. Холодильные машины. / Под общей редакцией д-ра техн. наук, проф. Н.Н. Кошкина. – М.: Пищевая промышленность, 1973.
3. Бартош Е.Т. Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 304 с.
4. Соколов М.М. Диагностирование вагонов. – М.: Транспорт, 1990. – 197 с.
5. Технические условия на хладагент С10М1, ТУ2412-003-32837395-98. – С-Петербург, АОЗТ «Астор», 1998. – 25 с.
6. Секция пятивагонная рефрижераторная с машинным охлаждением и электроотоплением. Модель 16-380. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 380.00.00.000 ТОІ. – 1978. – 122 с.

УДК 656.2

*Вадим Іванов
Віталій Косенко
Сергій Панов*

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЕЛАСТИЧНИХ МУФТ В ПРИВОДАХ ЛОКОМОТИВІВ

До сучасних приводів локомотивів висуваються досить високі вимоги відносно їх надійності та технічної готовності, що забезпечується надійністю всіх компонентів трансмісії, які мають здатність до коливань з певною власною частотою. Зменшення динамічної амплітуди коливань за допомогою високоеластичних муфт забезпечує значне зростання термінів служби компонентів трансмісії.

К современным приводам локомотивов предъявляются достаточно высокие требования относительно их надежности и технической готовности, которые обеспечиваются надежностью всех компонентов трансмиссии, подверженным колебаниям с определенной собственной частотой. Уменьшение динамической амплитуды колебаний с помощью высокоэластичных муфт обеспечивает значительное увеличение сроков службы компонентов трансмиссии.

There are very high requirements to the modern drive systems of locomotives concerning the reliability and technical availability, which are depended on all transmissions components, that are able to vibration with itself frequency. Reducing of dynamic vibration amplitude due to highly flexible coupling provides a considerable growth of transmission components service life.

Приводи сучасних машин, у тому числі й транспортних, є багатомасовими крутильними системами, що мають певну пружність окремих ділянок. Вони працюють в умовах впливу значних навантажень (як правило, змінних) і мають певний спектр власних частот, що характеризують їх динамічні властивості. На деяких режимах роботи (поблизу резонансних зон) виникає необхідність захисту окремих частин приводу від небезпечно великих за амплітудою коливань. Засобом такого захисту є використання високоеластичних муфт з лінійними і нелінійними характеристиками.

Підвищення ресурсу окремих компонентів трансмісії значною мірою залежить від здатності до гасіння власних коливань в системі приводу. Оскільки такі компоненти як двигун, карданний вал, редуктор й ін. виготовлені із еластичних матеріалів, наприклад із сталі, та мають відповідні маси, вони володіють здатністю до коливань з певною власною частотою.

© Іванов В. Б., Косенко В. І., Панов С. Л., 2011

При наявності лінійної некомпенсованої двох масової (коливальної) системи власну частоту можна розрахувати за формулою:

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{C_{1/2} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)},$$

де m_1 та m_2 – відповідні маси;

$C_{1/2}$ – пружна жорсткість, з якою з'єднані обидві маси.

При колюванні системи з частотою, що дорівнює власній частоті ($f = f_e$), амплітуда колювань A зростає залежно від амплітуди вимушених колювань A_A . Якщо колювання не гасяться, амплітуда зростає ще більше завдяки резонансному ефекту, що може призвести до руйнування системи.

Завдяки демпфуванню D (рис. 1) співвідношення амплітуд колювань розраховується за формулою:

$$\nu = \frac{A}{A_A} = \sqrt{\frac{1 + D^2}{(1 - \Omega^2)^2 + D^2}}, \quad \text{де } \Omega = \frac{f}{f_A}$$

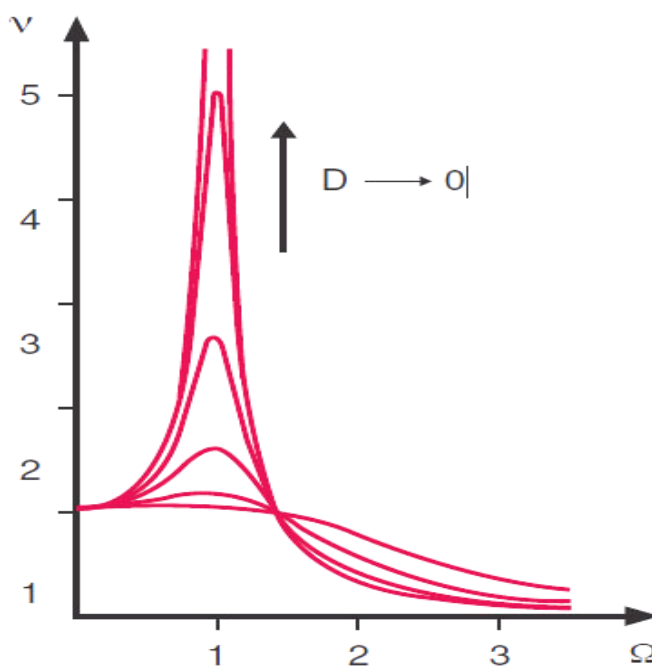


Рис. 1. Функція зростання лінійної некомпенсованої двомасової системи колювань

За аналогією крутильні колювання в трансмісії характеризуються крутильною або торсіонною жорсткістю C_T , а маси, що колюваються навколо осі – моментом інерції маси J . Крутний момент від кожного з циліндрів нерівномірно передається на вал двигуна, як показано на рис. 2. Збільшення кількості циліндрів та маси

маховика звужують діапазон коливань крутного моменту. Разом з тим, залишається значне навантаження трансмісії від двигуна, особливо внаслідок використання сучасних технологій впорскування та тенденцій до зменшення маси маховика.

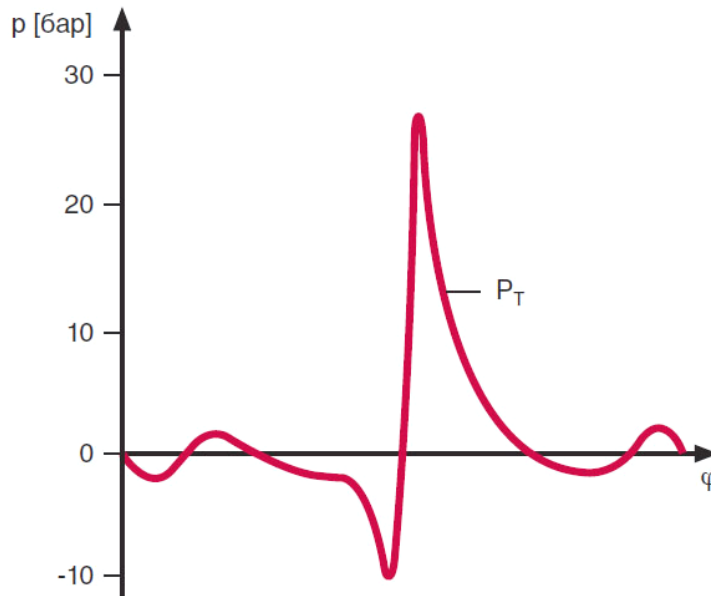


Рис. 2. Парціальний тиск одноциліндрового двигуна при низькій частоті обертання

У чотирьохтактних двигунах на кожний циліндр з спостерігається один пік крутного моменту на 2 оберти колінчастого вала. Знаючи число обертів двигуна n , можна розраховувати частоту вимушених коливань f для трансмісії за формулою

$$f_A = \frac{z}{2} \cdot \frac{n / \text{min}^{-1}}{60s}$$

та порівнювати її з власною частотою коливань.

Як у докритичному ($f < f_e$), так і в надкритичному режимі роботи ($f > f_e$) необхідно контролювати, щоб значення мінімальної частоти вимушених коливань у всіх робочих точках достатньо перевищувало власну частоту.

Наслідком динамічних навантажень, що виникають при коливаннях крутного моменту з частотою, що перевищує власну частоту приводу є зменшення ресурсу всіх компонентів (карданних валів, редукторів і т. ін.), тому навіть незначне зменшення динамічної амплітуди коливань забезпечує зростання термінів служби компонентів трансмісії, що видно з діаграми Веллера (рис. 3).

Компанія VOITH відома працівникам залізничного транспорту своїми гідродинамічними та гідромеханічними передачами, що знаходять використання у магістральних та маневрових локомотивах, дизель-потягах, рельсових автобусах. У той же час, компанія є виробником високоеластичних муфт, в яких акумульовано 35-річний досвід розробки приводів, що витримують крутильні коливання.

Високоеластичні муфти VOITH виконують у приводах дизельних двигунів дві основні задачі:

- зміщення в некритичний діапазон першої власної частоти;
- гасіння амплітуд коливань, що виникають у процесі роботи.

Основою конструкції муфти є еластомірний пружний елемент, який завдяки його високій пластичності, що забезпечується особливою молекулярною структурою матеріалу, здатний впливати на його в'язкоупругість. Деформації еластомірного пружного елемента перетворюються у:

- пружну енергію, що може знов перетворюватися в механічну роботу;
- в'язку енергію, що губиться в формі тепла.

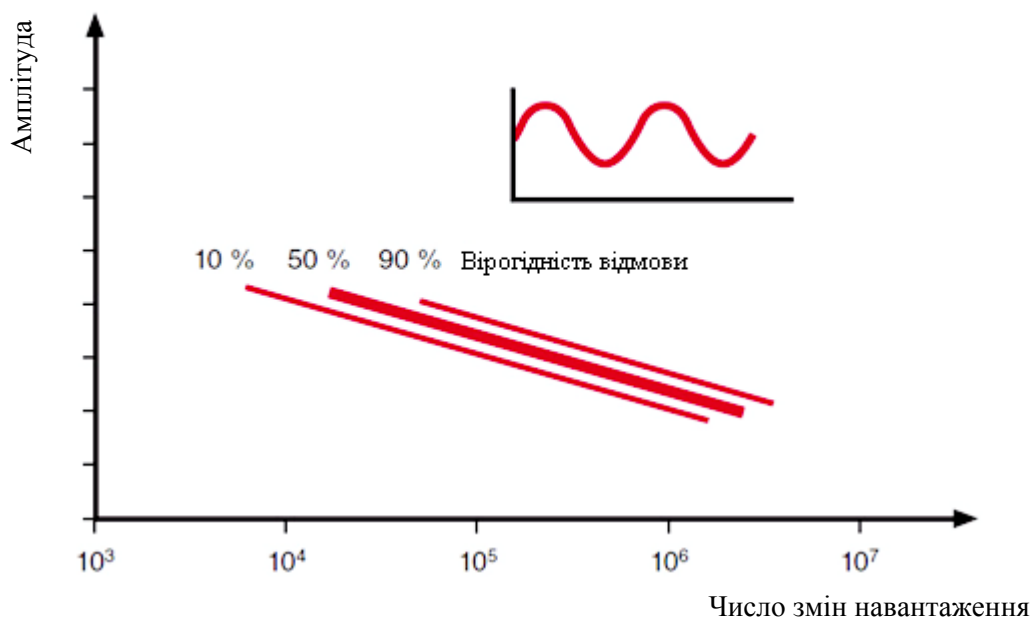


Рис. 3. Крива втоми еластомірного матеріалу при пульсуючому навантаженні (діаграма Веллера)

У муфтах VOITH використовуються еластоміри з матеріалів на основі каучуку та силікону. Каучукові матеріали вирізняються високою лінійною жорсткістю, пружністю, високим рівнем демпфування, високим рівнем втоми, дуже низькою інтенсивністю старіння за умови температур до 100 град., можливістю регулювати крутильну жорсткість та потужність крутного моменту за допомогою варіювання твердістю. За умов високих термічних навантажень використовуються силіконові матеріали.

Тривалі дослідження та великий досвід дозволили створити матеріали, що здатні переносити всі головні причини виходу з експлуатації: втома, термічні руйнування, статичне руйнування, старіння матеріалу.

Окрім еластомірних матеріалів, високоеластичні муфти додатково можуть оснащуватись фрикційним амортизатором. У цьому випадку між первинною та вторинною частиною муфти встановлюється фрикційний диск, який попередньо

напружується еластомірним пружним елементом. Необхідне демпфування регулюється довжиною переміщення, що встановлюється при попередньому напруженні. Таким чином, фрикційний диск отримує додаткову функцію осьового підшипника еластомірного матеріалу. Завдяки попередньому напруженню еластомірний елемент працює в натягнутому стані, найбільш придатному для тривалого використання.

Залежно від конструктивних особливостей трансмісій, типу приєднання агрегатів, складом додаткових завдань, що вирішуються за допомогою муфт, VOITH виробляє широкий діапазон високоеластичних муфт, розробка яких завжди представляє собою складний ітеративний процес. Складовими етапами цього процесу є: вибір конструктивного ряду залежно від типу трансмісії, визначення розмірів на основі номінального крутного моменту з відповідними коефіцієнтами експлуатації та довговічності, перевірка придатності до гасіння крутильних коливань (розрахунок коливань), аналіз експлуатаційної міцності вибраної системи.

УДК. 625.143

Сергій Карпінський

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОВГИХ РЕЙКОВИХ ПЛІТЕЙ І ПРОБЛЕМИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННІ В КРИВІЙ ДІЛЯНЦІ КОЛІЇ

Враховуючи високу техніко-економічну ефективність безстыкової колії, експлуатаційну надійність та довговічність проводиться розширення полігону укладання і експлуатації безстыкової колії з довгими рейковими плітями довжиною до перегону. Оскільки на перегоні, де укладаються довгі рейкові пліті, можливе розміщення кривої ділянки колії і відповідно місце робіт, тому необхідно проаналізувати існуючі методи виготовлення довгих рейкових плітей, які розроблені для прямих ділянок, для можливого їх застосування в кривих ділянках колії. Також при виготовленні довгих рейкових плітей залежно від способу виконання робіт необхідно враховувати тип проміжного скріплення.

Учитывая высокую технико-экономическую эффективность бесстыкового пути, эксплуатационную надежность и долговечность проводится расширение полигона укладки и эксплуатации бесстыкового пути с длинными рельсовыми плетями длиной до перегона. Поскольку на перегоне, где укладываются длинные рельсовые плети, возможно размещение кривого участка пути и соответственно место работ, поэтому необходимо проанализировать существующие методы изготовления длинных рельсовых плетей, которые разработаны для прямых участков для возможного их применения в кривых участках пути. Также при изготовлении длинных рельсовых плетей в зависимости от способа выполнения работ необходимо учитывать тип промежуточного скрепления.

Given the high technical and economic efficiency welded rail track, operational reliability and durability made the expansion and operation of landfill conclusion welded rail track long lengths particle length to race. As for races, where many rail concluded raft occupancy curve plot lines and the corresponding location of works. therefore necessary to analyze existing methods of producing long rail raft, which are developed for straight sections, for possible use in curved sections track. Also, when making long rail particle depending on how performance should be considered an intermediate type fasteners.

Ключові слова: безстыкова колія, довгі рейкові пліті, крива ділянка колії, зварювання.

© Карпінський С. Л., 2011

Для підвищення ефективності застосування безстикової колії необхідно прагнути до скорочення числа зрівнювальних прольотів. Це можливо досягти шляхом укладання плітей, довжина яких значно перевищує 800 м. Такі пліті згідно з Технічними вказівками [1] називаються довгими.

На відміну від коротких рейкових плітей, які виготовляються на РЗП, довгі рейкові пліті можуть бути виготовлені тільки в польових умовах безпосередньо в колії згідно з Технічними вказівками [1] одним із способів:

- зварювання рейкових плітей, укладених і закріплених на підкладках, способом попереднього вигину;
- зварювання рейкових плітей, що знаходяться в середині колії, способом попереднього вигину або підтягування з наступним насуванням їх на підкладки;
- послідовне приварювання рейкових плітей з їх підтягуванням, коли довжина пліті, що приварюється, не більше 400 м.

Виготовлення довгих рейкових плітей в кривій ділянці колії способом зварювання рейкових плітей, що знаходяться в середині колії, можна виключити. Тому, що після виготовлення довгої рейкової пліті не буде можливості підтягнути частину довгої рейкової пліті для її укладання на підкладки або між анкера безпідкладкового проміжного скріплення.

Численні наукові дослідження та багаторічний виробничий досвід у галузі створення рейкових плітей довжиною більше 800 м показали, що з практичної точки зору найбільш ефективним способом виготовлення довгих рейкових плітей, що істотно не ускладнює існуючих технологій ремонту і утримання безстикової колії, є зварювання з попереднім вигином рейкових плітей довжиною до 800 м як в процесі експлуатації, так і в процесі капітального ремонту колії.

Переваги виготовлення довгих рейкових плітей способом попереднього вигину порівняно з іншими способами:

- забезпечується достатня надійність зварних з'єднань;
- практично не порушується температурно-напружений стан безстикової колії;
- при виконанні зварювальних робіт суттєво знижуються витрати праці та часу;
- технологія є універсальною тому, що дозволяє виготовляти не тільки довгі рейкові пліті, а і відновлювати цілісність рейкових плітей.

Виготовлення довгих рейкових плітей таким способом зводиться до збільшення довжини рейкових плітей, що знаходяться в експлуатації, за рахунок ліквідації зрівнювальних прольотів. У процесі проведення зварювальних робіт рейки зрівнювального прольоту знімаються, а на їх місце укладаються і зварюються з кінцями суміжних рейкових плітей рейкові вставки необхідної довжини. Так як зрівнювальні прольоти за конструкцією відрізняються один від одного тільки кількістю пар рейок, що їх складають, то і довжина рейкових вставокзначається залежно від цього, а також з урахуванням обрізання рейкових кінців з болтовими отворами та кількості стикових зазорів.

Особливістю технології виготовлення довгих рейкових плітей в процесі капітального ремонту колії є те, що рейкові пліті, які укладають при заміні інвентарних рейок, з'єднують між собою не звичайною конструкцією зрівнювальних прольотів, короткими тимчасовими вставками довжиною 8,0-11,0 м. Це дозволяє зменшити трудомісткість робіт і час їх виконання при нарощуванні довжини рейкових плітей.

Даний спосіб дає можливість проводити зварювання рейкових плітей при частковому розкріпленні і попередньому вигині кінця пліті, що приварюється,

залишаючи решту її закріпленою. Таке часткове розкріплення на незначному відрізку 30-40 м дозволяє зберегти розрахунковий температурно-напружений стан на частині плити, що залишилась закріпленою, і зводить до мінімуму фронт зварювальних робіт (рис. 1).

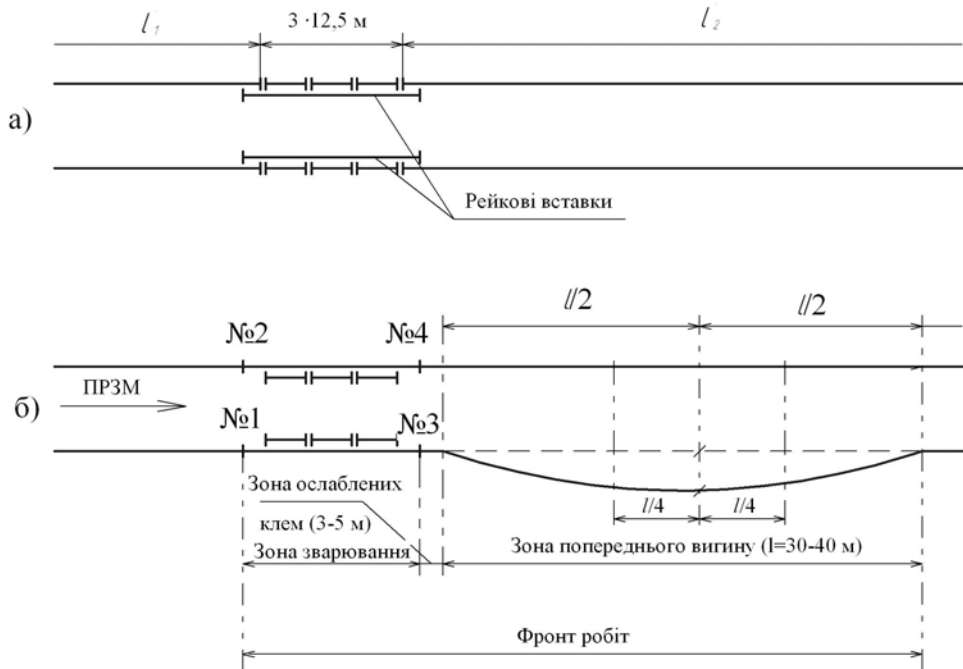


Рис. 1. Схема фронту робіт при утворенні довгих рейкових плит в процесі експлуатації: а – схема зрівнювального прольоту з підготовленими до зварювання рейковими вставками; б – схема розмітки місця зварювальних робіт

Особливістю способу є зварювання рейкових плит за допомогою рейкових вставок без болтових отворів, для зварювання яких і робиться попередній вигин ділянки рейкових плит з певною стрілою вигину f . З метою забезпечення якості зварного з'єднання обов'язковою умовою повинна бути наявність залишкової кривини з стрілою вигину f_0 рейкової плити після зварювання замикаючого стику. Після охолодження металу в зварних стиках залишкова кривина ліквідується і рейкова плита примусово встановлюється на підкладки чи поміж анкера, після чого закріплюється відповідно клемними болтами чи пружними клемами. В процесі примусової ліквідації залишкової стріли вигину як у зварних з'єднаннях, так і в рейковій плиті на фронті проведення зварювальних робіт утворюються певної величини стискаючі напруження, які і забезпечують якість зварних з'єднань. Між стрілою вигину f і величиною переміщення кінцевої частини плити, що приварюється, внаслідок її вигину існує залежність (рис. 2). Крім того, існує також залежність між стрілою вигину і величиною стискаючих напружень (рис. 3). Дотримання вказаних параметрів дозволяє не тільки контролювати процес зварювання рейкових плит із забезпеченням високої якості зварних з'єднань, а й створювати стискаючі напруження цілком певної величини, тобто не тільки

виготовляти довгі рейкові пліти, а також відновлювати їх температурно-напружений стан. Для цього залежно від різниці між температурою закріплення рейкової пліти і температурою, при якій виконуються зварювальні роботи, приймається необхідна величина залишкової стріли вигину (рис. 3), а ще раніше потрібно прийняти необхідну величину запасу (крім запасу на оплавлення і усадку) для створення стискаючих напружень після ліквідації залишкової кривини (рис. 2).

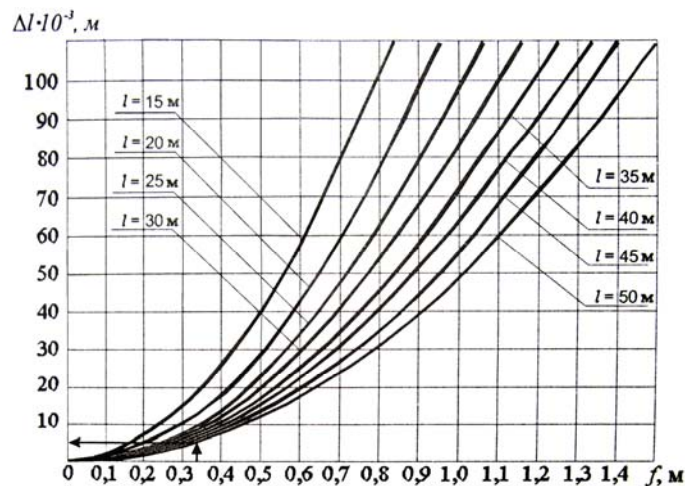


Рис. 2. Залежності переміщення кінцевої частини пліти від стріли вигину і довжини її викривленої частини

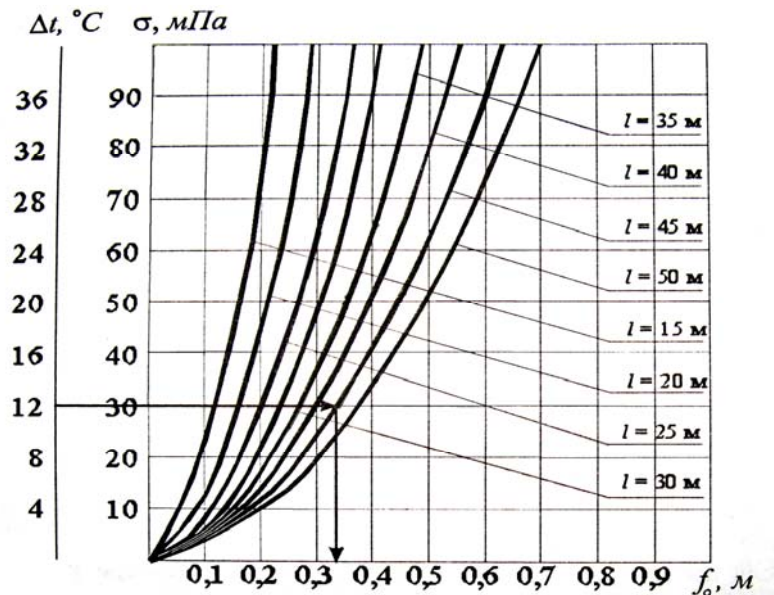


Рис. 3. Залежності напружень і зміни температури від залишкової стріли вигину

Залежності, що зображені на рис. 2, 3, відображають відповідні залежності для прямої ділянки колії. При утворенні довгих рейкових плітей у кривій ділянці колії дані залежності не в змозі відображати дійсні значення стискаючих напружень і відповідної зміни температури від залишкової стріли вигину. Залежність зображена на (рис. 2) також не відображає залежність переміщення кінцевої частини пліті від стріли вигину і довжини її викривленої частини, оскільки залежність для кривої буде описуватись іншою математичною формулою. Тому для виготовлення довгих рейкових плітей в кривій ділянці колії даним способом, необхідно розробити відповідні залежності для кривих ділянок колії враховуючи досвід роботи РЗП та дистанцій колії, де проводились аналогічні роботи.

При зварюванні «з натягом» істотно змінена технологія зварювання. Замість технології зварювання безперервним оплавленням, покладеної в основу роботи зварювальних машин попередніх поколінь, ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена і впроваджена технологія зварювання пульсуючим оплавленням. При використанні цієї технології тривалість зварювання і припуск на зварювання значно зменшується, що дає можливість збільшити припуски на попередній натяг пліті.

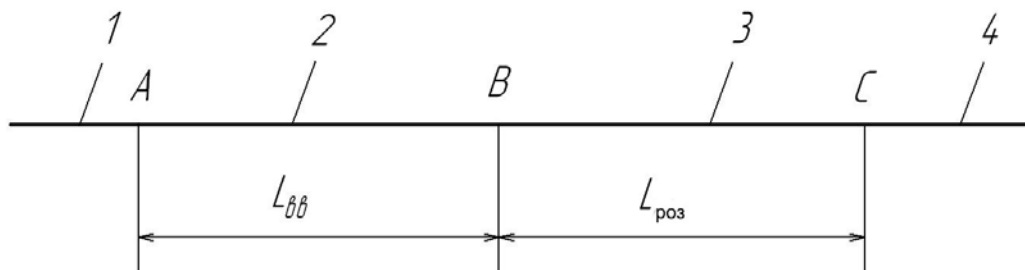


Рис. 4. Схема розкріплення пліті перед зварюванням при виготовленні довгої рейкової пліті методом натягу: 1 – закріплена ділянка пліті, на якій знаходиться ПРЗМ; 2 – вварювана вставка з ослабленими клемами; 3 – розкріплена; 4 – закріплена ділянка пліті; $L_{роз}$ – розкріплена ділянка пліті;

$L_{вв}$ – довжина вварюваної вставки [2]

При зварюванні з натягом перший стик А (рис. 4) зварюють з використанням традиційної технології, після чого проводять складання другого замикаючого стику В, обрізаючи вставку таким чином, щоб між нею і кінцем пліті був встановлений контрольний зазор Δ_0 . Щоб одержати необхідний припуск на зварювання другого стику, рейки з двох або однієї сторони від місця зварювання звільняють від кріплень на сумарній довжині L_B . 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, як показано на рис. 5.

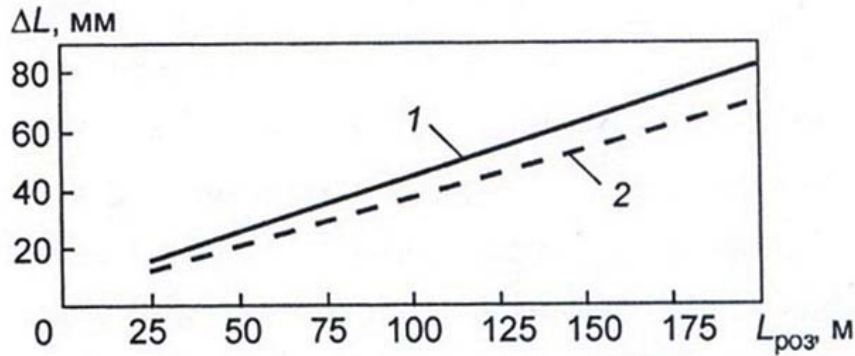


Рис. 5. Залежність подовження пліті від довжини розкріпленої ділянки:
1 – пліть без ПРЗМ; 2 – пліть, на якій стоїть ПРЗМ [2]

Звільнені ділянки рейок розтягуються приводом зварювальної машини. Зусилля приводу при зварюванні другого стику необхідне для розтягування, залежить від довжини звільненої ділянки $L_{роз}$, припуску на зварювання Δ_n та зазору між рейковою вставкою та пліттю Δ_0 :

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

де Δ_n – припуск на зварювання; Δ_0 – зазор між рейковою вставкою та пліттю; E – модуль пружності рейкової сталі; F – площа поперечного перерізу рейки; $L_{роз}$ – 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

$$\Delta T = P_p \alpha EF, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення рейкової сталі; $\Delta T = t_z + t_{зв}$ – різниця між температурою закріплення пліті й температурою на момент зварювання.

Змінюючи величини Δ_0 та $L_{роз}$, можна встановлювати необхідний рівень розтягуючих напружень у пліті для введення її в температурний інтервал закріплення після виконання робіт.

На рис. 6 наведені розрахункові залежності необхідної довжини розкріплення плітей $L_{роз}$ для введення їх після зварювання методом натягу у розрахунковий інтервал закріплення при температурі проведення робіт нижче розрахункового інтервалу закріплення на ΔT , з урахуванням переміщень двох рухомих ділянок закріплених плітей при різних коефіцієнтах r повного опору рейок і шпал поздовжньому переміщенню та зусиль, необхідних для цього. Аналіз залежностей показує, що довжина необхідного розкріплення плітей залежить від стану колії і якості кріплення плітей до шпал.

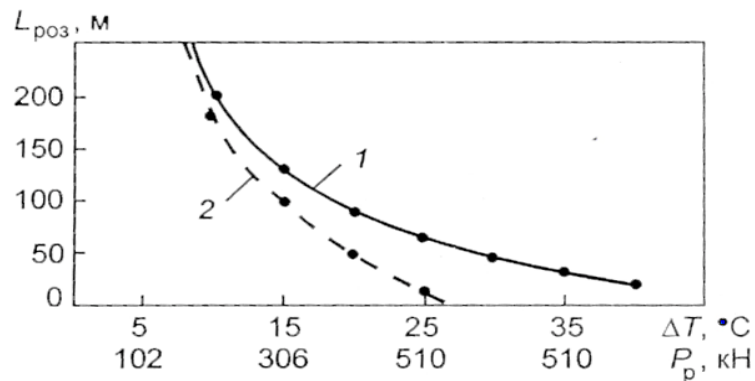


Рис. 6. Залежність необхідної довжини розкріплення плітей $L_{\text{роз}}$ для введення їх після зварювання методом натягу у розрахунковий інтервал закріплення при температурі нижче розрахункового інтервалу закріплення на $\Delta T, ^\circ\text{C}$: 1 – $r=25$; 2 – 7 кН/м [2]

При виготовленні довгих рейкових плітей в кривій ділянці колії на рейкову пліть, що приварюється, буде діяти додаткова сила опору її зміщення внаслідок тертя в реборди підкладок чи анкера проміжного скріплення КПП-5. Внаслідок цих додаткових сил може виникнути перекид підкладок, що призведе до додаткових витрат праці на постановку підкладок на місце. Технічна характеристика машини ПРЗМ і конструкція колії дає можливість визначити максимальну довжину рейкової пліті, що може бути приварена даним способом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168. с.
2. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів/М.Д. Костюк, В.О. Яковлев, В.С. Алейник, Ю.В. Швець, О.А. Мазур, Е.І. Даніленко, Я.В. Дубневич, Я.І. Микитин, С.Д. Тараненко. – Київ: ІЕЗ ім. Є.О.Патона, 2010. – 216 с.
3. Шраменко В. П. Улаштування та експлуатація безстикової колії з рейковими плітями необмеженої довжини: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – 122 с.

УДК 625.1.032.3

*Валерий Косарчук
Александр Азарков*

К МЕТОДИКЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РЕЛЬСОВ

Рассмотрены основные элементы методики прогнозирования долговечности рельсов по критерию возникновения внутренних контактно-усталостных трещин, основанной на применении математических 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: контактная задача, математическая модель, контактно-усталостные дефекты, МКЭ, критерии предельного состояния, пластические деформации, напряженно-деформированное состояние, циклическое нагружение.

Современный этап развития железнодорожного транспорта характеризуется ужесточением эксплуатационных параметров (увеличением мощностей тягового подвижного состава, увеличением скоростей движения, повышением грузоподъемности), что неминуемо приводит к увеличению силовых и термических воздействий на элементы конструкций подвижного состава и рельсовых путей. Экстремальные условия эксплуатации приводят к увеличению количества отказов основного элемента пути – рельсов, от надежности которых зависит не только безопасность движения, но и экономические показатели деятельности железных дорог.

Одной из основных причин отказов рельсов являются повреждения, связанные с характером взаимодействия колес подвижного состава с рельсами – контактно-усталостные повреждения и износ головки рельса. В настоящее время 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, развитие которых приводит к появлению дефектов по рисункам 10, 11, 21, 30, 31, 52 каталога дефектов [4]. Механизмы образования и кинетика развития поверхностных и внутренних трещин различаются между собой.

© Косарчук В. В., Азарков А. В., 2011

Их изучению посвящено множество работ, однако математических моделей, позволяющих прогнозировать указанные процессы с достаточной степенью точности, до настоящего времени не создано.

Износ характеризуется удалением материала с контактирующих поверхностей в результате связанных механических и химических процессов. В зависимости от характера взаимодействия при контакте деталей имеет место абразивный износ, износ в результате молекулярного взаимодействия при химическом сродстве элементов контактной пары (адгезионный износ) и др. [5]. Одним из основных механизмов износа при контактном взаимодействии вагонных колес и рельсов является усталостный.

Явление контактной усталости материала поверхностных слоев детали возникает в результате многократного упругого или упругопластического деформирования материала в зонах контакта и проявляется в возникновении микро-, а затем макротрещин вблизи поверхности детали с последующим отделением частиц материала. На интенсивность процесса накопления усталостных повреждений влияют множество факторов, в том числе частота нагружения, уровень и характер распределения контактных напряжений, уровень и характер распределения остаточных (технологических) напряжений, температура, состояние поверхностного слоя детали, наличие смазки и др.

Прогнозирования износа рельсов на основе математических моделей деформирования материалов наталкивается на ряд трудностей.

Как известно [5], на графике зависимости величины износа от времени, полученном в лабораторных условиях, можно выделить три характерных области (рис. 1).

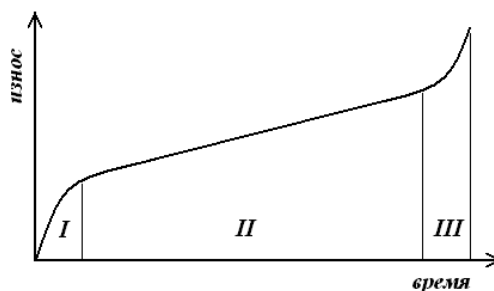


Рис. 1

Высокая скорость износа на начальной стадии эксплуатации (зона I) связана с приработкой контактирующих поверхностей. В случае контакта колеса с рельсом на этой стадии высокий уровень контактных напряжений приводит к появлению развитых пластических деформаций в поверхностном слое головки рельса. Происходит смятие неровностей, формирование контактной канавки на поверхности катания, выдавливание металла из зоны контакта с образованием наплывов на рабочей выкружке рельса. В кривых аналогичные процессы происходят на рабочей боковой грани рельса. Процессы формоизменения происходят одновременно с собственно износом поверхности. В результате формируется так называемый конформный профиль рельса. Если учесть колебательные процессы, характерные для движения колесной пары, а также различие в геометрии колес, обусловленное разной степенью их износа, то в реальных условиях эксплуатации протяженность первой стадии может быть

весьма значительной, поскольку формоизменению будут подвергаться большие участки поверхности рельса. Все это весьма сильно отличается от условий, моделируемых в лабораторных экспериментах [6]. На этой стадии уже происходит образование первых трещин на поверхности головки рельса. Одной из причин их появления являются процессы малоциклового усталости материала в условиях знакопеременного нагружения.

Вторая стадия (стадия установившегося износа) характеризуется практически постоянной скоростью износа и наступает после формирования конформного профиля рельса, в результате чего уровень контактных напряжений уменьшается. Материал поверхностных слоев головки рельса к этому моменту уже практически исчерпал свои пластические свойства. Пластическое течение локализуется, в основном, в вершинах имеющихся трещин, вызывая их дальнейший рост. Для отдельных трещиноподобных дефектов может происходить смена механизмов роста, а также направления роста [3]. Наличие смазки или воды может ускорить рост поверхностных трещин из-за расклинивающего эффекта. Изменение направления роста трещин может привести либо к отслаиванию и выкрашиванию поверхности, либо к образованию поперечных трещин, которые могут привести к излому рельса. Накопление такого рода дефектов свидетельствует о переходе к третьей стадии износа – стадии катастрофического износа.

Применение современных аппаратных средств обнаружения дефектов рельсов в принципе позволяет исключить эксплуатацию предельно изношенных рельсов [7]. В настоящее время основными мерами борьбы с износом являются периодическая профильная шлифовка рельсов и применение смазки. Перспективным также является применение износостойких покрытий [8].

Возможности математического моделирования износа весьма ограничены из-за необходимости рассматривать объемные упруго-пластические задачи в геометрически нелинейной постановке при достаточно неопределенных силовых воздействиях. Кроме того, следует учитывать отличие механических свойств поверхностных слоев материала головки рельса, вызванное декарбюризацией [9], возможное наличие технологических дефектов в приповерхностной области (например, дефекты 10, 17), неметаллических включений, влияние объемного поля остаточных напряжений [10] и др. факторы.

Более перспективным представляется использование вероятностных моделей прогнозирования износа [11], либо аналитических аппроксимаций результатов экспериментальных наблюдений за износом на различных участках дорог (см. например [12]). 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.

Что касается внутренних трещин, то механизм их образования и развития всецело зависит от характера изменения напряженно-деформированного состояния головки рельса в процессе эксплуатации. Такие трещины (продольные, наклонные, поперечные) могут зарождаться на глубинах 6 ... 16 мм [7, 13] от поверхности катания, как правило, в зонах концентрации напряжений, обусловленных наличием различного рода включений, либо технологических

дефектов. Исследование причин их возникновения и механизмов развития началось еще с 30-х годов прошлого века, этим вопросам посвящено множество работ, в основном, экспериментального характера. Подробный анализ этих работ выходит за рамки настоящей статьи, поэтому остановимся лишь на наиболее важных моментах.

В настоящее время является общепризнанным мнение о том, что основной причиной появления внутренних трещин является накопление пластических деформаций под действием циклически изменяющихся напряжений. Об этом свидетельствуют и данные об изменении уровня остаточных напряжений [10] и твердости [17], измеренных в поперечном сечении рельса, в процессе эксплуатации. Наибольшие изменения указанных величин происходят на поверхности головки рельса и на некоторой глубине (от 6 до 16 мм в зависимости от условий нагружения) от поверхности катания. По некоторым данным [7] такие трещины могут возникать уже на ранних стадиях эксплуатации рельсов (например, в кривых радиусом 400 – 100 м их обнаруживали после пропуска 40 – 70 млн тонн брутто), при этом скорость роста таких трещин экспоненциально зависит от пропущенного тоннажа. Учитывая, что наличие внутренних трещин на ранних стадиях развития плохо поддается диагностированию применяемой аппаратурой [7], представляет большой научный и практический интерес создание методики прогнозирования долговечности рельсов по критерию возникновения внутренних трещин.

Современный подход к оценке долговечности элементов конструкций основан на концепции повреждаемости материала, под которой понимаются необратимые изменения в структуре материала, происходящие в процессе эксплуатации. Кинетический аспект разрушения особенно ярко проявляется в условиях длительного либо циклического нагружения.

Очевидно, что для такого прогнозирования необходимо знать кинетику напряженно-деформированного состояния рельсов при термосиловых воздействиях, имитирующих эксплуатационные.

Напряженное состояние рельсов складывается из остаточных (технологических) и временных (рабочих) напряжений. Последние принято разделять на общие напряжения от продольного изгиба и кручения и местные напряжения (подголовочные напряжения, контактные напряжения, напряжения в зоне перехода шейки рельса в подошву и др.). Такое разделение носит исторический характер и связано с тем, что для их определения использовали ряд весьма упрощенных расчетных схем, поскольку точное (аналитическое) определение полей напряжений и деформаций в телах сложной формы невозможно. При этом все расчеты выполнялись в статической постановке в рамках предположений сопротивления материалов либо теории упругости.

Что касается технологических напряжений, то они возникают в процессе изготовления рельсов и могут достигать весьма значительных величин, особенно после объемной закалки. Так, максимальные уровни растягивающих продольных напряжений, по данным [10], могут достигать 330 МПа в центральной области головки рельса, сжимающих – 300 МПа в приповерхностных зонах боковых граней головки. Значительные остаточные напряжения возникают и в других частях рельса. Последующая термообработка (отпуск) и правка снижают их уровень и изменяют характер распределения по сечению рельса. Некоторые данные об объемном распределении остаточных напряжений и их изменении в

процессе эксплуатации, полученные на основе применения метода фотоупругих покрытий, приведены в работе [10].

Использование различных расчетных схем, часто без анализа соответствующих погрешностей, значительно затрудняет анализ результатов расчетов и разработку конструкторско-технологических мероприятий, направленных на увеличение долговечности рельсов.

Поэтому представляет особый интерес использование единой расчетной схемы для определения полей напряжений и деформаций в рельсах при их взаимодействии с колесами подвижного состава. Для решения таких задач механики деформируемого твердого тела, называемых краевыми, используют численные методы, среди которых наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ).

При построении расчетной схемы задачи в МКЭ следует сформулировать геометрическую модель, модель краевых условий и модель деформирования материала. Для оценки долговечности используются результаты расчета кинетики напряженно-деформированного состояния объекта и подходящая модель прогнозирования долговечности. Рассмотрим основные требования к перечисленным моделям применительно к решению поставленной задачи.

Известные методы оценки долговечности конструкций при циклическом нагружении и соответствующие им критерии предельного состояния можно разделить на несколько групп [18, 19]:

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

Математическая формулировка силовых критериев сводится к постулированию существования в пространстве главных напряжений некоторой предельной поверхности, в уравнение которой $F[\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \Omega] = 0$ помимо инвариантов тензора напряжений входит также параметр поврежденности материала $\Omega = f(\omega_i)$, $0 \leq \Omega \leq 1$. Параметр поврежденности в общем случае является некоторой комбинацией функций, зависящих от уровня деформации, вида напряженного состояния, числа циклов нагружения, температуры, длительности работы и т.п. Увеличению параметра Ω по мере наработки соответствует уменьшение размеров, а в общем случае и изменение формы предельной поверхности F , стягивающейся при $\Omega = 1$ в точку. Характерными примерами такого подхода являются критерии [20, 21]. Широкого распространения силовые критерии не получили.

В деформационных критериях [22, 23 и др.] наработка, а, следовательно, и поврежденность материала связывается с такими параметрами деформированного состояния как неупругая деформация за цикл, амплитуда полной либо пластической деформации, накопленная пластическая деформация (параметр Одквиста) и др. При этом в случае сложного напряженного состояния в качестве эквивалентной деформации выбирается интенсивность деформации, что осложняет описание процессов непропорционального циклического нагружения.

В энергетических критериях [24, 25 и др.] в качестве меры поврежденности материала выступают удельная рассеянная энергия за цикл нагружения, удельная работа разрушения, работа пластических деформаций и т.п.

Критерии, основанные на концепции критической плоскости [26, 27], 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.

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.

Геометрическая модель.

В методе конечных элементов геометрическая модель рассчитываемого трехмерного объекта представляет собой совокупность элементарных объектов – конечных элементов (тетраэдров, призм и т.п.), объединяемых с помощью логических операций и наделенных теплофизическими и механическими свойствами. Положение конечных элементов в некоторой системе координат задается координатами их узлов. В результате объект может быть представлен в виде набора конечных элементов (ребра которых образуют пространственную сетку), заполняющих его объем и достаточно точно моделирующих его поверхность.

Рельсовый путь представляет собой сложную пространственную конструкцию, которая включает помимо рельсов также и шпалы, прокладки, детали крепления рельсов, а также балласт. Все эти компоненты верхнего строения пути имеют различную форму, сильно отличающиеся размеры, изготовлены из различных материалов, имеют различные механические и теплофизические свойства и оказывают влияние на напряженно-деформированное состояние рельсов. Принципиально возможно создание геометрической модели пути, которая бы включала все указанные элементы. Однако следует иметь в виду то обстоятельство, что точность решения краевой 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.

В этой связи представляется целесообразным задачу о деформировании рельсового пути под воздействием нагрузки от колес подвижного состава разбить на несколько этапов и для каждого использовать различные геометрические модели. В частности, при расчете напряженно-деформированного состояния собственно рельса другие элементы верхнего строения пути (прокладки, крепления, шпалы и т.п.) можно рассматривать как некоторое основание с усредненными механическими свойствами. На первом этапе можно ограничиться рассмотрением контактного взаимодействия колес подвижного состава с рельсом, лежащим на сплошном упругом основании, имеющем некоторые приведенные характеристики механических свойств (например, жесткости) в различных направлениях.

Для выбора длины L модели рельса рассмотрим схематически характер деформирования прямолинейного участка рельсового пути при прохождении по нему колес подвижного состава. Для определенности будем рассматривать

(рис. 2) двухосную тележку с межосевым расстоянием $l=1850$ мм, характерным для грузовых вагонов, рельсы типа Р65, уложенные с подуклонкой 1:20 на бетонных шпалах с эпюрой 1667 шт/км (межшпальное расстояние $d=60$ см).

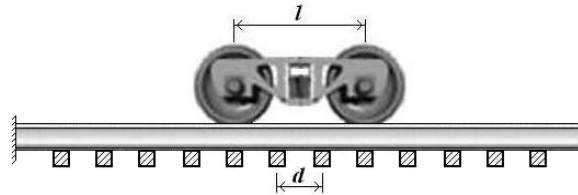


Рис. 2

Наблюдения показывают [16], что участки рельса вдали от зоны контакта (в пределах трех шпал слева и справа от каждого колеса тележки) подвергаются продольному изгибу с кручением (вызванным внецентренным приложением вертикальной нагрузки). Таким образом, чтобы учесть влияние обоих колес тележки на величины прогибов рельса, а также пренебречь влиянием схемы закрепления на напряженно-деформированное состояние рельса, длина модели должна быть не менее 6 м. При этом сетка конечных элементов может быть достаточно разреженной, за исключением зоны контакта одного из колес тележки с рельсом. Что касается модели контактной зоны, то для обеспечения достаточной точности расчета сетку в этой зоне необходимо сгустить. Ширина и длина модели контактной зоны, схематически показанной на рис. 3, должна в 1,5 – 2 раза превышать размеры реальной контактной площадки при взаимодействии колеса с рельсом.

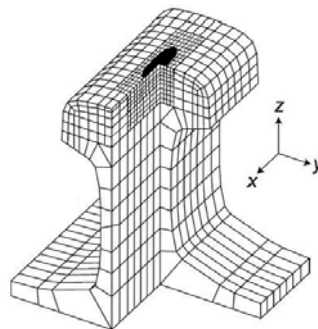


Рис. 3

Модель краевых условий.

В модель краевых условий входят условия нагружения конструкции (силовые граничные условия), условия закрепления конструкции (кинематические граничные условия) и начальные условия (например, начальное распределение технологических напряжений, появляющихся в результате термообработки и правки рельсов).

Рассмотрим схематически характер деформирования рельса (показан сплошной линией на рис. 4) при прохождении по нему колес подвижного состава. Поскольку нагрузка подвижная, то в произвольном сечении рельса последовательно реализуются все рассмотренные ниже виды деформации. При этом наиболее опасным сечением будет то, которое расположено по середине

между шпалами (будем называть его расчетным). Учитывая, что рельс находится в объемном напряженно-деформированном состоянии, анализ проведем применительно к продольным нормальным напряжениям σ_x , действующим на поверхности катания.

Когда ведущее колесо тележки находится на расстоянии около трех межшпальных расстояний от расчетного сечения, в головке рельса возникают сравнительно небольшие по величине растягивающие напряжения (зона I на рис. 4, штриховой линией показано положение расчетного сечения относительно колес тележки), максимальное значение которых достигается на поверхности катания. Величина этих напряжений может быть рассчитана по обычной теории изгиба балок.

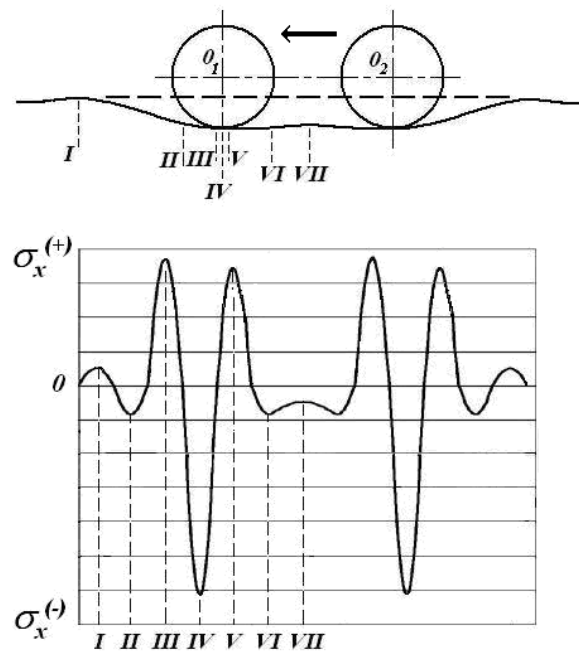


Рис. 4

При приближении ведущего колеса к расчетному сечению напряжения σ_x постепенно меняют знак и увеличиваются по абсолютной величине, не достигая, впрочем, предела текучести (зона II). Поскольку жесткость при кручении рельса значительно ниже жесткости при изгибе, то напряжения, связанные с внецентренным приложением осевой нагрузки к рельсу, следует учитывать лишь в тех случаях, когда расчетное сечение находится на расстоянии не более двух межшпальных расстояний от колес тележки. Поэтому в данном случае напряжение σ_x следует рассчитывать по формулам сложного сопротивления либо численными методами.

Когда расчетное сечение оказывается в непосредственной близости от внешней границы контактной площадки, продольные нормальные напряжения вновь меняют знак и значительно увеличиваются по абсолютной величине (зона

III). Сравнительно большие значения растягивающих напряжений в этой зоне возникают в результате локальной деформации поверхности рельса в зоне контакта. По мере удаления от поверхности катания эти напряжения быстро уменьшаются по величине. Однако они могут вызвать появление пластических деформаций на поверхности головки рельса, тем более, что в результате декарбюризации при закалке механические свойства материала (в частности, предел текучести) верхних слоев рельса могут ухудшаться. Следует иметь также в виду то обстоятельство, что напряжения σ_y и σ_z в этой зоне малы, поэтому эквивалентные напряжения (например, интенсивность напряжений по Мизесу $\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$) близки к σ_x . Оценить расчетным путем величину этих напряжений достаточно сложно, поскольку для этого необходимо решить пространственную контактную упругопластическую задачу в геометрически нелинейной постановке.

Когда расчетное сечение оказывается внутри контактной площадки (зона IV на рис. 4), напряжения σ_x становятся сжимающими и достигают максимального значения в середине площадки. Их величина складывается из контактных и изгибных напряжений. Если учитывать действие только вертикальных усилий на рельс со стороны колеса, то уровень продольных напряжений сравним по величине с напряжениями σ_y и σ_z , поэтому эквивалентные напряжения в поверхностных слоях рельса невелики. Однако уже на глубине нескольких миллиметров от поверхности величина σ_i может превысить предел текучести материала. Следует также учесть, что даже на прямолинейных участках пути возможно появление касательных усилий на контактной площадке, которые действуют в продольном (при проскальзывании колес) и поперечном (при вилянии тележки) направлениях. Эти усилия приводят к увеличению эквивалентных напряжений в поверхностных слоях головки рельса, что может вызвать появление пластических деформаций.

После прохождения ведущего колеса через расчетное сечение изменения продольного напряжения происходят в обратном порядке с той лишь разницей, что растягивающие напряжения в зоне V будут несколько меньше. Это связано с тем, что при качении колеса по рельсу реальное распределение контактных давлений на площадке контакта не симметрично – тыльная зона разгружается, а давление на передней части увеличивается [30].

При прохождении ведомого колеса тележки через расчетное сечение происходят аналогичные изменения величины σ_x . Таким образом, рельс испытывает блочное циклическое нагружение, причем характеристики блока в первом приближении можно считать постоянными. В этом случае для оценки кинетики напряженно-деформированного состояния рельса в пределах одного блока необходимо выполнить расчеты для семи различных положений нагрузок относительно расчетного сечения (рис. 4). Поскольку на некоторых этапах нагружения возможно появление пластических деформаций, то для учета влияния истории нагружения на процесс пластического деформирования расчеты необходимо проводить для одного и того же сечения рельса с последовательным

приложением нагрузок в соответствии с рис. 4. Это позволит установить, по крайней мере, качественно, законы изменения каждой компоненты тензора напряжений в процессе нагружения.

При необходимости учета технологических напряжений, которые могут существенно повлиять на процесс накопления повреждений, расчеты необходимо проводить с учетом наличия поля начальных напряжений, полагая, что распределение указанных напряжений по поперечному сечению рельса одинаково в любом сечении по длине рельса.

Методика определения долговечности с позиции континуальной механики предполагает вычисление в каждой точке элемента конструкции приращения поврежденности материала по мере изменения нагрузки во времени в соответствии с тем или иным критерием и последующим суммированием этих повреждений. При достижении суммарным повреждением некоторого предельного значения полагают, что конструктивный элемент теряет свою несущую способность, т. е. в нем образуется трещина. Дальнейшее ее поведение под нагрузкой следует рассматривать уже в рамках механики трещин.

Для оценки долговечности рельсов такой подход, очевидно впервые, был использован в работах [31, 32]. Несмотря на ряд очевидных упрощений (в частности, рассматривалось только циклическое нагружение контактной площадки распределенным давлением, вычисленным по теории Герца), авторам удалось рассчитать кинетику напряженно-деформированного состояния рельса на протяжении всего лишь восьми циклов нагружения. Прогноз долговечности осуществлялся путем экстраполяции по полученным на последних двух циклах скоростям накопления повреждений. Учитывая, что в реальности число циклов нагружения до появления трещины может быть от нескольких десятков до сотен тысяч, точность такого прогноза, понятно, невелика.

С учетом сказанного становится очевидным, что несмотря на существенные упрощения реальной задачи, вычислительные затраты на реализацию такой методики прогнозирования долговечности будут неоправданно большими. В этой связи предлагается следующая упрощенная методика расчета долговечности.

В расчетном сечении рельса на основании моделирования циклического нагружения в пределах одного блока (рис. 4) находится положение опасной точки. Опасной будем называть точку поперечного сечения рельса, в которой накопленная за один блок поврежденность является максимальной. Для расчета поврежденности можно использовать комбинированный критерий [32], который хорошо зарекомендовал себя при оценке долговечности конструктивных элементов, работающих в условиях контакта. Положение опасной точки в сечении рельса укажет место зарождения будущей трещины. Для опасной точки фиксируется история изменения всех компонентов тензора активных деформаций на протяжении первого блока нагружения. Полагая, что приращения пластических деформаций малы, что справедливо для тех зон головки рельса, где зарождаются внутренние трещины, в дальнейшем моделируют блочное циклическое нагружение лишь опасной точки, используя при этом подходящую модель упругопластического деформирования и установленный закон изменения компонентов тензора активных деформаций. В качестве такой модели деформирования можно использовать разработанную авторами структурную модель циклически нестабильных материалов, которая позволяет учесть влияние вида траектории деформирования на закономерности циклического упрочнения. Подробное описание модели,

соответствующая математическая формулировка и методика определения параметров по результатам базовых экспериментов приведены в работах [28, 29]. На основании указанных расчетов можно определить кинетику накопления поврежденности материала в опасной точке до момента начала разрушения. Такой подход позволит получить приемлемое в смысле точности решение без применения дорогостоящих программных средств и быстродействующих вычислительных систем. Результаты апробации методики будут приведены в последующих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаенко В. М., Лысюк В. С. Отказы рельсов по видам повреждений // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 8. – С. 7 – 11.
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. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України, 2000.
5. Поверхностная прочность материалов при трении / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, А. К. Караулов и др. – Киев: Техніка, 1976. – 296 с.
6. Markov D. Laboratory tests for wear of rail and wheel steels // Wear. – 1995. – 183. – p. 678 – 686.
7. Колотушкин С. А., Рейхарт В. А. Дефектоскопия рельсов Экспериментального кольца на службе транспортной науки // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 6. – С. 33 – 36.
8. Дигам М.С., Косарчук В.В., Антонюк В.С. Методы повышения износостойкости рельсов. // Перша науково-практична конф. “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління”. Тези доповідей, Київ, 4-5 грудня 2003 р. – С. 49 – 50.
9. Carrol R. I., Beynon J. H. Decarburisation and rolling contact fatigue of a rail steel // Wear. – 2006. – 206. – P. 523 – 537.
10. Ахметзянов М. Х. О механизме развития контактно-усталостных повреждений в рельсах // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 2. – С. 41 – 45.
11. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
12. 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.
13. Лысюк В. С. Изменить профили рельсов и колес // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 22 – 25.
14. Кузнецов В. В., Лысюк В. С. О причинах и механизмах контактно-усталостных отказов рельсов // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – № 6. – С. 33 – 39.
15. Вериго М. Ф. Еще раз о причинах и механизмах контактно-усталостных отказов рельсов // Вестник ВНИИЖТ. – 2001. – № 5. – С. 21 – 26.
16. Igwemezie J. Understanding the effects of track gauge, wheel/rail geometry and friction on stresses at wheel/rail interface // J. Wheel/Rail Interaction. – 2009. – April.
17. 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.
18. Ковальчук Б.И., Лебедев А.А., Уманский С.Э. Механика неупругого деформирования материалов и элементов конструкций. – К.: Наукова думка, 1987. – 280 с.
19. Ringsberg J.W. Life prediction of rolling contact fatigue crack initiation // Int. J. Fatigue. – 2001. – 23. – P. 575 – 586.
20. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – К.: Наукова думка, 1976. – 416 с.
21. Коротких Ю.Г. Описание процессов накопления повреждений материала при неизоотермическом вязкопластическом деформировании // Проблемы прочности. – 1985. – № 1. – С. 18 – 22.

22. Мэнсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость. – М.: Машиностроение, 1974. – 344 с.
23. Coffin L.F. A study of cyclic thermal stress in a ductile metal // Trans. ASME. – 1954. – 76. – P. 931 – 950.
24. Morroy I.D. Cyclic plastic strain energy and fatigue of metals // ASTM STP. – 1965. – 378. – 11 p.
25. Троценко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – К.: Наукова думка, 1981. – 343 с.
26. Brown M.W., Miller K.J. A theory for fatigue failure under multiaxial stress-strain conditions // Proc. Inst. Mech. Engrs. – 1973. – P. 745 – 755.
27. Fatemi A., Socie D.F. A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out-of-phase loading // Fatig. Fract. Engng Mater. Struct. – 1988. – № 11. – P. 149 – 165.
28. Косарчук В.В., Азарков О.В. Моделювання циклічної нестабільності матеріалів при пружнопластичному деформуванні // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – № 16. – С. 124 – 133.
29. Косарчук В. В., Азарков О.В. Ідентифікація параметрів моделі пружнопластичного деформування за результатами базових експериментів // Зб. наук. праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – № 17. – С. 159 – 165.
30. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. – 302 с.
31. Ringsberg J.W., Bjarnehed H., Johansson B.L. Rolling contact fatigue of railway rails – finite element modeling of residual stresses, strains and crack initiation // Proc. Inst. Mech. Eng., Part F, J. Rail Rapid Transit. – 2000. – 214. – P. 7 – 19.
32. 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.

УДК 624.014

Анатолий Манько
Михаил Лазнюк

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНОК ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В настоящей работе выполнено сравнение методик расчета местной устойчивости стенок двутавровых балок при действии локальных напряжений, изложенных в СНиП II-23-81 и проекте ДБН «Стальные конструкции». Для установления достоверности и степени точности нормативных формул был проведен ряд конечно-элементных расчетов с последующим сравнением значений критических напряжений, полученных в результате теоретических и конечно-элементных расчетов.*

У даній роботі виконано порівняння методик розрахунку місцевої стійкості стінок двотаврових балок при дії місцевих напружень, які викладені у СНиП II-23-81 і проекті ДБН «Сталеві конструкції». Для встановлення достовірності ступеню точності і нормативних формул був виконаний ряд скінченно-елементних розрахунків з наступним порівнянням значень критичних напружень, що отримані у результаті теоретичних і скінченно-елементних підрахунків.*

Two methods of local stability calculation of I-beam web, given in SNiP II-23-81 and in project DBN "Steel constructions" are compared. Critical stresses, obtained as results of finite element calculations, are compared with theoretical data.*

Ключевые слова: стальные двутавровые балки, устойчивость стенок, метод конечных элементов.

При рассмотрении проекта ДБН «Стальные конструкции» [1], разработанного взамен СНиП II-23-81* [2], возникает ряд вопросов, один из которых связан с изменением формул расчета устойчивости стенок изгибаемых элементов при наличии местных напряжений от действия сосредоточенных нагрузок ($\sigma_{loc} \neq 0$). Укажем, что рассматриваемая методика полностью была позаимствована из ранее введенных в 2005 году норм [3] в Российской Федерации.

По расчетным формулам работ [1, 3] отмечается существенная зависимость местных критических напряжений $\sigma_{loc,cr}$ от длины распределения местной нагрузки

© Манько А. В., Лазнюк М. В., 2011

l_{ef} с одновременным снижением этой зависимости от соотношения параметров отсека стенки a/h_w (см. формулу (80) для определения $\sigma_{loc,cr}$ по [2]).

Согласно пособию [4], в СНиП II-23-81* [2] значения критического локального напряжения $\sigma_{loc,cr}$ принимаются независимыми от длины распределения местной нагрузки l_{ef} . При этом отмечается, что изменение l_{ef} влияет на величину коэффициента $\rho = (3,4/c)(l_{ef}/h_w)$, где $c = 3,25$ – для сварных балок; $c = 4,5$ – для балок на высокопрочных болтах. Табл. 23 СНиП II-23-81* [2] получена для постоянного значения $\rho = 0,38$. Для получения более точных результатов допускался расчет по уточненной методике [4].

Авторами [3] предложено внести зависимость $\sigma_{loc,cr}$ от коэффициента ρ . Однако сравнение таблиц коэффициентов c_{cr} для определения $\sigma_{loc,cr}$ в [1, 3] и [2] показывает значительные отличия. Сравнительные ручные расчеты, выполненные для реальных конструкций при наличии всех компонент напряженного состояния – σ , σ_{loc} и τ , показали, что проверка устойчивости стенки в соответствии с [1, 3] и [2] может давать значительные различия. С целью проверки результатов ручных расчетов, сравнения и установления достоверности формул проверки устойчивости стенки по [1, 3] и [2] было проведено ряд конечно-элементных расчетов. Ниже приводятся некоторые из таких сравнений.

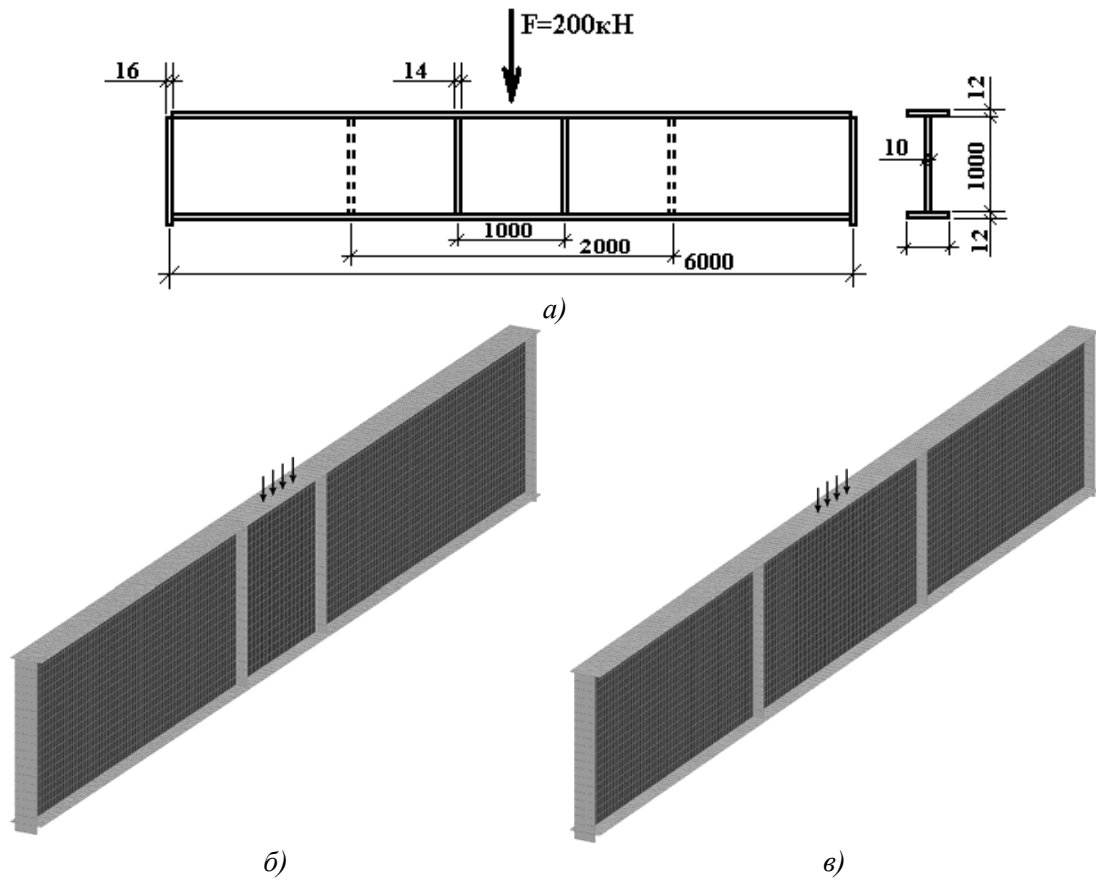
Объект исследования. Шарнирно-опертые стальные балки двутаврового сечения (рис. 1) четырех типов:

1 – отношение сторон отсека стенки балки $a/h_w = 1/1$; условная длина распределения сосредоточенной нагрузки $l_{ef} = 100\text{ мм}$; 2 – $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 400\text{ мм}$; 3 – $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 100\text{ мм}$; 4 – $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 400\text{ мм}$.

Геометрические параметры и нагрузка подобраны таким образом, чтобы стенка теряла устойчивость в упругой стадии работы материала. Значительное влияние на характер напряженного состояния стенки имеют местные напряжения, однако в действительности, наиболее опасными оказались касательные напряжения [4]. Максимальный изгибающий момент и поперечная сила составили соответственно: $M = 300\text{ кНм}$, $Q = 100\text{ кН}$.

Цель и задачи исследования. Проверить и сравнить нормативные [1, 3] и [2] методики расчета устойчивости стенок изгибаемых элементов двутаврового сечения при наличии местных напряжений от действия сосредоточенных нагрузок ($\sigma_{loc} \neq 0$) с результатами расчета конечно-элементных моделей в ПК ЛИРА. Установить достоверность и степень точности практических формул [1, 3] и [2].

Ручные расчеты выполнялись в соответствии с [1, 3] и [2]. Приведенные ссылки на нумерацию формул и таблиц соответствует нумерации соответствующих норм.



б)

в)

Рис. 1. Стальная двутавровая балка:

а – параметры балки; б – конечно-элементная модель с отношением сторон отсека стенки $a/h_w = 1/1$; в – конечно-элементная модель с отношением сторон отсека стенки $a/h_w = 2/1$

СНиП II-23-01*

Задача 1: $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 100 \text{ мм}$.

$$\frac{I}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{809,1} + \frac{200}{371,5} \right)^2 + \left(\frac{10}{217} \right)^2} = 0,63,$$

$$\sigma = \frac{M}{J_x} y = \frac{300 \cdot 10^3}{206236} \times 50 = 72,7 \text{ МПа}; \quad \sigma_{cr} = \frac{c_2 R_y}{\bar{\lambda}_w^2} = \frac{39,2 \cdot 240}{3,41^2} = 809,1 \text{ МПа},$$

тут $c_2 = 39,2$ п. 7.6*, б по табл. 25 при $a/h_{ef} = 1 > 0,8$;

$\sigma_{loc}/\sigma = 200/72,7 = 2,75 > 0,183$ (табл. 24) при

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_{ef}} \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3 = 0,8 \frac{20}{100} \left(\frac{1,2}{1,0} \right)^3 = 0,276 < 1;$$

$$\bar{\lambda}_{ef} = \bar{\lambda}_w = \bar{\lambda}_a = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{100}{1} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,41;$$

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w} = \frac{200 \cdot 10}{10 \cdot 1,0} = 200 \text{ МПа}; \quad \sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{18,0 \cdot 240}{3,41^2} = 371,5 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 18,0$ п. 7.6*, б по табл. 23 при $a/h_{ef} = 1 > 0,8$ и $\delta < 1$;

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_w} = \frac{100 \cdot 10}{1,0 \cdot 100} = 10 \text{ МПа};$$

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_{ef}^2} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{1^2} \right) \frac{0,58 \cdot 240}{3,41^2} = 217 \text{ МПа}.$$

Задача 2: $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 400 \text{ мм}$.

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{809,1} + \frac{50}{371,5} \right)^2 + \left(\frac{10}{217} \right)^2} = 0,23,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\sigma_{cr} = 809,1 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$; $\tau_{cr} = 217 \text{ МПа}$;

$\sigma_{loc,cr} = 371,5 \text{ МПа}$ при $\sigma_{loc}/\sigma = 50/72,7 = 0,69 > 0,183$ (табл. 24);

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w} = \frac{200 \cdot 10}{40 \cdot 1,0} = 50 \text{ МПа}.$$

Задача 3: $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 100 \text{ мм}$.

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{1748,2} + \frac{200}{941,2} \right)^2 + \left(\frac{10}{146,7} \right)^2} = 0,26,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc} = 200 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{cr} = \frac{c_2 R_y}{\bar{\lambda}_w^2} = \frac{84,7 \cdot 240}{3,41^2} = 1748,2 \text{ МПа},$$

тут $c_2 = 84,7$ п. 7.6*, б по табл. 25 при $a/h_{ef} = 2 > 0,8$, $\sigma_{loc}/\sigma > 0,183$ (табл. 24), $\delta < 1$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{45,6 \cdot 240}{3,41^2} = 941,2 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 45,6$ п. 7.6*, б по табл. 23 при $a/h_{ef} = 2 > 0,8$ и $\delta < 1$;

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_{ef}^2} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{(2/1)^2} \right) \frac{0,58 \cdot 240}{3,41^2} = 146,7 \text{ МПа}.$$

Задача 4: $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 400 \text{ мм}$.

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{1748,2} + \frac{50}{941,2} \right)^2 + \left(\frac{10}{146,7} \right)^2} = 0,117,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\sigma_{cr} = 1748,2 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$; $\tau_{cr} = 146,7 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc} = 50 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc,cr} = 941,2 \text{ МПа}$ при $\sigma_{loc}/\sigma = 50/72,7 = 0,69 > 0,618$ (табл. 24).

СП 53-102-2004 (ДБН В.2.6-... :200...)

Задача 1: $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 100 \text{ мм}$.

Согласно п. 1.5.5.6, б при отношении $a/h_{ef} > 0,8$ проверку устойчивости стенки следует выполнять дважды.

$$1) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{619,2} + \frac{200}{1825,6}\right)^2 + \left(\frac{10}{217}\right)^2} = 0,23,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$; $\tau_{cr} = 217 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc} = 200 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2} = \frac{30 \cdot 240}{3,41^2} = 619,2 \text{ МПа},$$

тут $c_{cr} = 30$ п. 1.5.5.4 по табл. 1.5.2 $\delta = 0,276 < 0,8$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{56,7 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 1825,6 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 56,7$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при $1,33 > a/h_{ef} = 1 > 0,8$ принимаем $a_1 = 0,5a = 0,5 \text{ м}$,

тогда $a_1/h_{ef} = 0,5$, $\rho = 1,04 l_{ef}/h_{ef} = 1,04 \cdot 10/100 \approx 0,1$; $\delta < 1$.

$$2) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{809,1} + \frac{200}{917,6}\right)^2 + \left(\frac{10}{217}\right)^2} = 0,31,$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2} = \frac{30 \cdot 240}{3,41^2} = 809,1 \text{ МПа},$$

тут $c_{cr} = 39,2$ табл. 1.5.4 при фактическом значении $a/h_{ef} = 1,0$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{28,5 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 917,6 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 28,5$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при фактическом значении $a/h_{ef} = 1,0$, $\rho \approx 0,1$; $\delta < 1$.

Задача 2: $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 400 \text{ мм}$.

$$1) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{619,2} + \frac{50}{882,2}\right)^2 + \left(\frac{10}{217}\right)^2} = 0,18,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$; $\tau_{cr} = 217 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc} = 50 \text{ МПа}$; $\sigma_{cr} = 619,2 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{27,4 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 882,2 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 27,4$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при $1,33 > a/h_{ef} = 1 > 0,8$ принимаем $a_1 = 0,5a = 0,5м$,

тогда $a_1/h_{ef} = 0,5$, $\rho = 1,04l_{ef}/h_{ef} = 1,04 \cdot 40/100 \approx 0,4$; $\delta < 1$.

$$2) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{809,1} + \frac{50}{305,9}\right)^2 + \left(\frac{10}{217}\right)^2} = 0,26,$$

где $\sigma_{cr} = 809,1 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{9,5 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 305,9 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 28,5$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при фактическом значении $a/h_{ef} = 1,0$, $\rho \approx 0,1$; $\delta < 1$.

Задача 3: $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 100 \text{ мм}$.

Согласно п.1.5.5.6, б при отношении $a/h_{ef} > 0,8$ проверку устойчивости стенки следует выполнять дважды.

$$1) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{619,2} + \frac{200}{725,7}\right)^2 + \left(\frac{10}{146,7}\right)^2} = 0,4,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$; $\tau_{cr} = 146,7 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc} = 200 \text{ МПа}$; $\sigma_{cr} = 619,2 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{22,54 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 725,7 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 22,54$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при $a/h_{ef} = 2 > 1,33$ принимаем $a_1 = 0,67a = 1,34м$, тогда $a_1/h_{ef} = 1,34$,

$\rho = 1,04l_{ef}/h_{ef} = 1,04 \cdot 10/100 \approx 0,1$; $\delta < 1$.

$$2) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{1748,2} + \frac{200}{521,6}\right)^2 + \left(\frac{10}{146,7}\right)^2} = 0,43,$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2} = \frac{84,7 \cdot 240}{3,41^2} = 1748,2 \text{ МПа},$$

тут $c_{cr} = 84,7$ по табл. 1.5.4 при фактическом значении $a/h_{ef} = 2,0$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{16,2 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 521,6 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 16,2$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при фактическом значении $a/h_{ef} = 2,0$, $\rho \approx 0,1$; $\delta < 1$.

Задача 4: $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 400 \text{ мм}$.

$$1) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{619,2} + \frac{50}{234,1}\right)^2 + \left(\frac{10}{146,7}\right)^2} = 0,34,$$

где $\sigma = 72,7 \text{ МПа}$; $\tau = 10 \text{ МПа}$; $\tau_{cr} = 146,7 \text{ МПа}$; $\sigma_{loc} = 50 \text{ МПа}$; $\sigma_{cr} = 1748,2 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{7,27 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 234,1 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 7,27$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при $a/h_{ef} = 2 > 1,33$

принимаем $a_1 = 0,67a = 1,34 \text{ м}$, тогда $a_1/h_{ef} = 1,34$,

$$\rho = 1,04 l_{ef} / h_{ef} = 1,04 \cdot 40 / 100 \approx 0,4; \quad \delta < 1.$$

$$2) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{72,7}{1748,2} + \frac{50}{196,4}\right)^2 + \left(\frac{10}{146,7}\right)^2} = 0,3,$$

где $\sigma_{cr} = 1748,2 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{6,1 \cdot 1,56 \cdot 240}{3,41^2} = 196,4 \text{ МПа},$$

тут $c_1 = 6,1$ и $c_2 = 1,56$ п. 1.5.5.5, б по табл. 1.5.5, 1.5.6; при фактическом значении $a/h_{ef} = 2,0$, $\rho \approx 0,1$; $\delta < 1$.

Для сравнения с результатами ручных расчетов были выполнены четыре конечно-элементные модели в ПК ЛИРА (рис. 1, а, б). Моделирование выполнялось с помощью прямоугольных конечных элементов оболочки. При наложении связей учитывалась необходимость раскрепления сжатого пояса, что было выполнено наложением связей в поперечном направлении по узлам пересечения пояса со стенкой. Сосредоточенная нагрузка задавалась также в узлах по узлам пересечения пояса со стенкой. Интенсивность нагрузки для соответствующих задач задавалась: $q = 2000 \text{ кН/м}$ при $l_{ef} = 100 \text{ мм}$; $q = 500 \text{ кН/м}$ при $l_{ef} = 400 \text{ мм}$. Расчеты проводились по недеформированной схеме.

На рис. 2 для каждой задачи приведены первая форма потери устойчивости и изополя эквивалентных (приведенных) напряжений, определенных по энергетической теории. Результаты ручных расчетов и конечно-элементного моделирования сведены в табл. 1.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКА

Таблиця 1. Сравнение критических напряжений, определенных по СНиП II-23-01, СП 53-102-2004 (ДБН В.2.6-... :200...) и ПК ЛИРА*

Параметр	СНиП	СП (ДБН)	ЛИРА	Задача
σ	72,7 МПа		73,3 МПа	Задача 1 $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 100 \text{ мм}$
σ_{cr}	809,1 МПа	619,2 МПа	—	
		809,1 МПа		
σ_{loc}	200 МПа		138,4 МПа	
$\sigma_{loc,cr}$	371,5 МПа	1825,6 МПа	—	
		917,6 МПа		
τ	10 МПа		$\approx 12 \text{ МПа}$ (макс. без τ_{loc})	
τ_{cr}	217 МПа		—	
$\sqrt{\sigma^2 - \sigma\sigma_{loc} + \sigma_{loc}^2 + 3\tau^2}$	176,2 МПа		136,1 МПа	
$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}$	<u>0,63</u>	<u>0,23</u>	<u>0,27</u>	
		<u>0,31</u>		
Расхождение, %	запас +133,3 %		0	
		запас +14,8 %		

σ	72,7 МПа		72,8 МПа	Задача 2 $a/h_w = 1/1$; $l_{ef} = 400\text{ мм}$
σ_{cr}	809,1 МПа	619,2 МПа	—	
		809,1 МПа		
σ_{loc}	50 МПа		48,9 МПа	
$\sigma_{loc,cr}$	371,5 МПа	882,2 МПа	—	
		305,9 МПа		
τ	10 МПа		$\approx 12\text{ МПа}$ (макс. без τ_{loc})	
τ_{cr}	217 МПа		—	
$\sqrt{\sigma^2 - \sigma\sigma_{loc} + \sigma_{loc}^2 + 3\tau^2}$	66,7 МПа		77,9 МПа	
$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}$	<u>0,23</u>	<u>0,18</u>	<u>0,25</u>	
		<u>0,26</u>		
Расхождение, %	запас -8,0 %		0	
		запас +4,0 %		

Окончание табл. 1

Параметр	СНП	СП (ДБН)	ЛИРА	Задача
σ	72,7МПа		73,6МПа	Задача 3 $a/h_w = 2/1$; $l_{ef} = 100\text{мм}$
σ_{cr}	1748,2МПа	1748,2МПа	—	
σ_{loc}	200МПа		138,4МПа	
$\sigma_{loc,cr}$	941,2МПа	725,7МПа 521,6МПа	—	
τ	10МПа		$\approx 12\text{МПа}$ (макс. без τ_{loc})	
τ_{cr}	146,7МПа		—	
$\sqrt{\sigma^2 - \sigma\sigma_{loc} + \sigma_{loc}^2 + 3\tau^2}$	176,2МПа		136,1МПа	
$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}$	0,26	0,40 0,43	0,37	
Расхождение, %	запас -29,7 %	запас +16.2 %	0	

σ	72,7МПа		73,1МПа	Задача 4 $a/h_w = 2/1$, $l_{ef} = 400\text{мм}$
σ_{cr}	1748,2МПа		—	
		1748,2МПа		
σ_{loc}	50МПа		48,9МПа	
$\sigma_{loc,cr}$	941,2МПа	234,1МПа	—	
		196,4МПа		
τ	10МПа		$\approx 12\text{МПа}$ (макс. без τ_{loc})	
τ_{cr}	146,7МПа		—	
$\sqrt{\sigma^2 - \sigma\sigma_{loc} + \sigma_{loc}^2 + 3\tau^2}$	66,7МПа		77,9МПа	
$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}$	<u>0,117</u>	<u>0,34</u>	<u>0,35</u>	
		<u>0,30</u>		
Расхождение, %	запас -66,5 %	запас -2,9 %	0	

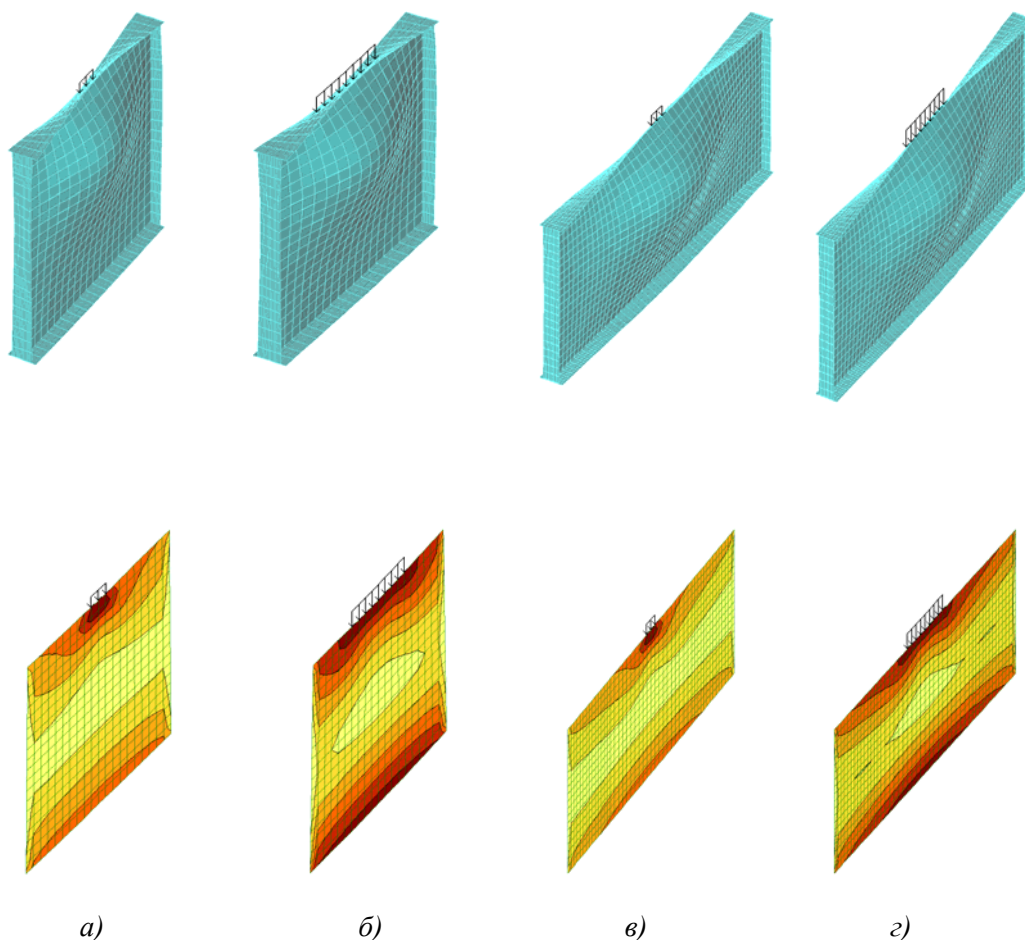


Рис. 2. Результаты расчета конечно-элементных моделей:

а – форма потери устойчивости и изополя приведенных напряжений задачи с параметрами $a/h_w = 1/1$ и $l_{ef} = 100\text{мм}$ (фрагмент КЭ модели); *б* – $a/h_w = 1/1$ и $l_{ef} = 400\text{мм}$; *в* – $a/h_w = 2/1$ и $l_{ef} = 100\text{мм}$; *г* – $a/h_w = 2/1$ и $l_{ef} = 400\text{мм}$

Выводы. Проведенные сравнительные исследования дают возможность утверждать, что введенная в нормах [1, 3] уточненная методика расчета местной устойчивости стенок изгибаемых элементов дает более точные результаты по сравнению с формулами СНиП II-23-81* [2].

Различия в результатах ручного счета по формулам [1, 3] с результатами расчета ПК ЛИРА могут объясняться следующими причинами:

– нормативные формулы [1, 2, 3] включают в себя усредненные касательные напряжения, определяемые по формуле $\tau = Q/t_w h_w$, при конечно-элементном моделировании касательные напряжения распределяются по формуле Журавского

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{t_w \cdot J};$$

– конечно-элементное моделирование предполагает достаточно точное определение величины и характера распределения нормальных напряжений от действия сосредоточенной нагрузки, а также учитывает локальные касательные напряжения [7];

– учет упругого защемления стенки поясами в нормативной методике расчета ведется по приближенным формулам [5];

– нормативная методика учитывает возможное появление пластических деформаций и их влияние на устойчивость стенки [4, 6]. Расчеты в ПК ЛИРА выполнялись же в границах закона Гука. Поэтому значения критических напряжений в данных задачах могут несколько отличаться в сторону занижения ПК ЛИРА действительных значений критических напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ДБН В.2.6-... :200... Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу.* – К.: Мінрегіонбуд України, 200*. (проект).
2. *СНиП II-23-81**. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1981. – 96 с.
3. *СП 53-102-2004.* Общие правила проектирования стальных конструкций. Свод правил по проектированию и строительству / Госстрой России. – ГУП ЦПП, 2005.
4. *Пособие по проектированию стальных конструкций* (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
5. *Броуде Б.М., Моисеев В.И.* Устойчивость прямоугольных пластинок с упругим защемлением продольных сторон // *Строительная механика и расчет сооружений.* – 1982. – № 1. – С. 39–42.
6. *Моисеев В.И.* Расчет местной устойчивости стальных балок за пределом упругости // *Строительная механика и расчет сооружений.* – 1982. – № 6. – С. 43–46.
7. *Манько А., Лазнюк М.* Чисельні дослідження напружено-деформованого стану тонкостінних балкових конструкцій // *Транспортні системи і технології: Зб. наук. пр.* – К.: КУЕТТ, 2007. – Вип. 11. – С. 148–152.

УДК 004.274

Наталія Михно

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО ПРОЦЕССОРА НА «ЭЛЕМЕНТНОМ» УРОВНЕ

Рассмотрены способы построения реконфигурируемого процессора на элементарных многофункциональных схемах памяти, изменяющих структуру запоминания своих состояний в процессе работы.

Розглянуті способи побудови реконфігурованого процесора на елементарних багатofункціональних схемах пам'яті, котрі змінюють структуру запам'ятовування своїх станів у процесі роботи.

Given work examined the methods of design of the reconfigurable processor unit based on multifunctional digital circuits of elementary memory with ability to change a structure of their memory states while processing data.

Ключевые слова: триггеры, многофункциональные схемы памяти, уровни управления, реконфигурируемое устройство управления, реконфигурируемый процессор.

Введение. В данное время основными направлениями разработки высокопродуктивных вычислительных компьютерных систем является параллелизм и конвейеризация. Характерной особенностью систем управления современных компьютеров, телекоммуникационных систем и сетей является их многоуровневая, иерархическая структура с последовательным режимом работы. Последовательность работы современных иерархических систем управления при обработке общей и частной информации обуславливается использованием в качестве элементарных схем памяти триггеров. Подход к проектированию таких систем, в которых память не изменяет алгоритм своей работы, обуславливает так называемый «автоматный» уровень проектирования устройств. То есть, изменения алгоритмов осуществляются на уровне построения многофункциональных устройств и управления их перестройкой, а не элементарных схем памяти [1–3].

1. Современные реконфигурируемые компьютерные системы, которые построены на «автоматном» уровне с памятью на триггерах.

Структура вычислительной системы, которая изменяет конфигурацию в общем виде, состоит из двух частей: постоянной (или фиксированной) части F – host компьютера и части M – многофункционального устройства, которое можно объединить в разные конфигурации (рис. 1) [3].

Архитектура реконфигурируемых систем зависит от мощности множества алгоритмов (N), которые выполняются.

© Михно Н. Л., 2011

$$N = N_F + N_M \quad (1)$$

где N_F – мощность множества алгоритмов, которые выполняются на устройствах F ;

N_M – мощность множества алгоритмов, которые выполняются на устройствах M .

Важным фактором компьютера с гибкой структурой является уровень гибкости и уровень компонентов, которые программируются. В данном направлении работ “Reconfigurable Computing” уровень многофункциональных компонентов, которые программируются, опускается до функциональных узлов системы управления компьютера, то есть до «автоматного» уровня [3].

Новая элементная база современных интегральных схем, встроенных в ПЛИС типа FPGA [11] с большой логической емкостью (до 10 млн логических вентилей) создало возможности для построения гибких устройств и систем с архитектурой, которая программируется (рис. 1).

Другим примером изменения алгоритма является мультиконвейерная вычислительная структура (МКОС) двухкаскадного МКОС с переменной конфигурацией подграфов (рис. 2), что также построенная на «автоматном» уровне с памятью на триггерах.

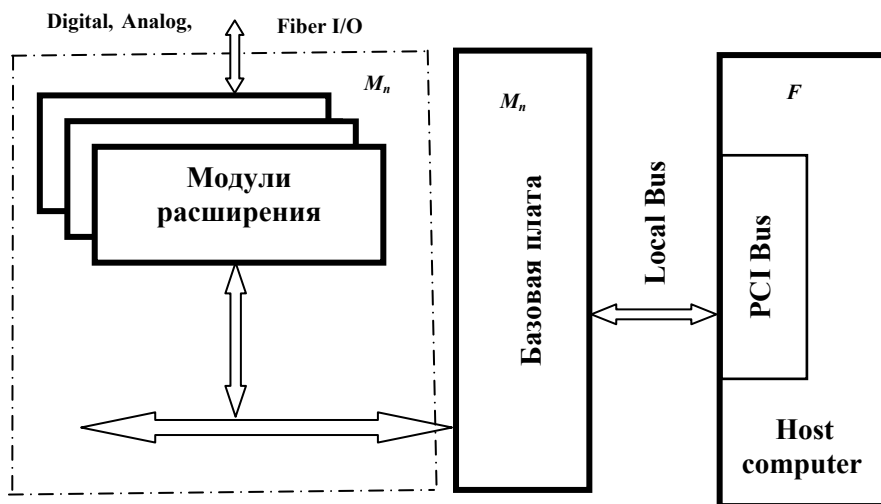


Рис. 1. Структура вычислительной системы, которая изменяет конфигурацию

Все современные вычислительные системы строятся на основе узко или широко специализированных процессоров, в которых переход от одной к другой системе команд может быть реализован программно-аппаратным способом не менее как за два машинных тактов. Это объясняется последовательной обработкой иерархической (общей (управляющей) и частной (рабочей)) информации, которая требует изменения состояния автомата стратегии за один машинный такт, а лишь потом во втором машинном такте можно приступить к обработке информации в отдельном многофункциональном устройстве.

Скорость V решения задач при последовательной обработке общей и отдельной информации при программном управлении в значительной степени зависит от

количества обращений к устройству памяти для перестройки реконфигурированной системы, которая в первом приближении вычисляется по формуле:

$$V = \frac{1}{k_1 t_1 + k_2 t_0}, \quad (2)$$

где t_i – время выборки слова из памяти при выполнении операции в отдельном устройстве;

k_1 – среднее количество обращений к устройству памяти при выполнении операции в отдельном устройстве;

k_2 – среднее количество обращений к устройству памяти для перестройки алгоритма обработки;

t_0 – время выборки слова из памяти при обращении к устройству памяти для перестройки алгоритма обработки.

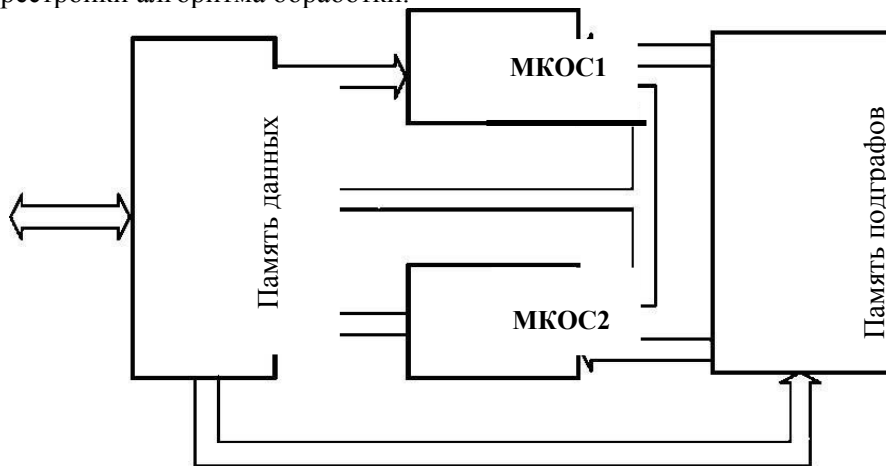


Рис. 2. Двухкаскадный МКОС с переменной конфигурацией подграфов

Таким образом, основные принципы, которыми пользуются современные разработчики, проектирующие реконфигурированные компьютерные системы, заключаются в следующем:

1. В качестве памяти используются двоичные триггеры.
2. Разрабатываются только детерминированные устройства, время функционирования которых рассматривается в дискретные моменты времени, то есть только во время перехода элементарной схемы памяти (триггера).
3. Реконфигурированные компьютерные системы используют в качестве автоматов стратегии, которые осуществляют переключение алгоритмов многофункциональных устройств, классические автоматы Мили, Мура или С-автоматы, память которых реализована на триггерах.

2. Элементарные многофункциональные схемы автоматной памяти

Символьный язык описания элементарных схем памяти (триггеров, МФСП), с помощью которого можно формальными способами определить их основные характеристики: количество используемых логических элементов, устанавливающих и сохраняющих входных сигналов. Зная основные характеристики (параметры) элементарной схем памяти, проектировщик

осмыслено может выбрать элементарную схему памяти, необходимую для логического проектирования сложного устройства [4-5].

К наиболее известным двоичным элементарным схемам памяти принадлежат триггеры, которые построены на базе триггера *RS*-типа, который является частным случаем многофункциональной схемы памяти (МФСП). Такие схемы характеризуются тремя основными параметрами: M – количество запоминающих устойчивых состояния a , каждое из которых отвечает определенному выходному сигналу схемы памяти $y_2(T)$; r_x – количество устанавливающих входных сигналов $x(t)$ и r_e – количество сохраняющих входных сигналов $e(\Delta)$, которые формально связаны со структурой МФСП. Основные структуры МФСП, созданные на логических элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ или И-ИЛИ-НЕ, а их параметры определяются предложенными формулами [4–5].

Схемы памяти состоят из групп элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ), какие взаимосвязанные между собой цепями обратных связей, а количество состояний K_i в i -й группе определяется по формуле:

$$K_i = 2^{R_i} - 1, \quad (3)$$

где R_i – количество элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ) в i -й группе.

Так, количество M_x устойчивых состояния $a(\Delta)$ МФСП, что сохраняются под воздействием сохраняющих входных сигналов $e(\Delta)$, определяется формулой:

$$M_x = \sum_{i=1}^m K_i, \quad (4)$$

где K_i – количество состояний в i -й группе МФСП.

Общее количество r_x разных наборов устанавливающих $x(t)$ входных сигналов МФСП определяется формулой:

$$r_x = M_x + 1, \quad (5)$$

где M_x – количество устойчивых состояния МФСП, которые сохраняются;

1 – дополнительный набор устойчивого $x_p(t)$ входного сигнала, который однозначно устанавливает состояние $a_p(t)$, которое не сохраняется ни при одном наборе сохраняющем $e(\Delta)$ входного сигнала МФСП.

Такой $x_p(t)$ входной сигнал в детерминированных устройствах считается запрещенным.

Количество r_e разных наборов сохраняющих $e(\Delta)$ входных сигналов МФСП можно определять формулой:

$$r_e = \prod_{i=1}^m K_i. \quad (6)$$

Структуру МФСП можно описать символьным числом. Символьное описание элементарного устройства памяти определяется в виде позиционного числа (десятичного или шестнадцатеричного), чтобы представить структуру МФСП. Это

число должно характеризовать структуру так, чтобы используя число, можно формальными методами вычислить основные параметры схемы памяти, на основе которых можно выполнить выбор оптимальной структуры (на взгляд проектировщика) и построить ее на логических элементах в виде функциональной схемы памяти.

В символьном описании МФСП целесообразно ввести многоразрядное десятичное число, количество разрядов которого отвечает количеству групп логических элементов в МФСП, а каждая цифра – количество логических элементов в той или другой группе. Максимальное количество разрядов десятичного числа будет равно 10, что отвечает ограничению числа групп до 10 в структуре МФСП. Эти ограничения чисто условны, хотя и отвечают до некоторой степени ограничению многих базовых элементов ИЛИ-НЕ (И-НЕ) интегральных схем. Примером МФСП может быть функциональная схема, которая изображена на рис. 3. Она имеет при задании символьным языком описание 22, что указывает в каждой группе по два логических элемента ИЛИ-НЕ. По формулам (3–6) можно вычислить такие важные параметры МФСП (рис. 3), как: $K=3$; $M=6$; $r_x=7$; $r_e=9$.

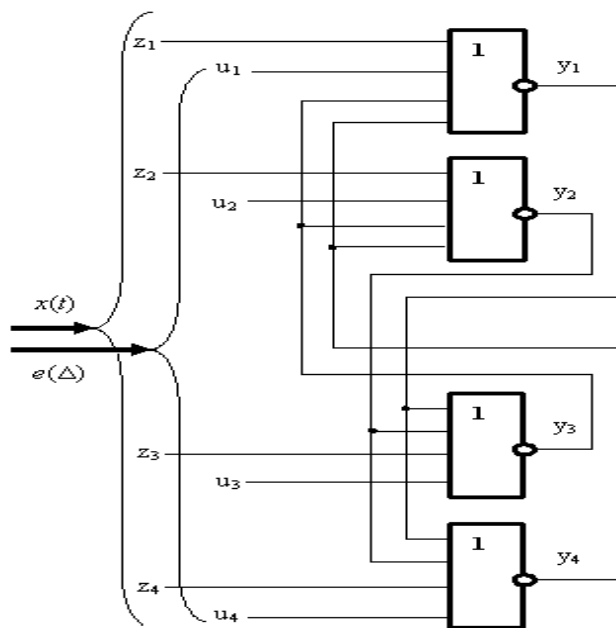


Рис. 3. МФСП класса L

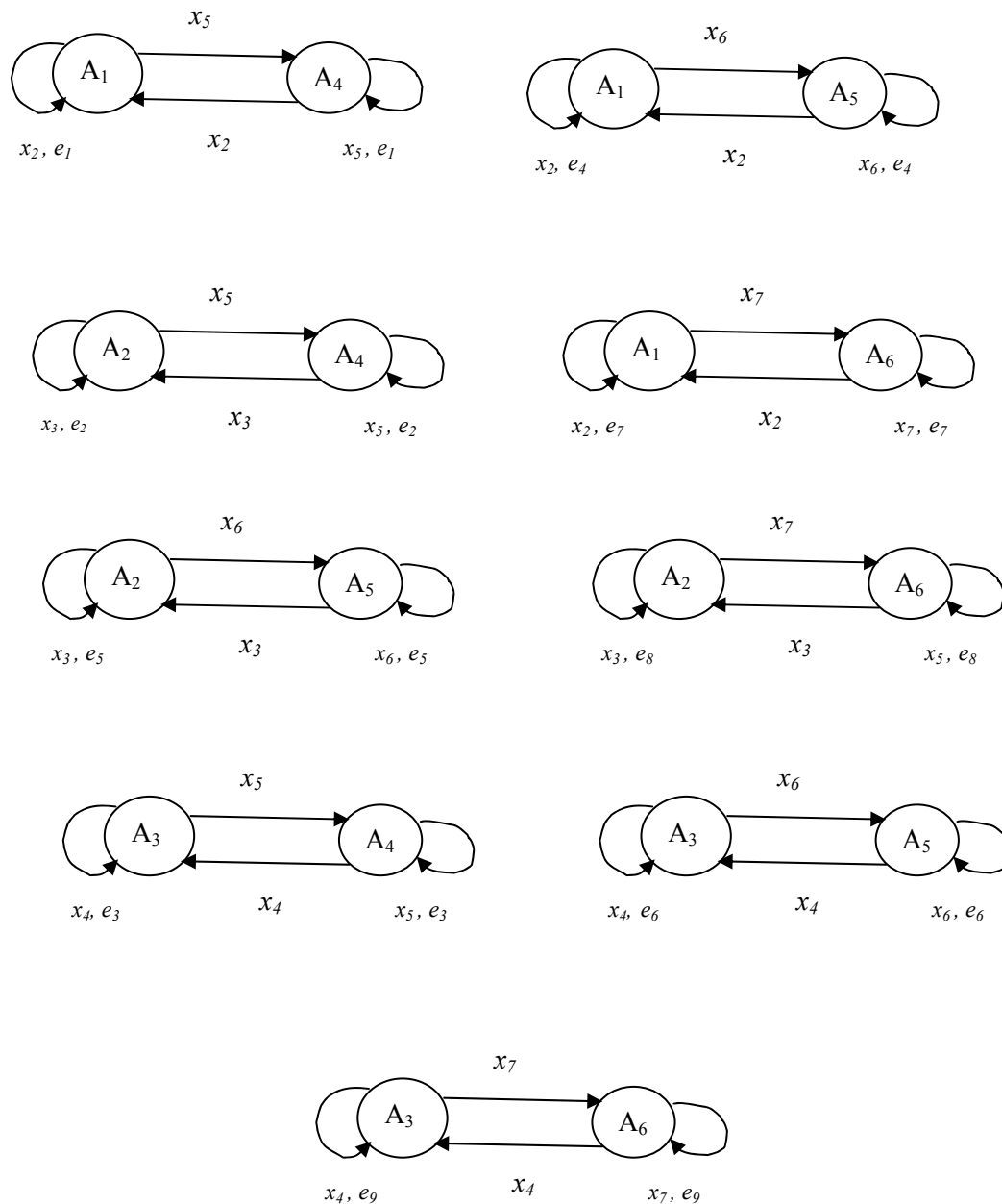


Рис. 4. МФСП может функционировать как 9 триггеров RS-типа

Для более конкретных значений входных устанавливающих и сохраняющих сигналов необходимо эту МФСП моделировать, используя автоматное непрерывное время [8]. Методы моделирования схем памяти описаны в работе [5] с помощью программного пакета Multisim компании National Instruments, Electronics Workbench Group).

Входные устанавливающие сигналы $x(t)$ подаются на входные узлы z_i , а сохраняющие входные сигналы $e(\Delta)$ – на входные узлы u_j . При одновременной подаче входных сигналов $x(t)$ и $e(t)$, входной сигнал $e(t)$ поглощается:

$$x(t) = x(t) \cup e(t). \quad (7)$$

При поступлении на входные узлы u_j только одного входного сигнала $e(\Delta)$, МФСП может работать только в одном множестве своих состояний. Наглядно это демонстрирует рис. 4, в котором отображено девять разных множеств, в которых может работать МФСП (рис. 3).

Качественно новым принципом работы МФСП по сравнению с триггерами является:

1. Использование различных сохраняющих $e(\Delta)$ входных сигналов, содержащих общую информацию в многоуровневой схеме памяти, для изменения структуры запоминания состояний частной информации в многофункциональной элементарной схеме памяти, позволяет одновременно обрабатывать общую и частную информацию в многоуровневой схеме памяти за один машинный такт [9, 10].

2. Использование не только однозначных переходов из одного состояния в другое одного подмножества состояний под воздействием устанавливающих $x(t)$ входных сигналов, как это осуществляется в триггере, но и использование укрупненных переходов под воздействием сохраняющих $e(\Delta)$ входных сигналов из состояния одного подмножества состояний в состояние вполне определенного другого подмножества состояний.

Таким образом, изменяя сохраняющие $e(\Delta)$ входные сигналы, мы получаем изменение структуры запоминания состояний в МФСП.

3. Реконфигурируемые процессоры на элементарных многофункциональных схемах памяти.

В современных компьютерах выделяют три уровня внутреннего языка, которым соответствуют три уровня управления: алгоритмический, программный и микропрограммный [12]. Каждый из уровней может выполнять две основные функции: служить универсальным способом отображения входного языка (т.е. языка, на котором задаётся алгоритм задачи) и способами интерпретации одних операторов через другие.

При этом все уровни управления находятся в определенной иерархической связи, что позволяет осуществлять операторы высокого уровня непосредственно операторами более низкого уровня (рис. 5).

Характер связей между уровнями управления, а так же функции каждого из них наиболее существенно отображают особенности архитектуры и структуры процессоров.

Принцип иерархического программного управления, предложенный Л.Ф. Мараховским [13], который разбивает управляющую информацию на n



Рис 5. Уровни управления

уровней, дает основания ввести четвертый уровень управления – микропрограммный, который является общим по отношению к микропрограммному уровню и обеспечивает обработку общей и частной информации одновременно (рис. 6) [13].

Это дает возможность повысить скорость обработки информации в классе алгоритмов, которые изменяют обработку информации на протяжении времени под влиянием общей управляющей информации [14].

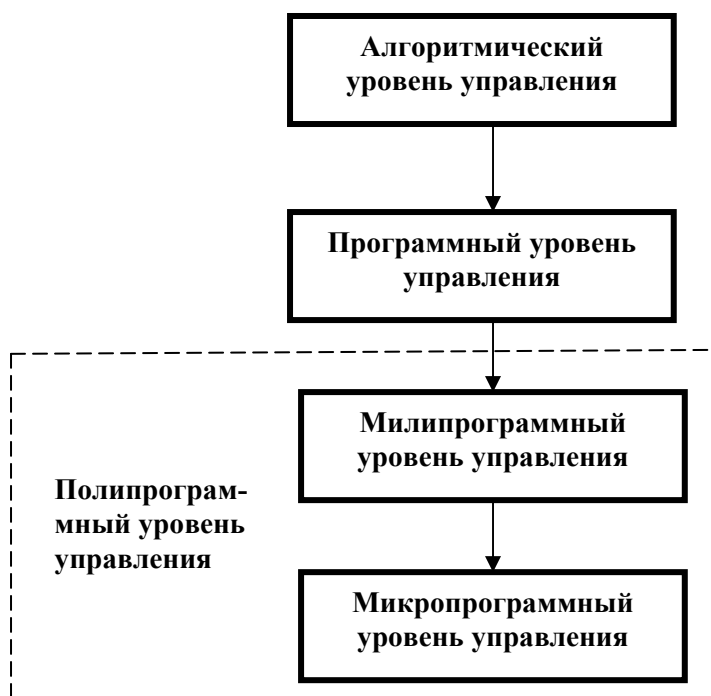


Рис. 6. Полипрограммный уровень управления

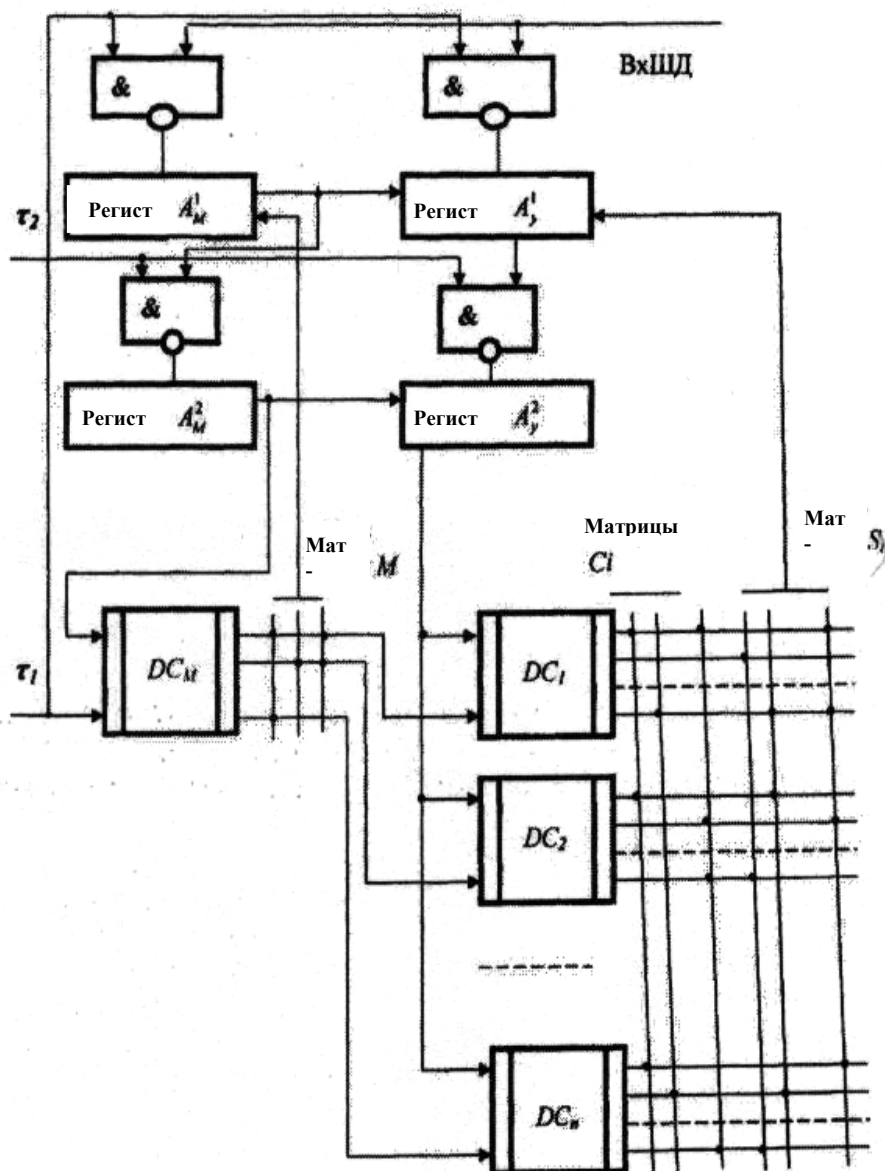


Рис. 7. Устройство управления на МФСП

Развитие структуры, а вместе с ней и архитектуры процессоров, было направлено на максимальное увеличение их производительности, на увеличение использования аппаратными средствами части программного обеспечения. Полиграммный принцип построения процессоров реализуется за счет включения в структуру процессора полиграммного блока устройства управления (рис. 7) [15]. Сохранения общей информации микропрограмм и предоставляет дополнительные возможности до микропрограммных процессоров в направлении увеличения модификаций и изменения системы команд еще в процессе работы устройства

управления и существенно приводит к возможности одновременной обработки общей и частной информации.

Милипрограммный уровень управления, который является общим по отношению к микропрограммному уровню, обеспечивает обработку общей и частной информации одновременно (рис. 6) [13]. Это дает возможность повысить скорость обработки информации в классе алгоритмов, которые изменяются в процессе обработки информации на протяжении одного машинного такта под влиянием общей информации (милипрограмм) [15].

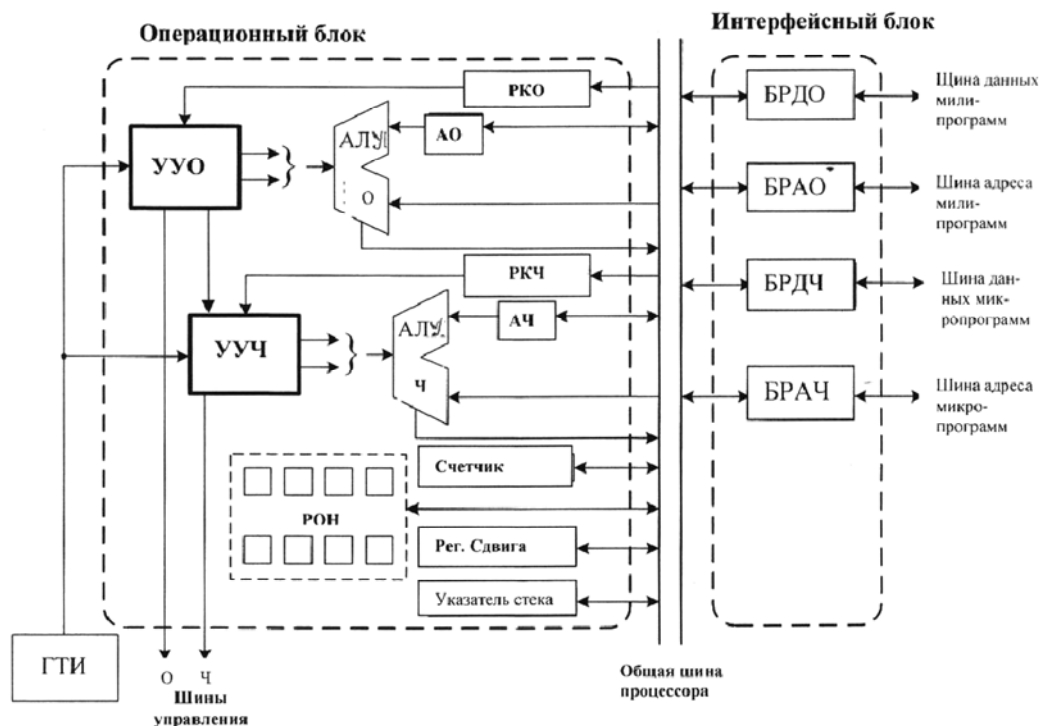


Рис. 8. Структурная схема реконфигурируемого процессора

Введение нового общего милиграммного уровня управления (УУО) совместно с частным микропрограммным (УУЧ) является новым принципом при построении микропроцессоров. Этот полиграммный принцип разделение информации на частную и общую, а также их одновременная обработка на уровне элементарных схем памяти, может быть использован при построении полиграммных процессоров (рис. 8).

Таким образом, использование в качестве памяти МФСП и образование полиграммного уровня управления, позволяющего одновременную обработку общей (милиграммного уровня управления) и частной (микропрограммного уровня управления) информации позволяет создавать реконфигурируемые процессоры еще на «элементарном» уровне.

Выводы

Использование МФСП в устройстве управления дает возможность создавать реконфигурируемые устройства, компьютеры, системы и сети, способные перестраивать алгоритмы своей работы без дополнительных устройств на «автоматном» уровне и более быстро реагировать на «элементном» уровне на необходимые изменения алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Estrin G., Tum R. Automatic assignment of computation in a variable computer system // IEEE Transaction on Electronic Computers. – EC-12, N6. – 1963. – P. 755–768.
2. Estrin G., Tum R. Parallel processing in a restructurable computer // IEEE Transaction on Electronic Computers. – EC-12, N6. – 1963. – P. 747–755.
3. Палагин А.В. Реконфигурируемые вычислительные системы: Основы и приложения / А.В. Палагин, В.Н. Опанасенко. – К.: Просвещение, 2006. – 280 с.
4. 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.
5. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф., Шарапов А.Д., Воеводін С.В. Комп'ютерна схемотехніка: практикум для бакалаврів спец. «Інтелектуальні системи прийняття рішень»– Київ: КНЕУ, 2009. – 245 с.
6. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Мікропроцесорний пристрій управління. – Патент зареєстровано в державному реєстрі патентів на корисні моделі № 87871 від 28.08.2009 р. – (51) МПК(2008) G06F9/00. – Бюл. 16. – 6 с.
7. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Елементарні багатофункціональні схеми автоматної пам'яті. // Збірник наукових праць ДЕТУТ, Серія «Транспортні системи і технології», 2008, Вип. 13. – С. 229-241.
8. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Определение входных слов элементарных многофункциональных схем автоматной памяти // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології», 2009. – Вип. 14. – С. 139-151.
9. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 29581 від 25 січня 2008 р. – (51) МПК (2006) G05B 11/42 –Бюл. 2. – 14 с.
10. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 29582 від 25 січня 2008 р. – (51) МПК (2006) G05B 11/42 –Бюл. 2. – 10 с.
11. Палагин А.В., Опанасенко В.Н., Сахарин В.Г. Цифровые устройства на ПЛИС типа FPGA // Электронное моделирование.– 2002. – № 2. – С. 21-33.
12. Справочник по цифровой вычислительной технике: (процессоры и память) / Б.Н.Малиновский, Е.И.Брюхович, Е.Л.Денисенко и др. / Под ред. Б.Н.Малиновского. – К.: «Техніка», 1979. – 366 с.
13. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Математические основы многофункциональных автоматов 1-го и 2-го рода и автоматов 3-го рода. – «Академія Тринитаризма», М., Эл№77-6567, пул.14296. 17.03.07. – 36 с.
14. Глушков В.М. Теория алгоритмов. – К.: КВИРТУ, 1961. – 167 с.
15. Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф. Мікропрограмний пристрій керування.– Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винахід № 87871 від 28. 08 2009 р. – (51) МПК (2009) G06F 9/00 – Бюл. 16. – 6 с.

УДК 004.932

Світлана Наконечна

АНАЛІЗ КОНТУРНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Проаналізовані контурні методи, за допомогою яких здійснюється обробка зображень. У тому числі, розглянуто виділення контурів зображень методом гіперболічного вейвлет-перетворення. Він дозволяє підвищити перешкодостійкість методу Канні контурної сегментації. Запропонований метод дозволяє регулювати рівень деталізації, підвищує завадостійкість і точність виділення контурів порівняно з існуючими диференціальними методами, підвищує ефективність аналізу зображень.

Проанализированы контурные методы, с помощью которых осуществляется обработка изображений. В том числе, рассмотрено выделение контуров изображений объектов методом гиперболического вейвлет-преобразования. Он позволяет повысить помехоустойчивость метода Канни контурной сегментации. Предложенный метод позволяет регулировать уровень детализации, повышает помехоустойчивость и точность выделения контуров по сравнению с существующими дифференциальными методами, увеличивает эффективность анализа изображений.

Contour methods, by means which the image processing is carried out, are analysed. In that number, the edge selection of object images by hyperbolic wavelet transform method is considered. It permits to increase the noise immunity of the Canny method of the contour segmentation. The offered method allow controlling level of detailing and increase noise-immunity and accuracy of edge selections in comparison with existing differential methods, increase efficiency of images analysis.

Ключові слова: градієнт, перетворення Гільберта, гіперболічне вейвлет-перетворення, контурна сегментація.

Актуальність проблеми. Актуальною проблемою при обробці зображень залишається вибір адекватного, поставленій задачі, набору характерних ознак, які будуть використовуватись для аналізу і розпізнавання зображень. У багатьох технічних задачах необхідно розпізнавати або об'єкт, або текстуру зображення, або об'єкт на фоні текстури. Границі об'єктів на зображеннях, які називаються контурами, часто призводять до орієнтованих локалізованих змін інтенсивності зображення. Використання автоматизованих систем обробки зображень на практиці довело, що контури є найбільш інформативною частиною зображень при розпізнаванні.

© Наконечна С. В., 2011

Контури є межами з високою концентрацією інформації, слабо залежної від кольору і яскравості. Вони стійкі до зміни типу датчика, форми, до частотного діапазону, в якому він використовується, не залежать від часу, доби і року.

Інші характеристики зображення при цьому значно варіюються. Контур визначає форму зображення і містить усю необхідну інформацію для розпізнавання зображень по їх формах. Перехід до обробки контура дозволяє понизити обсяг інформації, яка обробляється. Крім того, контури інваріантні до трансформацій яскравості. Результатом виділення контурів є контурний препарат – допоміжне зображення того ж розміру, що і початкове. У початковий момент всі точки цього зображення мають білий колір, а у процесі виділення контурів точки, які відповідають виявленим граничним точкам зображення, зафарбовуються чорним кольором.

Постановка задачі. При виборі методу контурної сегментації орієнтуються перш за все на те, для чого проводиться виділення контурів. Часто після виділення контура потрібно виконати його дослідження, щоб виділити об'єкти або окремі області на зображенні. Починаючи з початкового пікселя контура проводиться перевірка сусідніх елементів до тих пір, поки не виявиться наступний піксель контура. Процес повторюється до тих пір, поки пошук не доходить знову до початкового пікселя контура. Відомі відповідні алгоритми [1].

При розв'язанні задачі виділення контурів прагнуть знайти компроміс між числом помилкових контурів та числом і величиною розривів контура. Відомо, що на результат операції дослідження менше впливають невеликі розриви, оскільки їх легко виправити, ніж помилкові контури, в яких легко заплутатися [2]. Співвідношення між числом помилкових контурів та числом і величиною розривів визначається перешкодостійкістю методу виділення контурів.

Аналіз методів. Для виділення контурів об'єктів на зображенні розроблено багато різних методів, які умовно відносять до таких основних класів: методів високочастотної фільтрації; методів просторового диференціювання; методів функціональної апроксимації. Така класифікація не відповідає сучасному розвитку методів крайового детектування зображень й вимагає удосконалення.

Загальним для усіх цих методів є прагнення розглянути межу як область різкого перепаду функції інтенсивності зображення; відрізняє ж їх математична модель, що вводиться, алгоритми пошуку примежових точок. Відповідно до поставлених задач до усіх алгоритмів крайового детектування висувалися такі вимоги: виділені контури повинні бути стоншеними; виділені контури повинні бути без розривів і замкнутими. Однак висунуті вимоги не завжди виконуються й детектори не дають бажаного результату – у більшості випадків контури виходять незамкнутими і, як наслідок, непридатними для ряду процедур аналізу. Таким чином, процес виділення контурів ускладнюється у зв'язку з необхідністю використовувати декілька різних алгоритмів в одному детекторі, що не дозволяє провести чіткі межі та віднести той чи інший детектор до відповідного методу [7].

У сучасній теорії обробки зображень приділяють велику увагу розробці методів виділення контурів, оскільки для багатьох систем технічного зору виділення контрастних перепадів є однією з головних задач розпізнавання зображень [7]. Це пов'язано з інтуїтивним розумінням того, що в контурних лініях міститься велика кількість інформації.

Контурні лінії утворюються в примежових ділянках об'єктів і можуть бути краями не тільки між об'єктами сцени й фону, але й межами, які ґрунтуються на

одній з двох базових властивостей сигналу інтенсивності: розривності та однорідності.

Традиційне розв'язання задачі виділення контурів має чотири етапи: підкреслення (посилення) перепадів інтенсивності, виділення граничних точок, звуження (скелетизація) і усунення розривів. Проте лише підкресленню перепадів інтенсивності й виділенню граничних точок приділяють значну увагу [7].

Методи виділення контурів можна розділити на дві великі групи: диференціальні та кореляційно-екстремальні [2]. У диференціальних методах перепади інтенсивності підсилюються за допомогою багаточисельного диференціювання, тоді виділяється контур за допомогою порогового пристрою, після чого бінарне зображення піддається вторинній обробці, ціль якої – зменшення контура до одного пікселя. Метод простий в реалізації та має високу бистроту, але низьку завадостійкість. Тому ціллю дослідження є підвищення завадостійкості виділення контурів. Головним критерієм при оцінці завадостійкості виділення контурів є положення перепаду яскравості [1, 2].

Одним з найбільш ефективних диференціальних методів є метод Канні [3], згідно з яким спочатку виконується згладжування зображення за допомогою гауссівського фільтра. Потім визначається величина стрибка інтенсивності і його напрямлення в кожній точці згладжуваного зображення, для чого зображення диференціюють за двома ортогональними напрямками і обчислюють величину градієнта як квадратний корінь із квадратів похідних. Направлення градієнта обчислюється як арктангенс відношення похідних. Майбутні точки контура визначаються у результаті придушення точок, які не являються локальними максимумами величини градієнта. У цьому випадку величина стрибка інтенсивності у кожній точці контура вважається рівною нулю, якщо вона не перевищує величину стрибка інтенсивності у двох сусідніх точках по напрямку градієнта. Потім виконується порівняння величини інтенсивності в отриманих точках контура з двома порогами методом гістерезису. Згідно з цим методом точки, величина інтенсивності в яких менша нижнього порогу, не включаються в контурний препарат. Точки, величина інтенсивності в яких вища нижнього порогу, приєднуються до сусідніх точок, величина інтенсивності в яких перевищує верхній поріг [3].

Не дивлячись на використання методу гістерезису, низька завадостійкість операції чисельного диференціювання приводить до виділення помилкових контурів, які затрудняють виконання операції дослідження. У цьому випадку можуть бути корисні нелінійні методи контрастування [1]. Завадостійкість методу Канні також залежить від співвідношення довжини вікна згладжувачого фільтра і величини порогу. Вирішення цієї проблеми сприяють багатомасштабні методи вейвлет-аналізу, що здійснюють обробку зображення фільтрами різної довжини. Для об'єднання результатів обробки зображення на різних масштабах слід використовувати ентропійну характеристику.

Перевагами методу Канні контурної сегментації зображень є нелінійне контрастування, що поліпшує завадостійкість методу. Для ліквідації розривів контура у складі методу використовується морфологічна операція дилатації нарощування точок контура. Використання морфологічної операції дилатації у поєднанні з немаксимальним приглушенням сприяють поліпшенню завадостійкості методу і візуальної якості контурного препарату.

Недоліками методу Канні є низька точність виділення контурів, що впливає на завадостійкість.

Не дивлячись на переваги, на результат роботи методу Канні впливають попереднє згладжування зображення і підкреслення перепадів інтенсивності зображення шляхом оцінки градієнта зображення. Згладжування значень інтенсивності зображення підвищує завадостійкість будь-якого методу контурної сегментації при високих і середніх значеннях відношення сигнал/шум вхідного зображення. Тому застосовується підкреслення перепадів інтенсивності зображення за допомогою вейвлет-перетворення, що зберігає завадостійкість методів контурної сегментації зображень із згладжуванням, але у меншій мірі залежного від ситуації, що перешкоджає.

У деяких працях показано, що для завадостійкого підкреслення контурів ціле-направлено використовувати перетворення Гільберта (ПГ) і побудоване на його базі гіперболічне вейвлет-перетворення (ГПВ) [5, 6].

ПГ і ГВП володіють рядом корисних, з погляду задачі виділення контурів, властивостей:

- достатньо ефективно проводять операцію підкреслювання контурів зображень;
- мають високу, порівняно з операцією диференціювання;
- завадостійкість;
- лінійні.

ГВП, поєднуючи властивості ПГ і вейвлет-перетворення, володіє додатковою перевагою – дозволяє регулювати детальність отриманих контурних препаратів.

Практика показала, що використання перетворення Гільберта (ПГ) дозволяє добитися завадостійкого підкреслення контурів.

ПГ володіє цілим рядом корисних, з погляду операції виділення контурів, властивостей:

- достатньо ефективно проводить операцію підкреслення перепадів інтенсивності;
- має високу завадостійкість;
- лінійне;
- має нульове математичне очікування;
- не змінює дисперсію процесу;
- зближує по формі ідеальний і протяжний перепад інтенсивності.

Оскільки оброблюване зображення часто є локально неоднорідним, процес розпізнавання краще всього проводити на різних рівнях деталізації зображення залежно від поставленої мети. У деяких випадках зображення можна розпізнати по силуету (зовнішньому контуру об'єкта), в інших інформативною частиною є дрібні деталі об'єкта. Тому при розпізнаванні зображення необхідно піддати перетворенню з властивостями просторово-частотної локалізації. Потрібними властивостями володіє вейвлет-перетворення.

Морфологічний метод контурної сегментації зображень на основі гіперболічного вейвлет-перетворення (ГПВ), що підвищує завадостійкість виділення контурів при малих значеннях відношення сигнал/шум вхідного зображення і забезпечує регульовану деталізацію об'єктів зображення.

Метод контурної сегментації зображень на основі ГВП з параметрами: відношення верхнього порогу до нижнього і верхній поріг, тобто відсоток точок в

розподілі величин вейвлет-коефіцієнтів, які будуть включені в контурний препарат, полягає в наступному:

- задаються значення масштабу ГВП;
- для ГВП з кожним значенням масштабу s ;
- обчислюються верхній і нижній пороги з урахуванням обраних параметрів;
- обчислюються коефіцієнти фільтра;
- для кожного рядка початкового зображення виконується ГВП з використанням коефіцієнтів фільтра; виходить контрастзоване зображення, де x – номер рядка, y – номер стовпця зображення, такого ж розміру, як і початкове;
- для кожного стовпця початкового зображення виконується ГВП з використанням коефіцієнтів фільтра; виходить контрастзоване зображення такого ж розміру, як і початкове;
- контрастованим зображенням застосовується морфологічна обробка контура зображення методу Канні.

Методи на основі вейвлет-перетворення забезпечують також регульовану деталізацію об'єктів зображення, під якою розуміється залежність локальних екстремумів інтенсивності контрастованого зображення як від висоти перепаду початкового зображення, так і від геометричних розмірів об'єкта на зображенні.

Метод підвищення різкості дає змогу з більш високою точністю виконати контуризацію, а також визначити геометричні параметри об'єктів, що досліджуються.

Відомі класичні методи підвищення різкості чи виділення контурів зображення не завжди дають очікувані результати. Наприклад, при виділенні контуру малококонтрастних зашумлених зображень класичними методами, контурні лінії є широкими, оскільки зображення були розмитими, а також містили різного роду шуми. Окрім цього, наприклад, градієнтні методи, на яких оснований детектори такі, як Канні, через малу контрастність перепадів і шуми часто дають контурну лінію, координати якої не відповідають дійсності або несправжню контурну лінію.

Виділимо ще метод апроксимації прямолінійними сегментами. Алгоритм даного методу:

- обчислення перетворення Хафа;
- виділення максимумів в просторі перетворення Хафа;
- пошук «точок-кандидатів на злам, що являються точками перетину прямих і розташованих в полі зображення ;
- покриття зображення «елементарними областями»;
- визначення кольору кожної «елементарної області»;
- злиття «елементарних областей»;
- видалення «зайвих точок», що не є точками зламу, і отримання остаточного векторного опису сегментованих областей.

Даний алгоритм виділення інформативних ознак дозволяє порівняно з відомими алгоритмами значно підвищити швидкість розпізнавання і понизити вимоги до пам'яті. У свою чергу, вказані інформативні ознаки володіють інваріантними властивостями по відношенню до групи афінних перетворень: повороту і масштабування.

Класичне перетворення Хафа призначено для виділення на зображенні прямих ліній, заданих параметричними рівняннями. Воно ґрунтується на використуванні простору параметрів, в якому проводиться пошук прямих. Точки зображення голосують за всі можливі гіпотези (прямі лінії, які проходять через них), і

параметри знайдених прямих відповідають локальним максимумам в просторі параметрів. Очевидно, що класичне перетворення Хафа можна використовувати для знаходження будь-яких контурних об'єктів, заданих в параметричному вигляді.

Метод структурно-лінгвістичної класифікації. Запропонований підхід до розпізнавання контурних зображень використовує для усунення впливу проєктивних спотворень різноманітні структурні критичні точки в контурах зображень для побудови концептуальних структур, що містять характерні ознаки розпізнавання, інваріантних афінним і структурним перетворенням даних контурів.

Проведені теоретичні й експериментальні дослідження запропонованого методу структурно-лінгвістичної класифікації контурних зображень у режимі реального часу показали, що його застосування в процесі розпізнавання підвищує імовірність правильної класифікації зображень об'єктів порівняно з відомими структурними методами в середньому на 10 – 30% залежно від виду деформацій зображень. Однак розгляд тільки двовимірних симетричних (або близьких до повної симетрії) зображень об'єктів, отриманих, наприклад, при зйомці з космічного апарата при невеликому відхиленні кута зйомки від положення в надир (від 0 до 20), обмежує діапазон застосування даного методу. При переході від розгляду двовимірних зображень об'єктів на площині до тривимірних зображень об'єктів у просторі, що описані двовимірними проєкціями, отриманими при різних відхиленнях кута зйомки від положення в надир (0 – 80), з'являються несиметричні контурні зображення, які не можуть бути розпізнані відомими структурно-лінгвістичними методами з достатньою якістю.

Для усунення цих недоліків пропонується підхід, який ґрунтується на побудові сукупності структурно-лінгвістичних концептів контурних зображень об'єктів, отриманих під різними кутами зйомки.

Характеристиками меж є периметр, ексцентриситет, кривизна, напрям осей. Для аналізу меж застосовуються методи контурного аналізу. Методи контурного аналізу застосовуються для отримання зовнішнього контура зображених об'єктів і запису координат точок цього контура.

Частіше за все для виявлення вимагається отримати зовнішній контур у вигляді замкнутої кривої або сукупності відрізків дуг. Потім, за допомогою заданих характеристик здійснюється пошук областей, які нас цікавлять.

Методи кореляційного аналізу зводяться до обчислення кореляції зображення заданого об'єкта із спостережуваним зображенням. Кореляція – це число, що відображає ступінь збігу двох функцій.

Суть локалізації по кореляційному критерію полягає у тому, щоб знаходити пікселі (фрагменти і цілі зображення) об'єктів, що цікавлять, тільки в тому випадку, якщо між їх значеннями яскравості в заданих каналах спостерігається стійкий кореляційний зв'язок. Цей критерій і заснований на його використанні. При пошуку і локалізації по еталону виконується кореляційна обробка ознак, отриманих від еталона і вхідного зображення як з використанням порогів по величині схожості, так і без встановлення порогу (коли шукається максимум схожості). З множини k альтернативних варіантів вибирається той об'єкт (або еталон), при якому виходить максимальна сума взаємної кореляції.

Кореляційні методи характеризуються великою обчислювальною складністю. Пов'язано це з масштабуванням і поворотами шуканого об'єкта. Головний недолік методу зіставлення з еталоном полягає в необхідності використання величезної кількості еталонів для обліку змін об'єктів, що виникають при їх повороті і

збільшенні (зменшенні) розмірів, тому кореляція рідко використовується на практиці, якщо можливий довільний поворот шуканого об'єкта. З цієї причини при зіставленні з еталоном бажано обмежитися ознаками, які менше залежать від змін розміру і форми об'єкта, наприклад, структурні ознаки об'єкта.

Висновки. Методам виділення контурів присвячена велика кількість робіт [1, 4]. Проаналізувавши методи, які використовуються для обробки зображень, зробимо висновки, що диференціальні методи прості в реалізації і володіють високою бистродією, але мають низьку завадостійкість. Різні диференціальні алгоритми виділення контурів являють собою спроби, за допомогою лінійної та нелінійної обробки, виконати операцію підсилення перепадів інтенсивності з найбільшою завадостійкістю. Для завадостійкого підкреслення контурів доцільно використовувати перетворення Гільберта (ПГ) і побудову на його основі гіперболічного вейвлет-перетворення (ГВП) [5, 6]. Це пов'язано з тим, що ПГ та ГВП володіють корисними, з точки зору задачі виділення контурів, властивостями: достатньо ефективно проводять операцію підкреслення контурів зображення; мають високу, порівняно з операцією диференціювання, завадостійкість; лінійні, а також дозволяють регулювати детальність отриманих контурних препаратів, підвищити точність виділення границь.

Контурна обробка зображень забезпечує інваріантність до трансформацій яскравості і на кілька рядів знижує обсяг інформації, яка обробляється.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т 2. – М.: Мир, 1982. – 790 с.
2. Крылов В.Н., Максимов М.В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. – Одесса: Астропринт, 1997. – 176 с.
3. Canny J.E. A computational approach to edge detection // IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – № 8.–Р. 679 – 698.
4. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера - 2-е изд., испр. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
5. Кlich Ю.А., Антоцук С.Г., Николенко А.А. Адаптивные базисные функции вейвлетного преобразования // Труды Одесск. политехн. ун-та. – Одесса, 2004. – Вып. 2(22). – С. 121-125.
6. Antoshchuk S.G., Krylov V.N. Hyperbolic wavelet domain image processing - //Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії // Матеріали міжнародної конференції. Вид-во нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2004. – С. 219-220.
7. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія / Й. Й. Білінський. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 272 с.

УДК 534

Володимир Обуховський

АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ БОКОВИХ РАМ І НАДРЕСОРНИХ БАЛОК ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Стаття присвячена діагностуванню несправностей бокових рам і надресорних балок вантажних вагонів методом акустичної емісії.

Статья посвящена диагностированию неисправностей наддресорных балок грузовых вагонов методом акустической эмиссии.

The article is devoted to diagnosing faults nadressornyh beams of freight cars by acoustic emission.

Ключові слова: діагностування, акустична емісія, п'єзоелектричні перетворювачі, неруйнуючий контроль, бокові рами, надресорні балки.

Визначення залишкового ресурсу відповідальних елементів металоконструкцій, які виробили призначений термін експлуатації, не можна здійснити тільки за результатами традиційних методів неруйнівного контролю (ультразвукової та магнітної дефектоскопії, рентгенівського контролю та ін.). Це пов'язано з невисокою точністю визначення форми, розміру, орієнтації дефекту та помилками у розрахунку. Використання методу акустичної емісії (АЕ) забезпечує отримання інформації про розвиток поверхневих і внутрішніх дефектів, що дозволяє класифікувати дефекти не за розмірами, а за ступенем їх небезпеки. Метод акустичної емісії застосовується тільки при навантаженні об'єкта робочими чи випробувальними навантаженнями.

Бічні рами і надресорні балки є основними елементами візка вантажного вагона. Вони складають несучі конструкції візка, що сприймає навантаження від кузова вагона і розподіляє його між буксами колісних пар, відлиті з низьколегованої сталі марок 20ГЛ або 20ГФЛ. Звичайні методи дефектоскопії практично не застосовуються при контролі литих деталей, до яких відносяться бічні рами і надресорні балки. Використання АЕ дозволяє визначати координати дефекту в литих деталях.

Акустична емісія являє собою явище генерації хвиль напруг, які викликані раптовою перебудовою в структурі матеріалу. Класичними джерелами АЕ є процес деформування, пов'язаний із зростанням дефектів, наприклад, тріщини або зони пластичної деформації. Процес генерації та виявлення АЕ наведений на рис. 1. Раптовий рух джерела емісії викликає виникнення хвиль напруг, які поширюються в структурі матеріалу і досягають п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП). Із

© Обуховський В. В., 2011

зростанням напружень активізуються багато з наявних у матеріалі об'єкта джерел емісії. Електричні сигнали емісії, отримані в результаті перетворення датчиком хвиль напруг, посилюються, реєструються апаратурою і піддаються подальшій обробці та інтерпретації.



Рис. 1. Принципи акустичної емісії

Головні джерела АЕ-процеси пластичної деформації, пов'язані з появою, рухом і зникненням дефектів кристалічної решітки: поява та розвиток мікро- і макротріщин; тертя (у тому числі поверхонь розривів один про одного); фазові перетворення у твердому тілі. АЕ проявляється у вигляді окремих акустичних імпульсів.

Форма імпульсів АЕ, що виникають у результаті перебудови структури, залежить від природи процесу і матеріалу виробу. Процес стрибкоподібного зняття локальних напружень шляхом руйнування викликає імпульс з крутим фронтом, як більшість імпульсів на рис. 2, а.

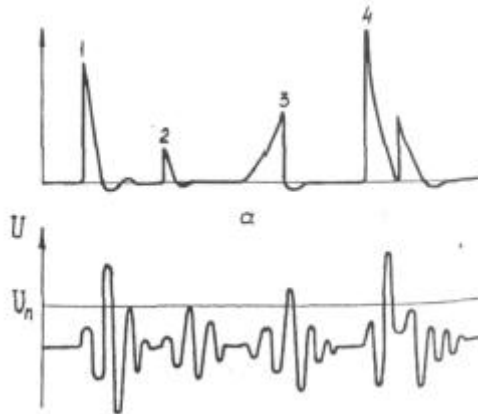


Рис. 2. Форма імпульсів АЕ (а) і відповідних сигналів після приймального тракту (б)

Спад імпульсу відповідає відновленню внутрішніх напружень. Іноді вони не відновлюються або відновлюються не повністю. Повернення до напруженого стану відбувається повільніше, ніж розрив, може супроводжуватися швидко затухаючими коливаннями, як показано для першого імпульсу. Імпульси розглянутого типу називають релаксаційним. Вони характерні для процесів виникнення і руху дислокації та їх груп, виникнення і розвитку тріщин.

Точкове віддалене від поверхні джерело АЕ випромінює сферичні подовжню і поперечну хвилі. Згасання хвиль в матеріалі викликає сильне ослаблення високочастотної складової сигналу, оскільки коефіцієнт загасання швидко зростає з частотою. При падінні на поверхні виробу хвилі відбиваються і трансформуються. У результаті з'являються поверхневі хвилі, амплітуда яких зменшується з відстанню значно повільніше, ніж для сферичної хвилі, тому вони реєструються приймачем. Все це призводить до значного спотворення первісного сигналу АЕ в зоні прийому.

У результаті проходження імпульсів через приймальний перетворювач і підсилювальний тракт з обмеженою смугою пропускання відбувається подальше спотворення імпульсів. Вони набувають двополярний коливальний характер, тривалість їх збільшується, швидко рухаючись один за одним імпульси зливаються (рис. 2, б).

Основні параметри АЕ – це число імпульсів за час спостереження і активність АЕ, що дорівнює кількості імпульсів в деякому інтервалі часу спостереження (звичайно 0,1 або 1 с). Фактично реєструються не всі імпульси АЕ, а лише ті, що перевищують певний поріг (рис. 2, б). Тоді параметри емісії позначають: сумарний рахунок і швидкість рахунку.

Для характеристики процесу АЕ важливо не тільки кількість імпульсів, але і їх амплітуда. Параметром, що враховує обидві величини, є ефективне значення акустичної емісії, пропорційне добутку активності (або швидкості рахунку) АЕ на середнє значення амплітуди сигналів АЕ за одиницю часу. Її зазвичай вимірюють у вольтх (точніше – у мкВ).

Акустичну емісію при деформації матеріалів спостерігають у процесі механічних випробувань гладких зразків. Кожному типу діаграми «напруга – деформація», одержуваної при випробуванні на розтяг різних матеріалів, відповідає своєрідна зміна процесу АЕ.

При переході до пластичної деформації АЕ різко зростає у великому об'ємі зразка. Ця деформація пов'язана з масовим утворенням і переміщенням дефектів кристалічної решітки. Відбувається утворення, рух дислокації і їх груп, двійникування. Всі ці процеси пов'язані з появою сигналів АЕ.

Максимум ефективного значення та активності АЕ досягається поблизу межі текучості, коли пластична деформація становить близько 0,2 % довжини зразка. Потім кочення зменшуються через те, що рух знову утворених дислокацій обмежується вже існуючими. У результаті сигнали АЕ з достатньою для реєстрації амплітудою з'являються все рідше.

Важливий параметр АЕ при пластичній деформації – амплітудний розподіл. Метали з решітками типу гранецентрований куб (алюміній, залізо) мають невелику середню енергію імпульсу, сигнали великої амплітуди в них спостерігають рідко. Для цих матеріалів характерна деформація ковзанням. Метали з решітками типу вб'ємоцентрований куб (у тому числі залізо) мають трохи більше середнє значення енергії імпульсів. Деформація металів з гексагональною щільноупакованою решіткою (наприклад, цинку, титану) викликає імпульси АЕ з амплітудою в тисячі разів більшою, оскільки вони деформуються двійникуванням.

У зразках з дефектами як штучними (надрізами), так і природними тріщинами, відбувається концентрація напружень поблизу гострого краю дефекту. У цьому місці утворюється локальна зона пластичної деформації, обсяг якої пропорційний коефіцієнту інтенсивності напружень – величиною, що характеризує складний

напружений стан. Від цієї зони з'являються імпульси АЕ. Коли локальне напруження перевершує межу міцності, відбувається мікророзрив – стрибкоподібне збільшення дефекту; він проходить через цю зону, створюючи сигнали АЕ. При подальшому навантаженні процес повторюється. Таким чином, число імпульсів АЕ зростає із зростанням інтенсивності напружень.

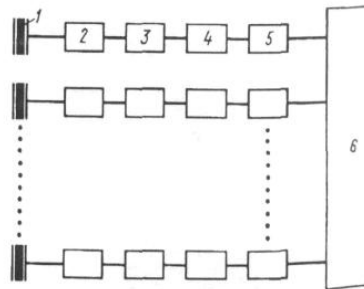


Рис. 3. Структурна схема апаратури для контролю акустико-емісійним методом

На рис. 3 показана функціональна схема багатоканальної апаратури для контролю методом АЕ. До складу одного каналу входять такі вузли:

Перетворювач 1 – чутливий елемент п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП), виготовляють з п'єзокераміки типу ЦТС. Для роботи при температурах вище 300-400°C і високому рівні радіації застосовують ніобат літію, у якого точка Кюрі близько 1200°C. Використовують широкосмугові, смугові та вузькосмугові ПЕП, останні зазвичай застосовують, коли на основі попередніх досліджень вибраний оптимальний для контролю діапазон частот, а широкосмугові – коли потрібно дослідити форму і частотний спектр сигналів АЕ. ПЕП зазвичай розраховують на прийом коливань нормальних до поверхні. Діаграма спрямованості ПЕП, як правило, досить широка. ПЕП приклеюють до поверхні контролюваного об'єкта легкокорозійним клеєм.

Попередній підсилювач 2 з невеликим (до 20 дБ) посиленням і низьким рівнем шумів розташований безпосередньо у ПЕП. Він покращує відношення «сигнал – шум» при передачі сигналу до апаратури, віддаленої на 50-100 м.

Фільтром 3 встановлюють спектр частот сигналів, що приймаються. Оптимально умова збігу спектру частот приймача зі спектром сигналів АЕ, однак останній дуже широкий, тому смугу фільтра вибирають вище частот перешкод. Перешкоди від механічних ударів мають спектр не вище 0,4 МГц, від тертя – до 1 МГц. Спектр електромагнітних перешкод ще більш високочастотний.

Основний підсилювач 4 має рівномірну амплітудно-частотну характеристику в діапазоні спостережуваних частот при коефіцієнті посилення 60-80 дБ. Характеристика посилення лінійна, або (у випадку великого динамічного діапазону) логарифмічна.

Блок обробки сигналів 5 зараховує прийняті каналом сигнали за весь час випробувань або за короткий інтервал часу (наприклад, 0,1 с) і виконує їх аналіз. В аналіз сигналів входить дослідження їх амплітудного розподілу, зняття амплітудно-частотних характеристик. Застосовують звукову та світлову сигналізацію при перевищенні певного рівня амплітуди.

Блок визначення місця розташування джерела сигналів *б* використовує інформацію від декількох перетворювачів, розташованих в різних місцях. Коли сигнал досягає найближчого до джерела перетворювача, починається відлік часу. Потім вимірюють запізнювання часу приходу того ж сигналу на інші перетворювачі.

Після обробки сигнали АЕ подають на дисплей, на якому одночасно представлена розгортка, відповідна поверхні виробу і розташуванню на ньому перетворювачів. Джерело АЕ з'являється на екрані у вигляді світлової точки. Помилка визначення положення джерела становить 3-5 % максимальної відстані між перетворювачами, але не менше, ніж величина порядку товщини стінки контролюваного об'єкта. Останнє пов'язано з тим, що положення джерела по товщині зазвичай не визначають, а знаходять тільки місце епіцентру (сліду) джерела на поверхні.

ПЕП розміщують на об'єкті так, щоб забезпечити надійний контроль областей, де найбільш вірогідна поява і розвиток дефектів: зварних з'єднань, місць концентрації напружень. При контролі судин тиску ПЕП розміщують на відстані 200-5000 мм один від одного. Їх поміщають поблизу особливо напружених зварних швів, радіусних переходів, патрубків.

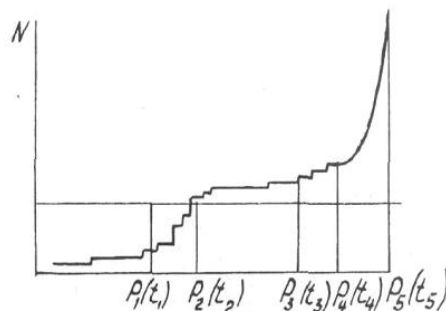


Рис. 4. Характерна залежність числа імпульсів АЕ від статичного навантаження

На рис. 4 показана характерна крива зростання кількості імпульсів *N* при збільшенні статичного навантаження об'єкта. При збереженні режиму навантаження об'єкт обов'язково зруйнується по ділянці, де було джерело емісії. Ступінчастий характер кривої відповідає стрибкоподібному росту тріщин.

Перед проведенням АЕ-діагностики бічних рам і надресорних балок виконується робота з дослідження чутливості діагностичної АЕ-системи. Після дослідження операції калібрування починається навантаження бічних рам і надресорна балок на спеціальному стенді, що імітує реальні навантаження, яких зазнає візок вантажного вагона. Імітація навантажень здійснюється за допомогою маслонасосної станції. Випробування бічних рам проводяться в два етапи. Спочатку прикладається поздовжнє навантаження $R_p = 13$ т. Потім поздовжнє навантаження знімається і прикладається вертикальне навантаження $R_v = 70$ т. Навантаження здійснюють ступенем з витримкою на кожному ступені протягом $\Delta t = 1 \dots 3$ хв. У момент витримки навантаження протягом часу Δt системою здійснюється опитування і запис вимірювальної інформації в комп'ютер. Найбільш навантаженими місцями бічних рам є буксові отвори, в яких діють напруження розтягу. У той же час робиться попередня оцінка щодо локалізації сигналів АЕ та

ступеня небезпеки дефекту. При цьому реєструється не тільки наявність втомних тріщин і раковин у литті, але і перевіряється якість наплавлення в районі буксового вузла. На рис. 5 показана розстановка ПЕП на конструкції бічної рами.

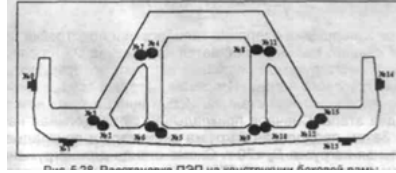


Рис. 5. Розстановка ПЕП на конструкції бічної рами

Надресорні балки випробовуються в режимі навантаження, при якому мінімальне навантаження складає $P_{\min} = 10$ т, а максимальне $P_{\max} = 120$ т. Місця встановлення датчиків показані на рис. 6.

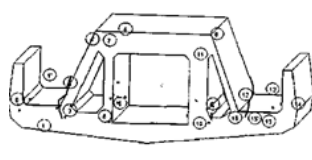


Рис. 6. Розстановка ПЕП на надресорній балці

У досліджених дефектних надресорних балках втомні тріщини знаходяться в районі технологічних вікон, на опорній поверхні підп'ятника, або в районі похилої площини короби ковзуна.

Таким чином, випробування бічних рам і надресорних балок показали, що литі об'єкти ефективно відбраковуються АЕ-системою за втомними тріщинами і неякісним наплавленням, а також зварними швами. Метод АЕ, як засіб неруйнуючого контролю конструкцій, дозволяє проводити інтегральний контроль і виявляти тільки несучільності, що представляють дійсну небезпеку. Проте він не дає достатньої інформації, щоб передбачити працездатність виробу задовго до руйнування. Для прогнозування ресурсу виробів без явних дефектів після виготовлення акустико-емісійний метод непридатний.

ЛІТЕРАТУРА

1. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Муравьев В.В. и др. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций. — М.: Радио и связь, 2000.
2. Адриан Полок. Physical Acoustics Corporation (PAC). Металлы (METALS HANDBOOK). — 9-ое издание. Т. 17. ASM. International, 1989.
3. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / Под ред. Г.С. Писаренко. — Киев: Наукова думка, 1991.
4. Комаров К.Л., Серьезнов А.Н., Муравьев В.В., Степанова Л.Н. и др. Испытания боковых рам и наддресорных балок грузовых вагонов акустико-эмиссионным методом. — М.: Дефектоскопия, 1997.
5. Гурвич А.К., Дымкин Г.Я. Системы неразрушающего контроля на железных дорогах России. — С.-Петербург: Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций, 1998.

УДК 625.143.5

Ольга Сорока

ЗАХОДИ ДЛЯ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ РЕЙОК ПО ДЕФЕКТНОСТІ

У статті подана класифікація дефектів та пошкоджень рейок, описані основні причини їх утворення. Наведені допустимі значення сумарного одиночного виходу рейок по дефектності на українських залізницях. Також в статті приводиться комплекс технічних та технологічних заходів, що дозволяють збільшити термін служби рейок відповідно до їх потужності до повного розрахункового зносу. Актуальність статті полягає у короткому та змістовному викладенні відомих на даний час методів підвищення терміну служби рейок по дефектності.

В статье представлена классификация дефектов и повреждений рельсов, описаны основные причины их образования. Приведены допускаемые значения суммарного одиночного выхода рельсов по дефектности на украинских железных дорогах. Также в статье приводится комплекс технических и технологических мероприятий, позволяющих увеличить срок службы рельсов соответственно их мощности до полного расчетного износа. Актуальность статьи заключается в кратком и содержательном изложении известных на данное время методов повышения сроков службы рельс по дефектности.

In the article are resulted the classification rail defects and damages, reasons of their derivation. Also included the allowable values of rails total single emission through defects on the Ukrainian railways. Also in the article there is the resulted complex of technical and technological measures which will allow to increase the term of rails service according to their power for complete rated wear. The topicality of article results in the short and concisely content exposition of the methods for raising rail services term according to their defects.

Ключові слова: термін служби рейок, дефекти, пошкодження, розрахунковий знос, дефектна рейка, гостродефектна рейка, річний вихід рейок.

Рейкове господарство в колійній інфраструктурі відіграє важливу роль в безпеці перевезень, від якого залежить експлуатація і своєчасний ремонт залізничних колій. Збільшення вантажонапруженості, осьових навантажень, швидкостей руху призводить до зростання напружень в рейках і, як наслідок, збільшення інтенсивності утворення і розвитку дефектів елементів верхньої будови колії, збільшення витрат на поточне утримання і ремонти колії.

На вітчизняних залізницях на прямих ділянках колії і пологих кривих ($R \geq 650$ м)

© Сорока О. О., 2011

рейки виходять із ладу, насамперед, не по зносу, а по дефектах, при цьому основними є дефекти контактно-втомного походження, що утворюються в зоні контакту колеса і рейки на поверхні головки біля бокової викружки.

Основною причиною утворення дефектів рейок являються втомні процеси, що розвиваються в них і протікають тим інтенсивніше, чим більшими є: вантажна напруженість, навантаження від колісних пар на рейки, динамічні впливи на колію.

Окрім дефектів контактно-втомного характеру, в рейках у процесі експлуатації можуть виникати інші види дефектів, наприклад: тріщини в підшві або шийці, зминання і хвилеподібні деформації головки, виколи й злами та ін.

Дефекти в рейках загрожують безпеці руху поїздів і тому за ними ведеться нагляд, з метою попередження їх розвитку, виявлення причин їх появи і недопущення появи в майбутньому. Для можливості реєстрації й аналізу дефектів затверджена «Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок» [2].

Під дефектом розуміють несправність, що зародилася в результаті недоліків або порушень технології виготовлення рейок, недоліків їх конструкцій, монтажу або утримання, природного старіння, що виникли або проявилися в період експлуатації рейок. Під пошкодженням розуміють несправність, що сталася при виробництві або експлуатації рейок у колії внаслідок ненормальних, непередбачених характером роботи колії дій. Таких як, наприклад, удари сторонніх предметів, попадання цих предметів на рейки, дія рухомого складу, що зійшов із рейок, деформації при технічно неправильному завантаженні або розвантаженні, транспортуванні тощо.

Усі дефекти і пошкодження в загальній класифікації розбиті на 9 основних видів, що визначають характер і місце розташування дефекту по поперечному перерізу рейки і 9 різновидів причин, що характеризують причину виникнення дефекту [2]. Дефекти і пошкодження рейок заковані тризначним числом. Структура кодового позначення така: перша цифра коду визначає вид дефекту або пошкодження і місце його появи (головка, шийка, підшва); друга цифра визначає різновид дефекту або пошкодження з урахуванням основної причини його зародження і розвитку; третя цифра визначає місце розміщення дефекту або пошкодження по довжині рейки (1 – у стику (на відстані до 75 см від торця рейок); 2 – поза стиком; 3 – в зоні контактного стикового зварювання рейок). Перші дві цифри коду відокремлюються від третьої цифри крапкою.

Дефектні і пошкоджені рейки, відповідно за розміром дефекту або пошкодженням і можливістю безпечної експлуатації, розподілені на дві категорії. Гостродефектна рейка – це рейка, що становить пряму загрозу безпеці руху через можливість зруйнування під поїздом або сходу коліс із рейки. Після виявлення гостродефектна рейка підлягає негайному вилученню з колії (заміні). Дефекти, наявність яких вимагає віднесення рейок до гостродефектних, мають у класифікації додаткове позначення ОД. Дефектна рейка – це рейка, що характеризується, як правило, поступовим погіршенням службових властивостей нижче нормативного рівня під час експлуатації. Хоча ще забезпечується безпечний пропуск поїздів, однак у ряді випадків уже потребує введення обмеження швидкості руху. Рейки, що уражені такими дефектами, підлягають плановій заміні.

Згідно з дослідженнями ВНІЗТ (Росія) [4], одиночний вихід рейок по дефектах у початковий період експлуатації невеликий, і до пропуску тоннажу приблизно 200 млн т бруutto виростає повільно, а потім швидко збільшується (рис. 1). Виявлені дефектні рейки повинні бути замінені за час, упродовж якого дефект не досягає небезпечного рівня.

На сучасних вітчизняних залізницях дефектостійкість рейок значно гірша порівняно із зносостійкістю, тому, в основному, їх доводиться вилучати із експлуатації по дефектності раніше досягнення нормативного зносу. На основі результатів досліджень і спостережень за роботою рейок у колії на українських залізницях установлені такі допустимі значення сумарного одиночного виходу рейок по дефектності (на 1 км за весь період експлуатації): для рейок Р50 $\gamma=6$ шт/км, для рейок Р65 і Р75 $\gamma=5$ шт/км. Найбільший допустимий річний вихід рейок на 1 км (зазвичай відповідає року перед капітальним ремонтом колії) встановлений однаковим для усіх типів рейок $\gamma_1=2$ шт/км на рік.

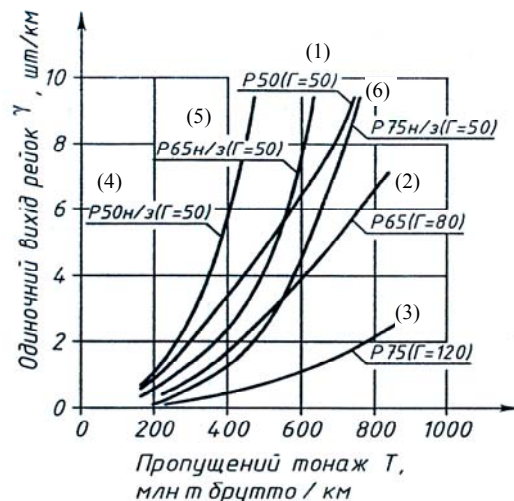


Рис. 1. Криві зростання одиночного виходу рейок залежно від пропущеного тоннажу брутто на прямих і пологих кривих при різній вантажнапруженості (за дослідженнями ВНІЗТ, Росія):

- 1 – Р50 т/о ($\Gamma \approx 50$ млн т км брутто/км на рік); 2 – Р65 т/о ($\Gamma \approx 80$ млн т км брутто/км на рік); 3 – Р75 т/о ($\Gamma \approx 120$ млн т км брутто/км на рік); 4 – Р50 н/з ($\Gamma \approx 50$ млн т км брутто/км на рік); 5 – Р65 н/з ($\Gamma \approx 50$ млн т км брутто/км на рік); 6 – Р75 н/з ($\Gamma \approx 50$ млн т км брутто/км на рік);

Вказаним нормативам γ і γ_1 відповідають порогові значення допустимого пропущеного тоннажу $T_{доп}^{деф}$ (т брутто), встановлені «Положенням про систему ведення колійного господарство на залізницях України» [6] і розраховані для середньосітьових умов:

для незагартованих рейок Р50 – $T_{доп}^{деф} = 300-500$ млн т брутто;

для незагартованих рейок Р65 і UIC60 – $T_{доп}^{деф} = 500$ і 650 млн т брутто;

для термооброблених рейок Р50 – $T_{доп}^{деф} = 550-700$ млн т брутто;

для термооброблених рейок Р65 і UIC60 – $T_{доп}^{деф} = 700$ і 800 млн т брутто.

Першими вказані дані для ланкової колії; другими – для безстикової колії.

Наведені граничні значення допустимого пропущеного тоннажу ϵ , по суті, термінами служби рейок по дефектності для середньосітьових умов експлуатації.

При досягненні вказаних показників повинна виконуватись суцільна заміна рейок (для колії на залізобетонних шпалах) або капітальний ремонт колії (при дерев'яних шпалах або при залізобетонних шпалах із вичерпаним терміном служби).

За тими ж ознаками (тобто по дефектності) визначені значення найбільшої рекомендованої вантажонапруженості для кожного типу рейок $T_{0(деф)}$:

для P50 $T_{0(деф)} = 25 \div 30$ млн т км/км на рік;

для UIC60, P65 $T_{0(деф)} = 70 \div 80$ млн т км/км на рік;

для P75 $T_{0(деф)} = 81$ та більше млн т км/км на рік.

Оскільки обмеження терміну служби рейок по одиночному їх виходу не можна визнати нормальним, то основною задачею є проведення заходів, що дозволять збільшити термін служби рейок відповідно їх потужності до повного розрахункового зносу. Це досягається за допомогою проведення комплексу заходів, що включають: покращення якості рейкового металу, у тому числі за рахунок термічної обробки; застосування безстикової колії із зварними рейковими плітками збільшеної довжини; наплавлення зношених рейкових кінців; покращення конструкції верхньої будови колії в цілому; застосування лубрикаторів, які змащують бокові грані головки рейок у кривих; покращення поточного утримання рейок і колії в цілому.

За останні 20 років якість виробництва вітчизняних рейок помітно підвищилась, виконані роботи для покращення конфігурації поперечного перерізу рейок, покращені механічні якості рейкової сталі, виконані роботи для покращення термообробки рейок і збільшений випуск рейок важких типів P65 і P75, визначені залізничні лінії з найбільш інтенсивним рухом поїздів та випущені вказівки щодо укладання на них лише термооброблених рейок. Усе це дозволило суттєво (у 1,5 – 2 рази) збільшити терміни служби рейок (особливо по одиночному виходу), порівняно із рейками старого виробництва (до 1970-1975 рр.).

Проте перерахованих заходів замало для конкурентоспроможності вітчизняних рейок з рейками передових зарубіжних виробників. Цілеспрямована робота закордонних виробників щодо покращення технології виробництва рейок і якості рейкової сталі дозволила їм домогтися покращення не тільки окремих показників якості рейок, а покращення усього комплексу механічних властивостей і структури рейкової сталі, при одночасному покращенні чистоти, якості профілю і поверхні рейок – усе це забезпечило значний стрибок у покращенні властивостей при експлуатації рейок передових зарубіжних виробників. Порівнюючи якість рейкової сталі, технологію виготовлення рейок, експлуатаційну стійкість в колії рейок вітчизняного і закордонного виробництва можна зробити висновок про необхідність проведення технологічних і технічних заходів щодо подовження термінів служби вітчизняних рейок [1]. До технологічних заходів відносяться:

1) перехід від мартенівського виробництва до виробництва рейок із киснево-конверторної сталі. Цей спосіб дозволяє більш точно витримувати і регулювати хімічний склад сталі і включати комплекс технологічних процесів, які покращують якість сталі (електромагнітне перемішування, вакуумування, неперервне розливання, ковшове рафінування та ін.);

2) забезпечення виплавки сталі широкого діапазону за хімічним складом і властивостями у відповідності з вимогами споживача;

3) забезпечення високої якості прокатки рейок на вітчизняних лініях універсальної прокатки з багатоступінчастим калібруванням, що забезпечує отримання тонкої і рівномірної внутрішньої структури металу і чистоти поверхні прокату при високій продуктивності. Забезпечення постійності геометрії профілю і однорідності механічних властивостей по довжині рейки за допомогою сучасної технології позапічного нагрівання і прокатки;

4) застосування комплексного легування рейкової сталі елементами, які дозволяють покращити службові властивості металу;

5) застосування сучасних видів термічного зміцнення рейок, які дозволяють досягати високих механічних властивостей і поверхневої твердості при збереженні необхідних пластичних властивостей металу в незміцнюваній зоні;

6) збільшення довжини рейок, що постачаються і забезпечують зменшення зварних стиків при укладанні рейок у колію.

До технічних заходів відносяться:

1) застосування рейок покращеного профілю з оптимальними контурними обрисами і раціональним перерозподіленням металу по площинах головки, підшви й шийки. Застосування рейок із збільшеною площею головки, що передбачає запас на знос (за типом міжнародного стандарту UIC);

2) уведення раціональної типізації верхньої будови колії, цільове використання рейок різної категорії якості на коліях, що відповідають за експлуатаційними показниками їх службовим характеристикам;

3) раціональне ведення системи колійного господарства з обґрунтуванням якісного утримання верхньої будови колії, якісної діагностики її стану і своєчасного призначення відповідних ремонтів;

4) упровадження сучасних технологій утримання і ремонтів колії, що забезпечують якість виконання колійних робіт на рівні світових стандартів;

5) широке застосування безстикової колії по усій довжині магістральних колій, у тому числі впровадження безстикової колії із наддовгими плітями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Даніленко Е.І. Залізнична колія // Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом: Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ: Інпрес, 2010. – Т. 1. – 399 с.
2. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України (ЦП-0060, 0061) /За ред. Е.І. Даніленка, А.М. Орловського. – Міністерство транспорту України, 2000. – 148 с.
3. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП/0138)/ Е.І. Даніленко, В.О. Яковлев, А.М. Орловський та ін. – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
4. Чернышов М.А., Крейнис З.Л. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1985. – 302 с.
5. Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.О. Яковлев та ін. – К., 2010. – 67 с.

УДК 624.154.34.041

Геннадій Таланов

НАСЛІДКИ РОЗРОБКИ ТАБЛИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ОПОРУ ҐРУНТІВ ПІД П'ЯТОЮ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ

На основі майже 40-річних досліджень розроблена таблиця досить об'єктивних значень для одної з головних складових несучої здатності буронабивних палей. Таблиця, яка пропонується, дає можливість отримувати реальні результати проектування.

На основе почти 40-летних исследований разработана таблица весьма объективных значений для одной из главных составных несущей способности буронабивных свай. Предлагаемая таблица дает возможность получать реальные результаты проектирования.

On the basis of almost 40-years-old researches the table of very objective values is developed for one of main component bearing strength of cast in place piles. The offered table enables to get the real results of planning.

Ключові слова: буронабивна палля, опір ґрунту під п'ятою, несуча здатність, розрахунки.

Успіх проектування палевих фундаментів насамперед залежить від визначення для окремої палі її реальної несучої здатності F_d , яка, у свою чергу, залежить від розмірів палі й геологічних умов. Останні враховують використання розрахункового опору ґрунтів під п'ятою палі R та на бічній поверхні її ствола f . Діючі норми [1] пропонують для буронабивних палей (б н п) два методи визначення опорів R – практичний і теоретичний. Для першого створена таблиця значень R зв'язаних ґрунтів залежно від їхнього різновиду і глибини h занурення п'яти, що отримали умовною статистичною обробкою статичних випробувань деяких натурних палей. Теоретичний метод існує для пісків і ґрунтується на умовному рішенні проф. В.Г. Березанцева осьосиметричної задачі з теорії граничної рівноваги.

Уперше ці методи були запропоновані будівельними нормами («СНиП») у 1967 р., які дещо змінювали (у бік збільшення значень R) у 1977 і 1985 рр. Справа у тому, що методи «СНиП», як правило, давали (і дають) менші значення F_d порівняно зі статичними випробуваннями, які з цієї причини робили на кожному будівельному майданчику (такі випробування – найточніший метод визначення опору F_d). До того ж табличні значення і теоретична формула [1] недостатньо науково обґрунтовані щодо практичного підтвердження.

© Таланов Г. П., 2011

Автором зі своєю науковою групою були проведені більш детальні та обґрунтовані дослідження, наслідком яких отримана таблиця опору R для зв'язних ґрунтів [2]. Вона виявилася досить реальною і відповідала вимогам нормативів тих часів. Проте у 1974 р. групою науковців (за участю автора) були опубліковані республіканські норми [3], де пропонували таблицю значень R для зв'язних ґрунтів і уперше для пісків. Структура таблиці та її кількісні показники викликали протест з нашого боку, але його не врахували. У таблиці дивним чином поєднані опори R для пісків і зв'язних ґрунтів, які у переважній більшості не відповідають статичним випробуванням.

Аналіз таблиці [3] показує, що її значення для зв'язних ґрунтів завищені, а для пісків значно занижені. Формула за методом В.Г. Березанцева [1] теж далека від реальності: значення R інколи завищені, але у переважній більшості значно занижені – особливо для дрібних і пилюватих пісків. Деяке покращення дає заміна початкового коефіцієнта 0,75 у цій формулі на одиницю. Проте і наша таблиця [2] дещо застаріла, даючи менші опори R , тому що за цей час змінилася сама методика розшифровки графіків статичних випробувань з урахування кушового ефекту, що збільшило опори F_d .

Починаючи з 1966 р., з метою розробки більш вірогідних табличних значень R , автором накопичувалися матеріали статичних випробувань бнп, певна частина яких була запозичена у різних авторів і будівельних організацій. Палі мали діаметри ствола $d_p = 0,4 \dots 1,0$ м, розширеної п'яти. $D_p = 0,8 \dots 2,0$ м і заглиблення $h = 36$ м. Одночасно, у 70-х роках були влаштовані два експериментальні майданчики для отримання основних закономірностей роботи бнп (такі майданчики створені уперше в світі і більш ніде не повторювалися). На першому зі зв'язним ґрунтом виготовлено 44 палі, на другому з піском – 12 палей. Вони мали розміри: $h = 2 \dots 12$ м; $d_p = 0,4 - 0,5$ м, $D_p = 1,0 - 1,6$ м – з науково-обумовленим співвідношенням. Усі палі неодноразово статично випробувані за стандартною методикою на стискання, витягання, а деякі – на горизонтальні навантаження. В окремих палях були розміщені спеціальні датчики і месдозы.

Експериментальні майданчики дали нові, досить невідомі закономірності для бнп, причому аналогічні для піску і глинистого ґрунту як на стискання, так і витягання. Результати цих досліджень опубліковані у ряді наукових видань. Для цієї ж статті цікаво, що в одному ґрунті на однаковій глибині значення R зменшуються зі збільшенням діаметра D_p . Тому табличні значення R мають відповідати діаметру $D_p = 1$ м.

Усього були відібрані та проаналізовані матеріали випробувань 283 палей у зв'язних і 248 палей у піщаних ґрунтах. Оброблялися тільки палі, які не мали недоліків у виготовленні, але супроводилися вірогідними інженерно-геологічними умовами. Основою аналізу служили [1] графіки залежності стабілізованого осідання палі S від статичного навантаження $N - S = f(N)$. Коли були роздільні випробування (наявність месдоз і датчиків), опір ґрунту по стволу вважали як F_f , а під п'ятою – F_R , звідки несучу здатність отримували як $F_d = F_R + F_f$. Без таких випробувань опір по стволу розраховували за формулою:

$$F_f = \gamma_{cf} u \sum f_i h_i, \quad (1)$$

де γ_{cf} – коефіцієнт, який для палей, що бурять і бетонують сухим способом чи з обсадними трубами, приймали $\gamma_{cf} = 0,8$; а для палей, розбурених і забетонованих під глинистим розчином – $\gamma_{cf} = 0,7$; решту величин та їхніх значень приймали за нормами [1]. У таких випадках опір F_R знаходили як різницю $F_R = F_d - F_f$. Значення

R отримували як $R = F_R/A$, де A – площа підшви п'яти палі. Дослідження показали, що такий розрахунковий метод визначення опору F_f є цілком реальним.

Графіки $S = f(N)$ розшифрували за сучасною методикою [1] з урахуванням кушового ефекту: незалежно від виду графіка опір F_d та його складових приймали відповідно до $S = 40$ мм. Звідси, для розрахункового значення навантаження P_d , що допускають на паль при проектуванні фундаментів ($P_d = F_d/1,4$), максимальні осідання паль (статично випробуваних) коливалися у межах 7 – 20 мм, а для більшості випадків – 10 – 15 мм. Отримані значення R групували залежно від типу ґрунтів, глибини h і статистично обробляли за ДСТУ Б.2.1-5-96 (Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів визначення характеристик). При цьому середні значення R зменшували на 20 – 25 %, що виявилось більш сприйманим для контрольних розрахунків.

Остаточні опори R перераховували на діаметр $D_p = 1$ м і корегували побудовою графіків для відповідних залежностей у напівлогарифмічних осях [2]. Ці графіки мають вигляд лінійно-кусочних функцій з трьох ділянок, які показують інтенсивність збільшення опору R з глибиною (чим більший кут нахилу до осі абсцис, тим більша інтенсивність). Перші прямі до глибини $h \approx 10$ м мають найбільший кут, у других до $h \approx 25$ м кут зменшується з подальшим зменшенням для третіх прямих (тобто більших глибин). Ця закономірність збільшення значень R для різних відрізків глибин відсутня у всіх нормативах (особливо для великих глибин, що викликає у них завищені значення R).

Глибина занурення п'яти палі h, м	Розрахункові опори [1] під п'ятою буронабивних паль R, кПа, для						
	пісків середньої щільності						
	гравелистих	крупних	середньої крупності	дрібних	пилюватих	-	-
	пилювато-глинистих ґрунтів з показником текучості I_L , що дорівнює						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	2310	2100	1650	1175	825	420	270
	1405	1295	1080	900	660		
5	2830	2570	2055	1455	1030	590	400
	1690	1540	1300	1105	850		
7	3350	3040	2465	1730	1240	760	530
	1970	1785	1520	1310	1035		
10	4130	3745	3075	2150	1550	1020	730
	2395	2150	1855	1615	1315		
15	4775	4330	3585	2485	1815	1160	795
	3115	2755	2300	1930	1530		
20	5420	4915	4090	2815	2085	1295	860
	3835	3355	2750	2240	1750		
25	6065	5500	4600	3150	2350	1435	925
	4555	3960	3195	2555	1965		
30	6500	5875	4925	3350	2500	1475	935
	5000	4335	3430	2705	2060		

Примітки: 1. Над рискою приведені значення R для пісків, під рискою – для пилувато-глинистих ґрунтів.

2. Для проміжних глибин і значень показника I_L опори R визначають інтерполяцією.

3. Для щільних пісків приведені значення R треба множити на коефіцієнти: 1,15 – для гравелистих; 1,25 – крупних і середньої крупності; 1,3 – дрібних і 1,4 – пилуватих пісків.

4. Для глибин більших за 30 м значення R у першому наближенні можна приймати екстраполяцією за відповідним питомим збільшенням як між глибинами 25 і 30 м.

За напівлогарифмічними графіками для непросадочних ґрунтів четвертинних відкладів України отримана подана таблиця, якою треба користуватися таким чином. Опір ґрунту під п'ятою палі F_R розраховують за формулою:

$$F_R = \gamma_{CR} \gamma_{CR1} R A, \quad (2)$$

де γ_{CR} – коефіцієнт, рівний 1,3; 1,15; 0,9 і 1,0 відповідно для камуфлетного розширення, при утримуванні бетонної суміші (щебеню) у вибій свердловини, при бетонуванні під глинистим розчином для зв'язних ґрунтів і у решті випадків; γ_{CR1} – коефіцієнт, рівний 1,1; 1,0; 0,9; 0,8 і 0,7 для діаметра D_p (d_p – без розширення), відповідно рівного 0,4...0,6; 0,8...1,0; 1,2; 1,4 і 1,6...2,0 м; R – опір, кПа, з наведеної таблиці; A – площа п'яти палі, м²; заглиблення п'яти у несучій шар ґрунту має бути не менш, ніж 1 м.

Порівняння експериментальних значень F_d з контрольними розрахунками за формулами (1) і (2) показує, що максимальні відхилення перших від других коливаються у межах від +25 до – 6 %. Приймаючи до уваги, що для проектування фундаментів використовують не опір F_d , а значення P_d , такі відхилення не мають принципового впливу на відповідні інженерні рішення. До речі, для фундаментів розрахункові відхилення від +10 до – 60 % вважають майже ідеальними і сприйнятими.

ЛІТЕРАТУРА

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты.
2. Таланов Г.П. и др. Результаты обработки материалов статических испытаний буронабивных свай // Промышленное строительство и инженерные сооружения. – 1971. – № 2. – С. 27 – 28.
3. РСН 263-74. Указания по проектированию, устройству и приемке фундаментов из буронабивных свай.

УДК 624.154.34

Геннадій Таланов

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ІТЕРАЦІЇ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РОЗМІРІВ ФУНДАМЕНТІВ ПІД МОСТОВІ ОПОРИ

На основі проведених досліджень розроблена нова методика з призначення розмірів підшви фундаментів мілкового закладення і низьких ростверків на забивних палях для опор залізничних мостів. Запропонований розрахунок вимагає менших трудовитрат і дає більш однозначні та економічні результати.

На основе проведенных исследований разработана новая методика по определению размеров подошвы фундаментов мелко заложения и низких ростверков на забивных сваях для опор железнодорожных мостов. Предлагаемый расчет требует меньших трудовых затрат и дает более однозначные и экономические результаты.

On the basis of the conducted researches a new method is developed on determining a size sole of foundations of shallow faoting and low grillages on precast pales for supports of railway bridges. The offered calculation requires less labour expenditures and gives more synonymous and economic results.

Ключові слова: мостова опора, розміри фундаментів, розрахунки, найоптимальніші результати.

Норми [1–3] висувають ряд вимог до визначення розмірів фундаментів, але в них нема деяких конкретних вказівок з реалізації цих вимог. Багаторічна практика (починаючи з 1960 року) довела, що найбільш оптимальним шляхом призначення розмірів підшви фундаментів є метод ітерації. Але без певних уточнень він стає багатоступеневим і не завжди дає оптимальні результати.

У 1961 р. доцент київського будівельного інституту М. С. Грутман розробив досить вдалий метод ітерації для розрахунку фундаментів промислово-цивільних споруд. Використовуючи його та провівши відповідні дослідження, автор пропонує наступне для фундаментів мілкового закладення (фмз стовпчастих) і пальових (пф) із забивних паль стосовно залізничних мостів. До того ж мова йде про низькі ростверки (нр) і палі з поперечним перерізом ствола $d_p \leq 0,5$ м. Перевірочні розрахунки для 24 опор з різним навантаженням (на суходолі і у водоймі) показали, що ця методика вимагає набагато менших трудовитрат і дає більш однозначні та економічніші результати.

© Таланов Г. П., 2011

Для фмз після вибору заглиблення d його підшови у ґрунт приймають висоту фундаменту h_f на загальних підставах [1, 2]. Далі призначають розміри у плані верхнього обрізу фмз, тобто симетричні звисання його у кожний бік l_y і b_y (довжину і ширину уступу) від підшови опори. Їхні значення, зазвичай, дорівнюють 0,15 – 0,50 м. Таким чином, отримують мінімальні розміри обрізу: ширину $b_{\min}=b_0+2b_y$ і довжину $l_{\min}=l_0+2l_y$, які у першому наближенні приймають за розміри підшови фмз як одноуступчастого (b_0 і l_0 – ширина і довжина підшови опори).

Жорсткість фмз досягають виконанням умови [1], щоб лінія уступів чи нахилу граней фундаменту відхилялася від вертикалі на кут менший від 30° . Тому висоту уступу h_y багатоуступчастих фундаментів найчастіше приймають у межах 0,7 – 2,0 м, а його довжину і ширину не більше від $0,5 h_y$. Звідси отримують максимально можливі розміри підшови: ширину $b_{\max}=b_0+h_f$ і довжину $l_{\max}=l_0+h_f$, та визначають за нормами [1] розрахунковий опір основи R_1 для прийнятих параметрів d і $b_{\min}$.

Потрібну ширину b_1 , м, підшови фмз у першому наближенні шукають за формулою

$$b_1 = \sqrt{\frac{k_1 \sum N_I}{R_1 - \gamma_{f1} \gamma d}}, \quad (1)$$

де k_1 – емпіричний коефіцієнт, що враховує позацентрованість навантаження і визначається за формулою

$$k_1 = 0,13 + \sum M_{xI} / \sum N_I; \quad (2)$$

$\sum N_I$ – сума вертикальних навантажень (для першої групи граничних станів) на верхньому обрізі фмз, кН; $\sum M_{xI}$ – сумарний момент (для першої групи граничних станів) відносно підшови фундаменту та її центральної осі X поперек моста, кН.м; γ_{f1} – коефіцієнт надійності за навантаженням, який дорівнює 1,1; γ – осереднене значення питомої ваги між матеріалом фундаменту та ґрунтом зворотної засипки на його уступах, яке приймають $\gamma = 20$ кН/м³; d – глибина закладення підшови фмз, м.

На суходолі глибину d відкладають від позначки планування рельєфу, а у водоймі – від лінії розмивання. Оскільки у водоймі часто $h_f > d$, у цьому випадку в формулу (1) замість глибини d підставляють висоту h_f , щоб більш коректно врахувати вагу фундаменту з ґрунтом. Якщо отримують ширину $b_1 < b_{\min}$, приймають значення $b_{\min}$ з опором R_1 . Коли $b_1 < b_{\max}$, опір R_2 обчислюють за нормами [1] для значення b_1 (яке має бути кратним 0,1). У випадку $b_1 > b_{\max}$, приймають ширину $b_{\max}$ і для неї шукають опір R_2 , а потрібну площу підшови фмз A_ϕ , м², визначають за формулою (для обох останніх випадків)

$$A_{\phi} = \frac{k_2 \sum N_i}{R_2 - \gamma_{f1} \gamma d}, \quad (3)$$

де k_2 – емпіричний коефіцієнт (аналогічний коефіцієнту k_1), що для першого наближення дорівнює 2; d – параметр такий же, як для формули (1).

Довжину підшви фмз l_{ϕ} (кратну 0,1м) отримують за формулою

$$l_{\phi} = A_{\phi} / b, \quad (4)$$

де b – прийнята ширина підшви, м, для якої визначено опір R_2 .

Якщо $l_{\phi} > l_{\max}$ (особливо, коли і $b_1 > b_{\max}$), треба більш заглибити фундамент і знову перерахувати його. Отримавши параметри b і l , призначають кількість і розміри уступів та перевіряють (для усіх випадків) правильність розмірів підшви фмз через контактні напруження під нею за формулами:

$$P_{fi} = \sum N_i / A \pm \sum M_{xi} / W_x; A = lb; W_x = lb^2 / 6, \quad (5)$$

де на відміну від формул (1) і (2) у суму $\sum N_i$ включають вагу фмз з ґрунтом (враховуючи зависання у воді) і стовпів води на уступах.

Розміри підшви сприймані, коли задовольняються такі нерівності [1]:

$$p_{\max} < R_{\max}; \quad (6)$$

$$p_i = \sum N_i / A \leq R_{\min}; p_{\min} \geq 0, \quad (7)$$

$$\text{де } R_{\min} = R_2 / 1,4 \approx 0,71R_2; R_{\max} = 1,2R_2 / 1,4 \approx 0,86R_2. \quad (8)$$

Коли розрахунок закінчується на значенні R_1 , у формулу (8) підставляють це значення. Не треба влаштовувати фундамент із значними запасами за формулами (6) і (7). Якщо нерівність (6) не задоволена, коефіцієнт k_2 для формули (3) визначають за формулою (9) як коефіцієнт k_3 (з точністю до сотих):

$$k_3 = 2 p_{i\max} / R_{\min}. \quad (9)$$

Слід підкреслити, що для фмз норми [1] вимагають перевірку контактних тисків окремо вздовж і поперек моста. Проте поперек моста горизонтальні навантаження викликають набагато менші контактні тиски, тому і перевірки роблять, як правило, тільки вздовж моста.

Інженерне рішення для пф значною мірою залежить від несучої здатності палі F_d . Тип палі, її розміри і значення F_d – взаємопов'язані питання, оптимальна відповідь на які докладно розглянута у статтях [4,5]. Після остаточного прийняття опору F_d визначають допустиме навантаження P_d на палю за формулою

$$P_d = F_d / \gamma_{\kappa},$$

де γ_{κ} – коефіцієнт надійності за нормами [3].

Потрібну кількість n , шт, забивних паль для нр приблизно шукають за формулою

$$n = \kappa \sum N_i / P_d,$$

де κ – емпіричний коефіцієнт, що враховує наявність згинальних моментів і приймається з точністю до десятих за формулою

$$\kappa = 1,05 + \sum M_{xI} / \sum N_I ;$$

$\sum M_{xI}$ і $\sum N_I$ – те ж, що і для формули (5), де замість ваги фундаменту підставляють вагу ростверка, але її враховують (разом з водою на уступах) тільки тоді, коли підшва нр спирається на пухкі (заторфовані) піски чи зв'язні ґрунти з показником $I_L \geq 0,6$.

Подальші операції проектування не відрізняються від загальноприйнятих [1,3] разом з перевіркою за нормами [3, формула (3)], яка дає максимальне $N_{P_{\max}}$, середнє N_p і мінімальне $N_{P_{\min}}$ навантаження на палі. Кількість паль та їхнє розташування сприйманні, коли задовольняються такі нерівності:

$$N_{P_{\max}} \leq k_4 P_d ; N_p = \sum N_I / n \leq P_d ; N_{P_{\min}} > 0 ,$$

де $k_4=1,1$, коли більш довгий ряд має чотири палі, та $k_4=1,2$ – коли вісім паль і більше (для проміжної кількості паль значення k_4 визначають інтерполяцією, а для трьох і менше паль – $k_4=1$).

ЛІТЕРАТУРА

1. *СниП 2.05.03-84*. Мосты и трубы / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 72 с.
2. *СниП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
3. *СниП 2.02.03-85*. Свайные фундаменты / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
4. *Таланов Г.П.* Забезпечення максимального заглиблення забивних паль // 3б. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 4. – К.: КУЕТТ, 2003.
5. *Таланов Г.П.* Оптимальне проектування фундаментів із забивних паль // 3б. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004.

УДК 625.23.62.

Василь Тарасюк

ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ

Використання імпульсного методу контролю частоти обертання тягових двигунів вперше запропоновано на Київському електровагоноремонтному заводі під час приймально-здавальних випробовувань тягових двигунів електропоїздів. Застосування даного методу має значний економічний ефект і зменшує рівень небезпеки обслуговуючого персоналу.

Использование импульсного метода контроля частоты вращения тяговых двигателей впервые предложено на Киевском электровагоноремонтном заводе во время приемо-сдаточных испытаний тяговых двигателей электропоездов. Применение данного метода дает значительный экономический эффект и уменьшает уровень опасности обслуживающего персонала.

The use of impulsive method of control of frequency of rotation of hauling engines is first offered at the Kievan plant the considerable economic has during the tests of hauling engines of electric trains effect and diminishes the level of danger of auxiliary personnel.

Ключові слова: приймально-здавальні випробування ТЕД, контроль частоти обертання, індуктивний датчик.

Усі електричні машини, що випускаються з ремонту, проходять програму приймально-здавальних випробувань відповідно до вимог ГОСТ 2582-81. Окремими пунктами програми передбачено перевірку частоти обертання при номінальних значеннях напруги, струму навантаження та збудження, а також випробування на підвищену частоту обертання, яка на 20 % перевищує максимально допустиме значення для даного типу ТЕД.

На багатьох ремонтних підприємствах контроль швидкості обертання виконують за допомогою контактних часових тахометрів. Внаслідок чого виникає необхідність перебування персоналу поблизу машин, що випробовуються. Такий спосіб контролю є не досить зручним та безпечним, адже більшість електричних машин випробовуються при частоті обертання більше 1000 об/хв, а контактний елемент часового тахометра підводять, прикладаючи зусилля, в торець вала. Тому виникає необхідність вимірювання частоти обертання дистанційним методом.

Розповсюдженими сьогодні є частотні фотоелектричні перетворювачі, частота вихідного сигналу яких прямо пропорційна частоті обертання. У частотний

© Тарасюк В. М., 2011

фотоелектричний сенсор входить джерело світла, фотоприймач, модулятор, який являє собою диск з прорізами вздовж кола. При обертанні модулятора, світловий потік, що попадає на фотоприймач, змінюється, і на його виході формуються імпульси напруги, частота яких прямо пропорційна частоті обертання. Така система автоматичного контролю володіє високою точністю, але не досить практична для випробувальних стендів, тому що при встановленні електричних машин змінюється положення модулятора відносно світлового потоку і генерація сигналів фотоелектричним перетворювачем стає неможливою.

Більш практичною і не менш ефективною є безконтактна система контролю швидкості обертання електричних машин на базі індуктивних датчиків зі збільшеним діапазоном спрацювання. Блок-схема системи показана на рис. 1. У системі застосовується індуктивний датчик I, що реагує на близькість будь-якого магнітопровідного елемента. Коли він потрапляє в зону дії датчика, на виході генерується електричний сигнал, що передається до електронного лічильника імпульсів II, на дисплеї якого відображається кількість генерованих сигналів. Індуктивний датчик живиться постійним струмом напругою від 5 до 24 В, для цього в системі застосовується блок живлення II. Магнітопровідним елементом може бути болт, шпилька або заклепка.

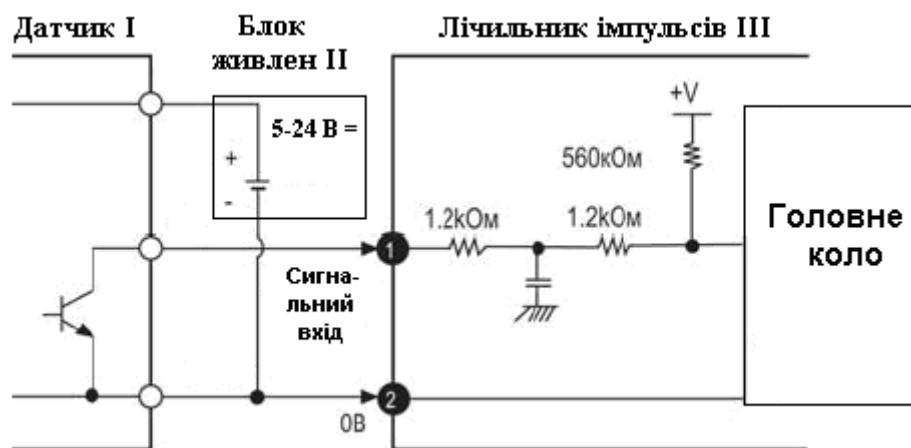
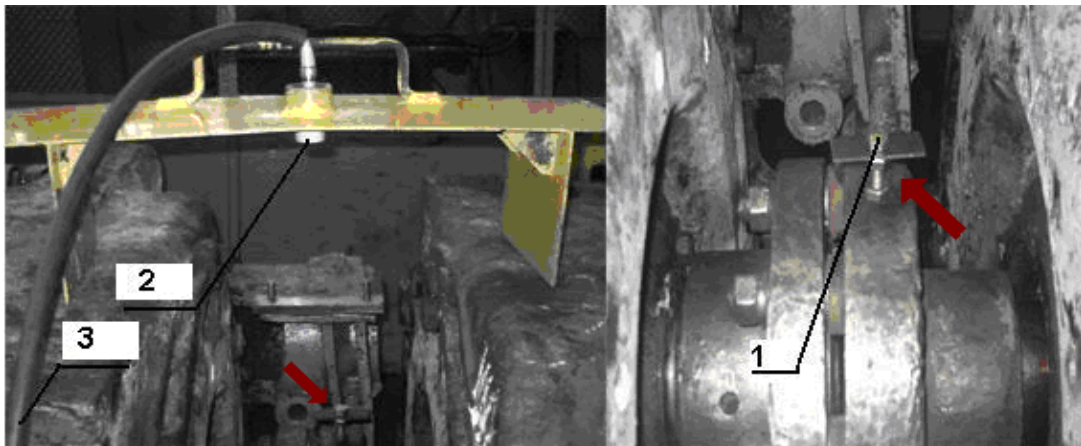


Рис. 1. Блок-схема системи контролю швидкості на базі індуктивного датчика

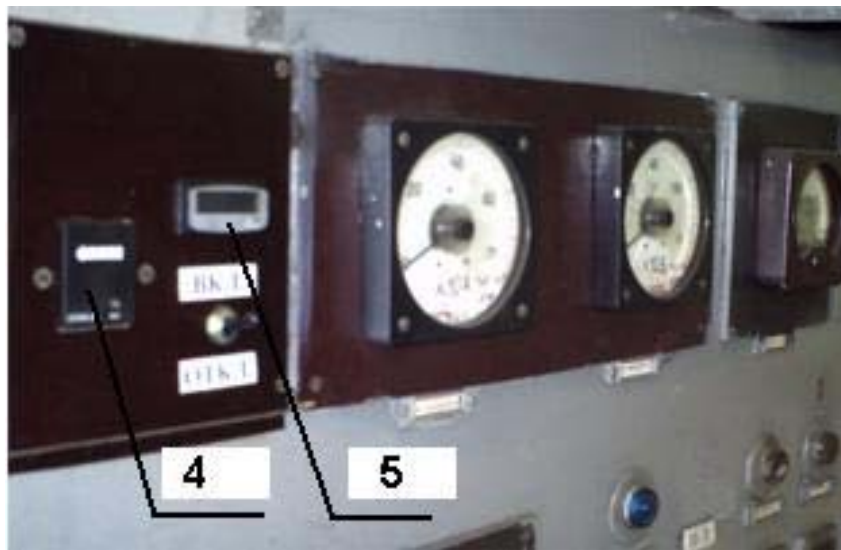
На рис. 2 – 4 показаний приклад встановлення системи на стенді взаємного навантаження випробувань тягових електродвигунів електропоїздів. Магнітопровідний елемент 1 (болт з металевою пелюсткою) вкручений в напівмуфту (рис. 2). Індуктивний датчик 2 вмонтований в гільзу захисного кожуха муфти з'єднання ТЕД в «пару». За допомогою кабелю 3 до датчика підводиться напруга від блока живлення.



1 – магнітопровідний елемент; 2 – індуктивний датчик, вкручений в металеву гільзу; 3 – гнучкий кабель

Рис. 2. Встановлення індуктивного датчика та магнітопровідного елемента

Електронний лічильник імпульсів 5 вмонтований в панель пульта управління стендом (рис. 3), що дозволяє випробувальнику стежити за зміною швидкості обертання ТЕД.



4 – блок живлення; 5 – електронний лічильник імпульсів

Рис.3. Монтаж лічильника на пульту управління стенда взаємного навантаження

Перед початком випробувань муфту закривають кожухом із вмонтованим датчиком (рис. 2). Коли ТЕД починають обертатись, а разом з ними і муфта, магнітопровідний елемент проходить через зону дії датчика і на табло лічильника імпульсів висвічується швидкість обертання електричних машин. Зона дії сучасних індуктивних датчиків складає 20 мм і більше, що дозволяє досить легко

налаштувати роботу системи. Діапазон вимірювання швидкості обертання лічильника імпульсів від 1 до 10000 об/хв з точністю $\pm 0,1$ % від повної шкали.



Рис. 4. Встановлення захисного кожуха із вмонтованим індуктивним датчиком

Монтаж такої системи є досить простим і не потребує складних технічних рішень. Для підключення блоку живлення необхідна напруга 220 В, 50 Гц, а електронний лічильник імпульсів живиться від стандартної змінної літєвої батарейки заряду, якої вистачає від 2 до 3 років. Спосіб встановлення індуктивного датчика вибирається залежно від того, на якому об'єкті необхідно контролювати швидкість обертання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безрученко В.М., Варченко В.К., Чумак В.В Тягові електричні машини рухомого складу//Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2003. – 252 с.
2. Виглеб Г. Датчики: Пер. с. нем – М.: МИР, 1989. – 196 с.

УДК 629.4

Владимир Демченко

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ
КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ЛОКОМОТИВА НА ХАРАКТЕР
АВТОКОЛЕБАНИЙ**

В статье представлено обоснование упрощенного анализа поперечных автоколебаний, возникающих при превышении локомотивом критической скорости движения. Характеристики автоколебаний получены на основе анализа подсистемы, соответствующей одной колесной паре локомотива.

У статті наведено обґрунтування спрощеного аналізу поперечних автоколивань, які виникають при перевищенні локомотивом критичної швидкості руху. Характеристики автоколивань отримані на основі аналізу підсистеми, яка відповідає колісній одній парі локомотива.

The conditions of dangerous-safe loss of stability defined only by geometry of wheel profile. At certain geometry of wheel self-oscillations exist at supercritical speeds more; the stable limit cycle in this case limits growth of perturbations that corresponds to safe loss of stability. At infringement of some relationship of parameters of the wheel profile the unstable limiting cycle limits area of stability of rectilinear motion already at speeds less critical, narrowing an interval of operational speed; at speeds more critical growth of perturbations will be unlimited - a case of dangerous loss of stability.

Ключові слова: докритическая скорость, закритическая скорость, устойчивость движения, износ колесной пары.

Одним из «внутренних механизмов», порождающих автоколебания в различных моделях рельсовых экипажей, является бифуркация Андронова-Хопфа (рождение или исчезновение замкнутой фазовой траектории – предельного цикла), которая сопровождается прохождением с ненулевой скоростью пары комплексно-сопряженных корней характеристического уравнения соответствующей системы линейного приближения через мнимую ось. Однако, даже для достаточно простых расчетных схем рельсового экипажа, условия устойчивости прямолинейного движения становятся чрезвычайно громоздкими и мало пригодны для практического использования.

Модельный подход к анализу устойчивости рельсовых экипажей. Причина потери устойчивости рельсовых экипажей «таится» в пятне контакта колеса с рельсом – точнее, в соотношении сил, возникающих в пятне контакта при качении колеса. Однако, даже для достаточно простых расчетных схем рельсового экипажа общая картина влияния характерных параметров системы на ее динамические

© Демченко В. А., 2011

качества нам не известна, так как условия устойчивости невозмущенного движения в общем виде чрезвычайно громоздки и непригодны для качественного анализа.

В данной работе предлагается модельный подход, который заключается в переносе результатов анализа устойчивости прямолинейного движения колесной пары (при некоторых конструктивных ограничениях) на модель тележки пассажирского вагона.

Смысл рабочей гипотезы заключается в том, что при принятых предположениях (надлежащий выбор характеристик упругого подвеса колесных пар обеспечивает совпадение парциальных частот в подсистемах, отвечающих фазовым координатам y_i , ψ_i – боковому отнесу и углу рысканья) суммарные жесткости, передаваемые колесной паре со стороны тележки в продольном и поперечном направлениях, совпадают между собой, но наперед не известны. Предположим, что критическая скорость прямолинейного движения тележки известна, например получена на основе численных методов [4] для некоторого набора параметров системы. Тогда из формулы, определяющей критическую скорость продольного движения одиночной колесной пары, может быть определен «гипотетический» параметр («интегральная» жесткость, создаваемая всей конструкцией тележки)

Замечание. Зависимость между критической

$$\tau = K^* \frac{2k_y}{m_1} = K^* \frac{2k_x b^2}{J_1}$$

скоростью локомотива и эффективной коничностью поверхности катания колеса может приближенно задаваться соотношением

$$(Vkr_1 / Vkr_2)'' = krl_2 / krl_1 \quad (1)$$

Сошлемся на результат экспериментальных исследований, приведенный в монографии [2]. Из экспериментально полученной зависимости критической скорости движения четырехосного локомотива как функции эффективной коничности поверхности катания колеса следует, что эффективной коничности $kr_1=0,1$ соответствует критическая скорость $Vkr_1=138$ км/ч, тогда коничности $kr_2=0,05$ из соотношения (1) должна соответствовать критическая скорость $Vkr_2=195,2$ км/ч (на экспериментальной кривой 195 км/ч) (рис. 1).

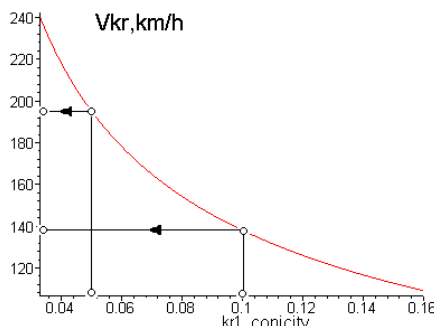


Рис. 1. Зависимость скорости от коничности

Предлагаемый модельный подход реализовывался для случая плоской модели тележки пассажирского локомотива (рис. 2).

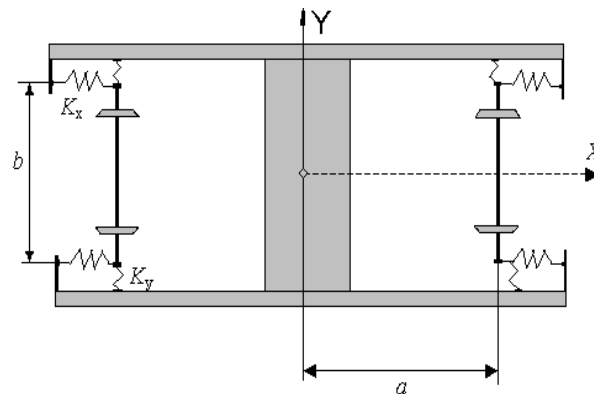


Рис. 2. Модель тележки локомотива

Определение критической скорости модели тележки на основе численного анализа максимальной действительной части собственных значений системы линейного приближения. Матрица коэффициентов линеаризованной системы возмущенного движения тележки получена при некоторых конструктивных ограничениях выбор параметров первичного подвешивания, обеспечивает совпадение парциальных частот в подсистемах, отвечающих колесной паре

$$\left\{ K_x = \frac{\pi J_1 - 2f_{12} + 2dP_1kr_1}{2b^2}, K_y = \frac{\pi m_1}{2} - 2P_1kr_2 \right\}$$

Для набора численных значений параметров тележки

$\{\tau=3820 \text{ с}^2, d=0.756 \text{ м}, a=1.042 \text{ м}, b=0.586 \text{ м}, I=0, m_1=1.19E3 \text{ кг}, J_1=0.408E3 \text{ кгм}^2, M=3072 \text{ кг}, J=1622 \text{ кгм}^2, r_0=0.356 \text{ м}, kr_1=.14, f_{33}=8.6605E6 \text{ Н}, f_{12}=1.5334E4 \text{ Нм}, f_{11}=7.5848E6 \text{ Н}, f_{22}=61.56 \text{ Нм}^2, P_1=(32.82/8+3.072/4+1.19/2)E4 \text{ Н}\}$ имеем матрицу линейного приближения AA, коэффициенты которой являются функциями скорости продольного движения V.

График зависимости максимальной действительной части собственных значений матрицы AA при $V=V_{кр}$ имеет одну пару чисто мнимых собственных значений, действительные части остальных собственных значений отрицательны (рис. 3).

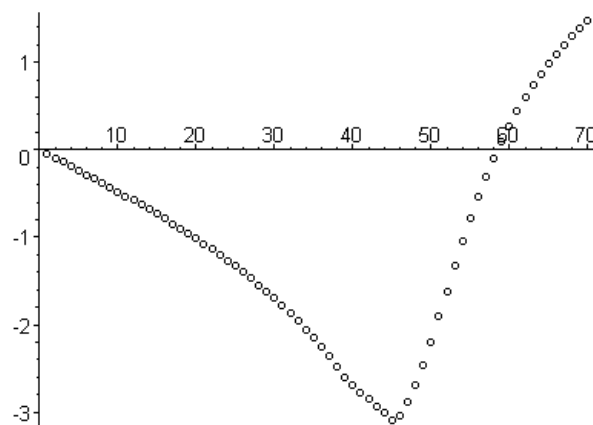


Рис. 3. График зависимости

На основе критерия Рауса-Гурвица может быть получена неявная функция, определяющая границу области устойчивости в плоскости двух произвольных параметров тележки.

Оптимизация параметров первичного упругого подвеса тележки с целью увеличения критической скорости прямолинейного движения тележки (параметр оптимизации приведенная жесткость τ).

На рис. 4 представлены фрагменты границы области устойчивости невозмущенного движения в плоскости двух параметров:

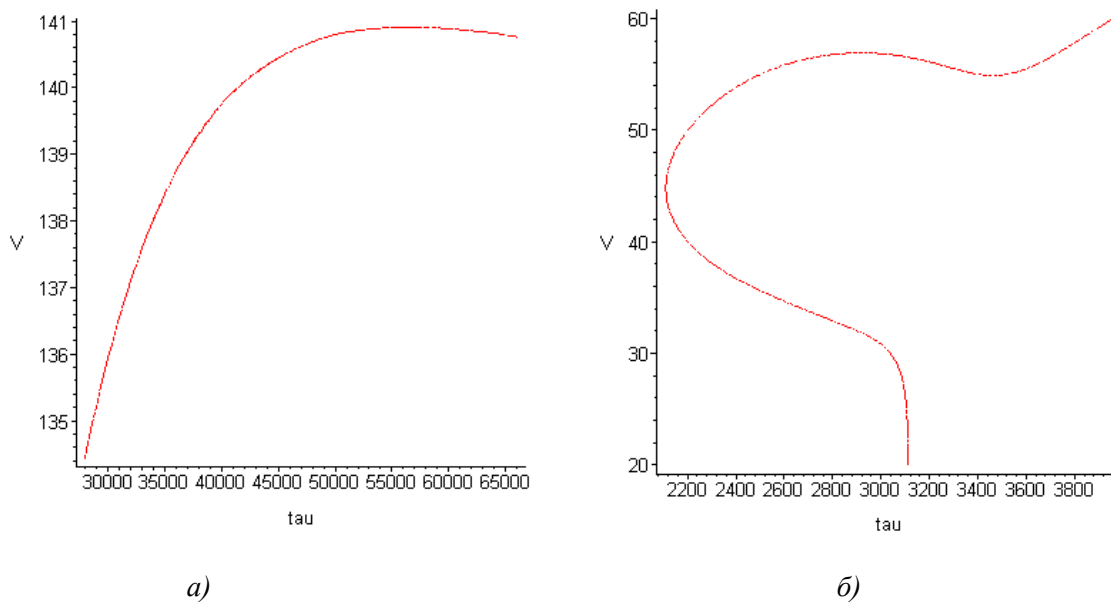


Рис. 4

приведенной жесткости τ ; критической скорости движения V_{kp} представлены на рис. 4 а, б. Значению $\tau=3820 \text{ с}^{-2}$ соответствует критическая скорость $V_{kp} \approx 59 \text{ м/с}$

(рис. 4, а); максимальная критическая скорость тележки (140,5 м/с) достигается при значении приведенной жесткости $\tau \approx 55000 \text{ с}^{-2}$ (рис. 4, б).

Далее рассмотрим задачу о влиянии геометрии профиля колесной пары на поперечные автоколебания при движении по прямолинейному участку пути.

Если условия потери устойчивости прямолинейного движения локомотива могут быть определены на основе анализа подсистемы, «физически» порождающей неустойчивость всей модели, то естественно предположить, что и характеристики автоколебаний в этом случае могут быть получены на основе анализа подсистемы, соответствующей одной колесной паре. Зная профиль колеса в окрестности невозмущенного положения точки контакта с рельсом и обобщенную характеристику упругого подвеса, на основе модельного подхода можно предсказать особенности динамического поведения тележки – определить характер потери устойчивости прямолинейного движения (опасный-безопасный) и оценить амплитуды возникающих авто $\tau, \text{с}^{-2}$ колебаний бокового отбоя.

При использовании модели крива по Картеру или по Калкеру соответствующая последовательность шагов не изменяется:

- 1) численное определение критической скорости модели тележки;
- 2) определение приведенной (обобщенной) жесткости, передаваемой колесной паре со стороны тележки в продольном и поперечном направлениях, из соотношения

$$V_{kr} = \sqrt{\frac{\tau d r_0}{k_{r1}}}; \quad (2)$$

- 3) определение условий опасной-безопасной потери устойчивости и амплитуды автоколебаний на основе приближенного метода [1].

Заметим, что при описании крива по Колкеру приближенный метод определения амплитуд автоколебаний приводит к абсолютно «непрозрачному» с точки зрения качественного анализа соотношению. В случае описания крива по Картеру приходим к «информативному» выражению, определяющему квадрат амплитуды автоколебаний бокового отбоя колесной пары в зависимости от конструктивных параметров тележки

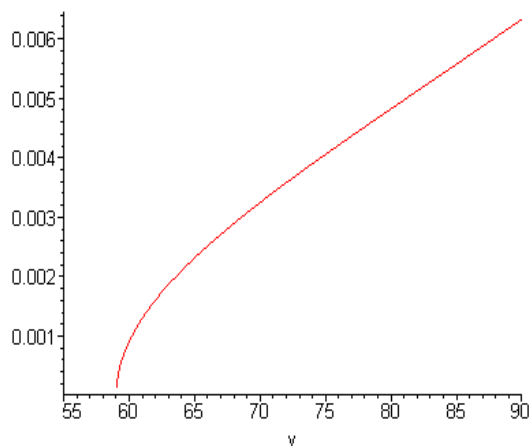
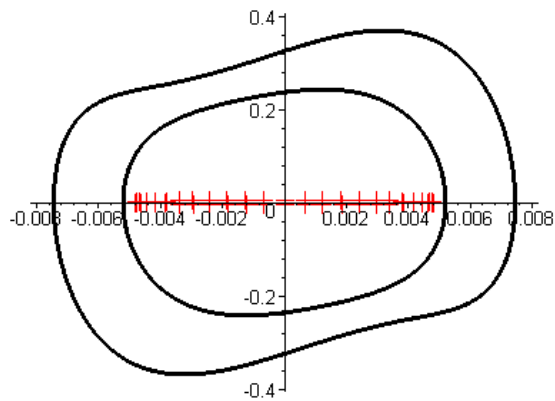
$$A = \frac{kr1 \left(v^2 - \frac{\tau d r_0}{kr1} \right)}{kr3 \left(8 \frac{d^3 P1kr4r0}{kr3(J1 + d^2 m1)} - v^2 \right)}. \quad (3)$$

Причем, условие безопасной потери устойчивости обеспечивается неравенством

$$\frac{\tau}{kr1} > \frac{8d^2 P1kr4}{kr3(J1 + d^2 m1)}. \quad (4)$$

Ниже представлены результаты численно-аналитического анализа автоколебаний бокового отбоя колесной пары модели тележки пассажирского вагона в случае описания линейной теории крива по Картеру; критическая скорость прямолинейного движения составляла $V_{kp} = 59 \text{ м/с}$. На рис. 5, а представлен

случай безопасной потери устойчивости (устойчивые автоколебания возникают при закритической скорости). При модельном подходе амплитуда колебаний составляет $A=0,0048$ м (скорости $V=80$ м/с); на рис. 5, б – результаты, численного моделирования подсистемы, отвечающей колесной паре ($A=0.052$ м), и полной модели тележки ($A=0.078$ м)



а)

б)

Рис. 5. Безопасная потеря устойчивости

Случай опасной потери устойчивости: на рис. 6, а представлен фрагмент диаграммы неустойчивых автоколебаний (ограничивают область притяжения прямолинейного движения при докритических скоростях);

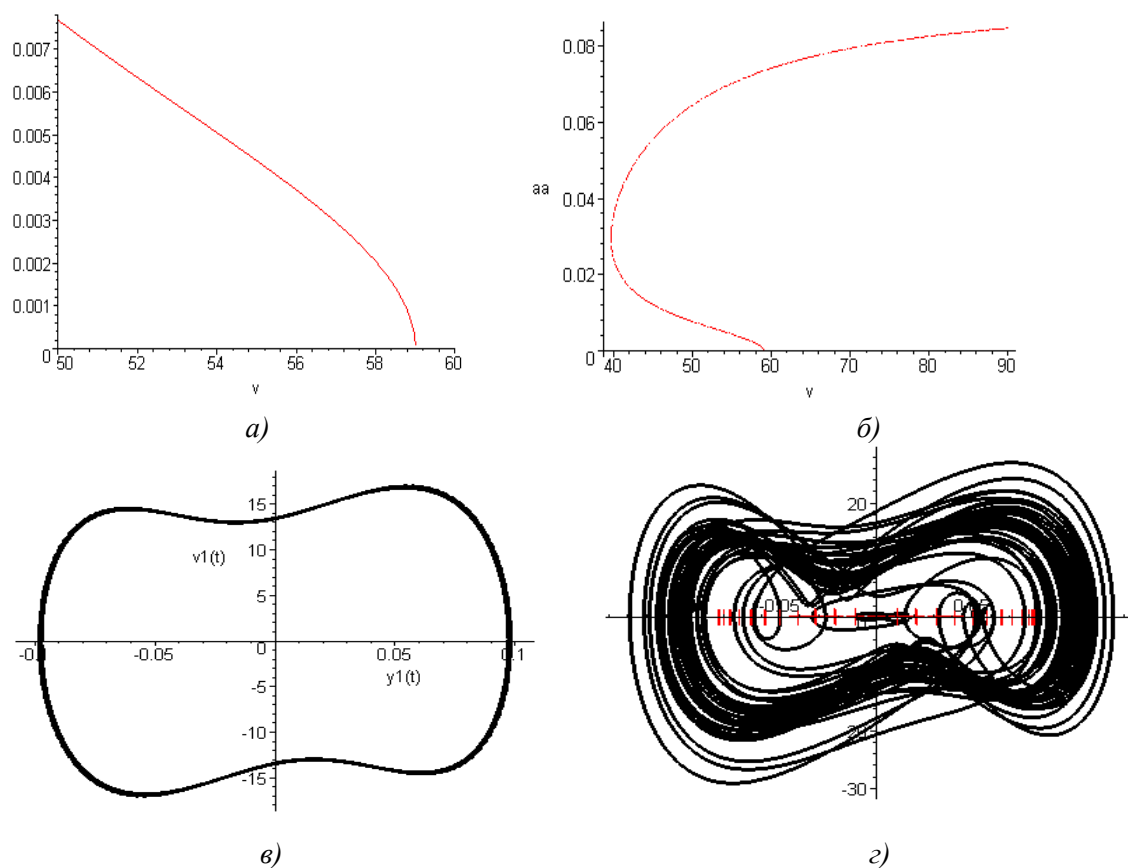


Рис. 6. Амплитуды опасной потери устойчивости

на рис. 6, б полная диаграмма автоколебаний, амплитуда при скорости $V=80$ м/с составляет $A=0.082$ м; на рис. 6, в-г – сравнение результатов, полученных при модельном подходе, с результатами численного моделирования подсистемы, отвечающей колесной паре ($A=0.098$ м), и полной модели тележки (в модели тележки возникают многочастотные режимы).

При изменении параметра скорости в более широком диапазоне (при достаточно большой закритической скорости) наблюдаются существенные различия динамического поведения подсистемы (ей отвечает колесная пара) и всей системы (модели тележки). Для модели тележки реализуются бифуркации удвоения периода, которые приводят к хаотизации детерминированной системы [3], что не наблюдается в модели одиночной колесной пары.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вербицкий В.Г., Садков М.Я. Приближенный анализ автоколебательной системы // Доповіді НАН України – 2001. – № 10. – С. 48-52
2. Гарг В.К., Дуккинати Р.В. Динамика подвижного состава: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1988. – 392 с
3. Isaksen P., True H. On the ultimate transition to chaos in the dynamics of Cooperider's bogie // Chaos, Solitons & Fractals, vol.8, No. 4, 1997, pp. 559-581.
4. He, Y. and McPhee, J.: Optimization of the Lateral Stability of Rail Vehicles. Vehicle System Dynamics 38 (2002), pp. 361-390.

УДК 531.53:517.938

*Вікторія Ковальчук
Алла Ільницька*

ЕВОЛЮЦІЯ ФАЗОВИХ ТРАЄКТОРІЙ ПРИ ВАРІЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ ТРИЛАНКОВОГО МАЯТНИКА

Шляхом побудови фазових портретів показана зміна характеру стійкості вертикального стану рівноваги при варіюванні параметрів триланкового маятника.

Путём построения фазовых портретов показано изменение характера устойчивости вертикального положения равновесия при варьировании параметров трехзвенного маятника.

The change of the nature of stability vertical position equilibrium is shown by the construction of phase portraits on variation of the three-link pendulum's parameters.

Ключові слова: фазові траєкторії, положення рівноваги, особливі точки, стійкість.

Стиснутий пружний стержень, навантажений на одному з кінців слідкуючою силою, є одним із основних конструктивних елементів залізничних мостів і споруд. Вдалою математичною моделлю такого стержня є перевернутий математичний маятник із пружно закріпленим верхнім кінцем. Для n -ланкового маятника зі слідкуючою силою диференціальні рівняння збуреного руху в околі вертикального положення рівноваги наведені в [1]. У [2] наведене розбиття площини суттєвих параметрів триланкового маятника на області з різним характером стійкості вертикального стану рівноваги. Особливості динамічної поведінки маятника зі слідкуючою силою проаналізовані в [3]. Механізм втрати стійкості вертикального положення рівноваги маятника в даній статті показаний шляхом побудови фазових траєкторій при зміні суттєвих параметрів маятника.

1. Постановка задачі. Перевернутий триланковий математичний маятник складається з трьох матеріальних точок A_1, A_2, A_3 , маси яких дорівнюють m_1, m_2 і m_3 відповідно. Ланки маятника – невагомні абсолютно тверді стержні, довжини яких l_1, l_2 та l_3 . Верхній кінець A_3 маятника пружно закріплений за допомогою горизонтальної циліндричної пружини [2]. Коефіцієнт жорсткості цієї пружини дорівнює c . Маятник має також ще три пружних елементи – спіральні пружини в нижній точці опори O та в шарнірах A_1 і A_2 . Жорсткості цих пружин відповідно дорівнюють c_1, c_2 і c_3 .

© Ковальчук В. В., Ільницька А. В., 2011

Під дією слідкуючої сили $\vec{P}$, прикладеної у верхній точці A_3 , маятник здійснює плоскопаралельний рух. За узагальнені координати, що визначають положення маятника, вибираємо кути φ_1 , φ_2 і φ_3 відхилення ланок від вертикалі. Тоді для матеріальних точок $A_1(x_1, y_1)$, $A_2(x_2, y_2)$ та $A_3(x_3, y_3)$ маємо геометричні співвідношення

$$\begin{aligned} x_1 &= l_1 \cos \varphi_1, & y_1 &= l_1 \sin \varphi_1, \\ x_2 &= l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2, & y_2 &= l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2, \\ x_3 &= l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3, & y_3 &= l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3. \end{aligned}$$

Рух маятника описуємо за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду. Відповідно в околі вертикального положення рівноваги $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = 0$, $\varphi_3 = 0$ рівняння збуреного руху маятника можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} a_{11} \ddot{\varphi}_1 + a_{12} \ddot{\varphi}_2 + a_{13} \ddot{\varphi}_3 &= G_1, \\ a_{21} \ddot{\varphi}_1 + a_{22} \ddot{\varphi}_2 + a_{23} \ddot{\varphi}_3 &= G_2, \end{aligned} \tag{1}$$

$$a_{31} \ddot{\varphi}_1 + a_{32} \ddot{\varphi}_2 + a_{33} \ddot{\varphi}_3 = G_3.$$

Тут коефіцієнти лівої частини рівнянь виражені через параметри маятника:

$$\begin{aligned} a_{11} &= (m_1 + m_2 + m_3) l_1^2, & a_{22} &= (m_2 + m_3) l_2^2, & a_{33} &= m_3 l_3^2, \\ a_{12} &= a_{21} = (m_2 + m_3) l_1 l_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2), \\ a_{13} &= a_{31} = m_3 l_1 l_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_3), \\ a_{23} &= a_{32} = m_3 l_2 l_3 \cos(\varphi_2 - \varphi_3). \end{aligned}$$

Праві частини рівнянь (1) виражають функції, наведені в [4].

2. Фазові траєкторії триланкового маятника. Розв'яжемо систему рівнянь (1) відносно старших похідних і введемо фазові змінні (змінні стану) $x_1 = \varphi_1$, $x_2 = \dot{\varphi}_1$, $x_3 = \varphi_2$, $x_4 = \dot{\varphi}_2$, $x_5 = \varphi_3$, $x_6 = \dot{\varphi}_3$. Тоді рівняння (1) можна привести до нормальної форми Коші:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= F_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6), \\ \dot{x}_3 &= x_4, \\ \dot{x}_4 &= F_4(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6), \\ \dot{x}_5 &= x_6, \\ \dot{x}_6 &= F_6(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6). \end{aligned} \tag{2}$$

Стационарними станами динамічної системи (2) є стани, що задовольняють умові $x_i = \text{const}$ ($i = 1, \dots, 6$). Нульовий розв'язок $x_i = 0$ ($i = 1, \dots, 6$) системи (2), тобто нульовий розв'язок $\varphi_i = 0$, $\dot{\varphi}_i = 0$ ($i = 1, 2, 3$) системи (1) відповідає вертикальному положенню рівноваги маятника. Назвемо його незбуреним розв'язком динамічної системи (1). Характер його стійкості визначається власними значеннями матриці лінеаризації системи (1). В [2] і [3] показані розбиття площини суттєвих параметрів маятника на області з різним характером стійкості вертикального положення рівноваги. При цьому за суттєві параметри прийняті $\bar{P}$ – безрозмірний модуль слідкуючої сили та $\bar{c}$ – безрозмірний коефіцієнт жорсткості горизонтальної пружини на верхньому кінці маятника.

Наочне уявлення про стійкість вертикального положення маятника можна подати за допомогою методу фазових площин. Для динамічної системи (1) розглянемо одну з фазових площин, на якій миттєвий стан системи характеризує зображується точка з координатами $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$. Траєкторія руху цієї точки – *фазова траєкторія* характеризує процес руху системи. А особливі точки на фазовій площині відповідають стійкому або нестійкому положенню рівноваги маятника. Для побудови фазових траєкторій інтегруємо систему диференціальних рівнянь (2).

Розглянемо маятник із параметрами, прийнятими в попередніх дослідженнях:

$$\begin{aligned} m_1 &= 10 \text{ кг}, & l_1 &= 0,5 \text{ м}, & c_1 &= 400 \text{ Н·м}, & \mu_1 &= 10 \text{ Н·м·с}, \\ m_2 &= 5 \text{ кг}, & l_2 &= 0,5 \text{ м}, & c_2 &= 400 \text{ Н·м}, & \mu_2 &= 10 \text{ Н·м·с}, \\ m_3 &= 5 \text{ кг}, & l_3 &= 0,5 \text{ м}, & c_3 &= 400 \text{ Н·м}, & \mu_3 &= 10 \text{ Н·м·с}. \end{aligned}$$

Тут μ_1 – коефіцієнт в'язкості в нижньому шарнірі маятника, що враховує дію зовнішнього тертя; μ_2 і μ_3 – коефіцієнти в'язкості в шарнірах A_1 і A_2 , які відображують вплив внутрішнього тертя в системі.

Якщо $\delta = 0$ (де величина δ є кутовим ексцентриситетом слідкуючої сили), то вертикальне положення рівноваги є стійким. У цьому переконують фазові траєкторії, побудовані на рис. 1, а при початкових збуреннях $\varphi_1 = \pm 0,2$ рад. У даному випадку точка $(\varphi_1 = 0, \dot{\varphi}_1 = 0)$ на фазовій площині є стійким фокусом.

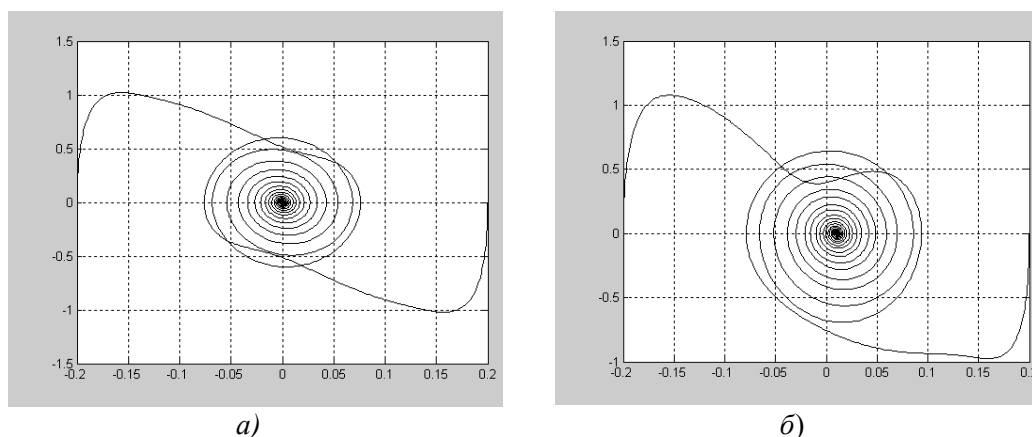


Рис. 1. Фазові траєкторії при $k = 1$, $c = 400 \text{ Н·м}$, $P = 800 \text{ Н}$

Фазовий портрет, побудований при тих самих початкових збуреннях, але при $\delta = 0,1$, вказує на те, що стійким станом рівноваги маятника стає неvertикальне положення, при якому $\varphi_1^* \approx 0,01$ (рис. 1, б). Параметр k орієнтації слідкуючої сили також впливає на конфігурацію фазових траєкторій. Так, фазовий портрет, побудований при $k = 0,5$ і $\delta = 0,1$ (рис. 2, а), вказує на те, що стійким є неvertикальне положення рівноваги маятника $\varphi_1^* \approx -0,71$.

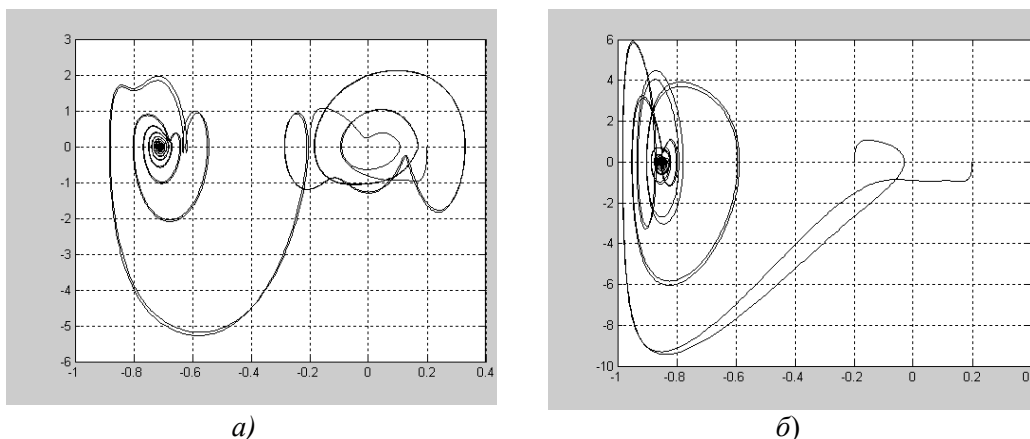


Рис. 2. Фазові траєкторії при $\delta = 0,1$, $c = 400 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $P = 800 \text{ Н}$

При $k = 0,1$ стійким є неvertикальне положення рівноваги маятника, для якого $\varphi_1^* \approx -0,85$. Порівнюючи фазові портрети на рис. 2, бачимо, що при $k = 0,5$ і початкових збуреннях ($\varphi_1 = \pm 0,2$, $\dot{\varphi}_1 = 0$) зображувальна точка системи на початковому етапі руху описує перехідні траєкторії більш складної конфігурації, але з наближенням до особливої точки фазові траєкторії набувають класичного вигляду, характерного для стійкого фокуса. При зменшенні параметра орієнтації слідкуючої сили до значення $k = 0,1$ зображувальна точка одразу після початкових збурень рухається в напрямку до особливої точки, але двовимірною проекцією фазових траєкторій на площину $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$ в околі особливої точки ускладнюється.

Усі фазові портрети на рис. 1 і 2 побудовані для жорсткого типу характеристик усіх пружних елементів триланкового маятника. Якщо розглянути маятник із лінійними характеристиками пружних елементів, то конфігурація фазових траєкторій суттєво не змінюється, але змінюється координата φ_1^* особливої точки (табл. 1). Отже, при лінійних характеристиках для стійкого неvertикального положення рівноваги кут відхилення φ_1^* нижньої ланки маятника від вертикалі є більшим, ніж при тих самих початкових збуреннях маятника із жорсткими характеристиками пружних елементів.

Таблиця 1

Параметри маятника	Жорсткі характеристики	Лінійні характеристики
$\delta = 0,1,$ $k = 0,1$	$\varphi_1^* \approx -0,85$	$\varphi_1^* \approx -2,13$
$\delta = 0,1$ $k = 0,5$	$\varphi_1^* \approx -0,71$	$\varphi_1^* \approx -1,64$
$\delta = 0,1$ $k = 1,0$	$\varphi_1^* \approx 0,01$	$\varphi_1^* \approx 0,01$
$\delta = 0,1$ $k = 1,3$	$\varphi_1^* \approx 0,007$	$\varphi_1^* \approx 0,007$
$\delta = 0,5,$ $k = 0,1$	$\varphi_1^* \approx -0,84$	$\varphi_1^* \approx -1,98$
$\delta = 0,5,$ $k = 0,5$	$\varphi_1^* \approx -0,80$	$\varphi_1^* \approx -2,12$
$\delta = 0,5$ $k = 1,3$	$\varphi_1^* \approx 0,038$	$\varphi_1^* \approx 0,043$

3. Еволюція фазових траєкторій. Для визначення механізму втрати стійкості вертикального положення рівноваги маятника доцільно проаналізувати еволюцію фазових траєкторій при фіксованому значенні одного із суттєвих параметрів маятника та поступовому збільшенні (або зменшенні) значення іншого суттєвого параметра. Розглянемо маятник із симетричною слідкуючою силою ($\delta = 0, k = 1$). Зафіксуємо значення коефіцієнта жорсткості горизонтальної пружини, за допомогою якої закріплений верхній кінець A_3 маятника, і будемо поступово збільшувати величину P слідкуючої сили. Нехай $c = 800$ Н·м. Оскільки в попередніх дослідженнях ([2] і [3]) площиною суттєвих параметрів маятника прийнята площина $(\bar{c}, \bar{P})$, то враховуємо формули переходу від розмірних величин c і P до безрозмірних величин:

$$\bar{c} = \frac{cl_1^2}{c_1}, \quad \bar{P} = \frac{Pl_1}{c_1}.$$

Тоді при указаних вище параметрах нижньої ланки маятника (яку вважаємо базисною при переході до безрозмірних величин), маємо:

$$\bar{c} = \frac{c}{1600} \quad \text{і} \quad \bar{P} = \frac{P}{800}.$$

Тому при $c = 800$ Н·м відповідно маємо $\bar{c} = 0,5$. При цьому значенні на площині суттєвих параметрів маятника (рис. 3) поступове збільшення значення P відповідає переходу із області асимптотичної стійкості вертикального стану рівноваги (тобто із області $D(6, 0)$) в область $D(5, 1)$, а потім – в область $D(4, 2)$. Фазові траєкторії, побудовані для значень $P = 800$ Н, $P = 1600$ Н і $P = 2400$ Н (що відповідають значенням $\bar{P} = 1$, $\bar{P} = 2$ і $\bar{P} = 3$ на рис. 3), показують, що в області $D(6, 0)$ вертикальне положення рівноваги маятника є асимптотично стійким. Перехід в

область $D(5, 1)$ означає, що один із коренів характеристичного рівняння лінеаризованих рівнянь динамічної системи (2) стає від'ємним. Відповідно, вертикальний стан рівноваги маятника втрачає стійкість. На фазовій площині $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$ початок координат стає особливою точкою типу сідло, в околі якої з'являються дві інші особливі точки – стійкі фокуси. Отже, при збільшенні величини слідкуючої сили від 800 Н до 1600 Н вертикальний стан рівноваги маятника втрачає стійкість внаслідок дивергентної біфуркації. Подальше збільшення величини P (а отже, й величини $\bar{P}$) супроводжується переходом в область $D(4, 2)$, в якій два корені характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини. Відповідно вертикальний стан рівноваги маятника є нестійким, а на фазовій площині маємо стійкий граничний цикл, на який «намотуються» фазові траєкторії (рис. 3).

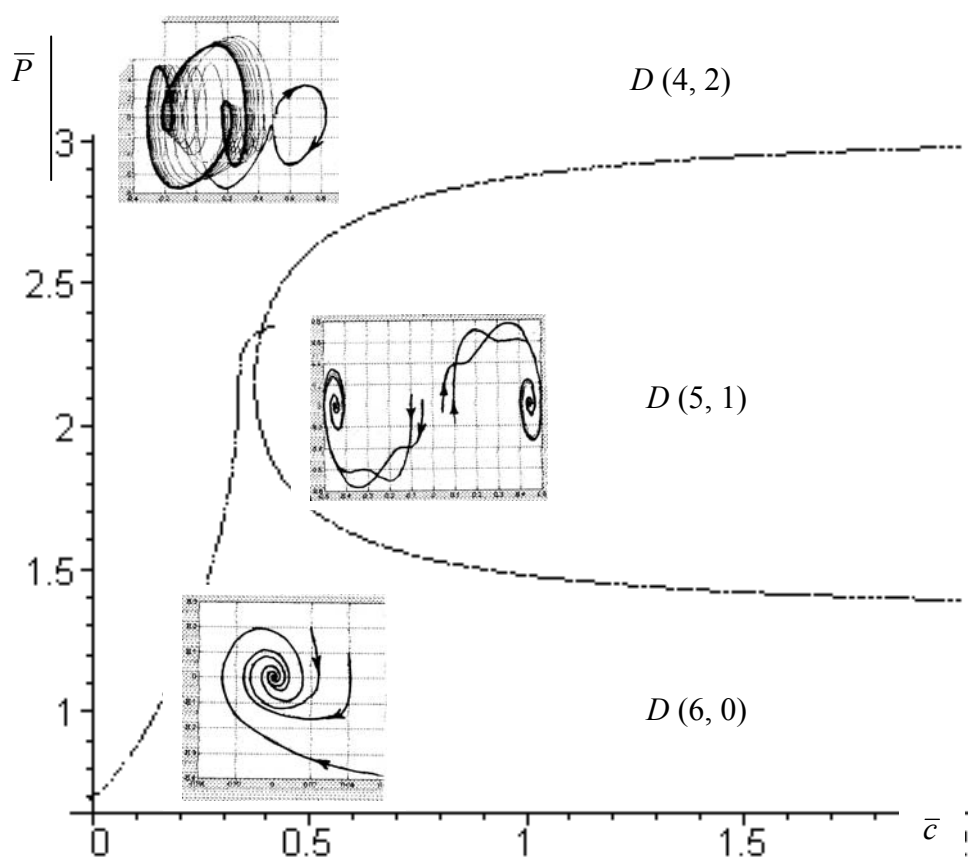


Рис. 3. Еволюція фазових траєкторій при $k = 1$

4. Висновки. При варіюванні параметрів триланкового маятника зі слідкуючою силою змінюється характер стійкості вертикального положення рівноваги. Фазові траєкторії динамічної системи (2), побудовані в проекції на фазову площину $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$, дозволяють дослідити стійкість вказаного стаціонарного стану. Отримані

результати комп'ютерного моделювання можна покласти в основу розрахунку раціональних параметрів маятника для забезпечення міцності та стійкості відповідних конструктивних елементів будівельних споруд.

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. Лобас Л. Г., Ковальчук В. В. Области устойчивости вертикального состояния равновесия трехзвенного математического маятника // Прикл. механика. – 2008. – 44, № 4. – С. 122–134.
3. Ковальчук В. В. Особливості динамічної поведінки триланкового маятника зі слідкуючою силою // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології», Київ. – 2010. Вип. 16. – С. 118 – 123 .
4. 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.

УДК 539.3

Микола Крюков

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПРО ДЕФОРМАЦІЮ
ТОНКИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
ПЕРІОДИЧНИХ В-СПЛАЙНІВ**

Запропоновано підхід до розв'язання задачі про деформацію тонких анізотропних оболонок обертання в лінійній постановці. Він базується на зведенні двовимірної крайової задачі до одновимірної за допомогою методу сплайн-колокацій та розв'язання останньої стійким чисельним методом дискретної ортогоналізації. Розв'язувальна система рівнянь і крайові умови формулюються в переміщеннях, зусиллях і моментах.

Предложен подход к решению задачи о деформации тонких анизотропных оболочек вращения в линейной постановке. Он базируется на сведении двумерной краевой задачи к одномерной с помощью метода сплайн-коллокаций и решении последней устойчивым численным методом дискретной ортогонализации. Разрешающая система уравнений и краевые условия формулируются в перемещениях, усилиях и моментах.

The approach to solution of problems of deformation of thin anisotropic shells of revolution in linear formulation are esuggested. It is based on reduction of the two-dimensional value boundary problem to one-dimensional by means of the method spline-collocation and solving of the latter by stable numerical method of discrete orthogonalization. The resolving system of the equations and boundary conditions are formulated in displacements, efforts and moments.

Ключові слова: періодичні В-сплайни, метод сплайн-колокацій, деформація, тонкі оболонки обертання, метод дискретної ортогоналізації.

Тонкі оболонки обертання змінної жорсткості, виготовлені з шаруватих анізотропних матеріалів, широко використовуються як елементи різноманітних конструкцій залізничного транспорту.

Дослідження напружено-деформованого стану тонких оболонок обертання пов'язане із значними математичними і обчислювальними труднощами. Досліджувані класи задач описуються системами диференціальних рівнянь з частинними похідними. Розв'язок цих систем рівнянь через змінність їхніх коефіцієнтів в аналітичному виді одержати можна лише у деяких випадках. І навіть тоді доведення його до чисельних результатів для конкретних оболонок може виявитися непростою задачею. Тому для розв'язання крайових задач, що описують деформацію оболонок, будемо застосовувати чисельні методи. При

© Крюков М. М., 2011

цьому необхідно враховувати питання про стійкість обчислень, що має істотне значення при інтегруванні крайових задач для тонких оболонок, у яких мають місце крайові й локальні ефекти [12]. Внаслідок цього чисельне розв'язання на основі звичайних методів відомості лінійних крайових задач до задач із початковими умовами (задачам Коші) може виявитися нестійким і привести до істотних погрешностей в одержуваних результатах. У зв'язку із зазначеним питанням вибору стійкого методу рішення крайових задач при побудові алгоритму займає одне із центральних місць. При практичній реалізації алгоритмів у пакетах прикладних програм необхідно, крім питань стійкості обчислень, враховувати також проблеми, пов'язані із часом розв'язання задачі й обмеженнями, обумовленими ресурсами ПК. З огляду на вищенаведені міркування й беручи до уваги накопичений практичний досвід рішення конкретних задач, тут будемо використовувати запропонований С. К. Годуновим метод дискретної ортогоналізації [1], що дає можливість одержати стійкий обчислювальний процес за рахунок ортогоналізації векторів – розв'язків задач Коші в скінченному числі точок інтервалу зміни аргументу. Ефективність використання такого підходу підтверджується дослідженнями, результати яких викладені в працях [6, 7, 9-11].

Останнім часом при розв'язуванні крайових задач теорії оболонок і пластин знаходять застосування сплайн-функції, використання яких показало їх високу ефективність. При цьому крайові задачі формулюються виключно в переміщеннях [6].

У статті пропонується підхід до розв'язання задачі про напружено-деформований стан тонких шаруватих анізотропних замкнених оболонок обертання, який базується на використанні методу сплайн-колокацій, коли розв'язувальна система рівнянь і крайові умови формулюються в переміщеннях, зусиллях і моментах, тобто у мішаній формі.

Будемо розглядати досить важливий у прикладному відношенні клас шаруватих оболонок обертання, поверхні контакту шарів яких є співвісними поверхнями обертання. Криву, обертанням якої навколо осі Ox утворюється вихідна поверхня, задаємо в площині xz параметричними рівняннями

$$x = g_1(s), \quad z = g_2(s),$$

де s – довжина дуги твірної або меридіана, що відраховується від певної точки. Лінії $s = \text{const}$ і $\theta = \text{const}$ є лініями головних кривин на координатній поверхні. Тут θ – центральний кут у паралельному колі, що відраховується від площини $y = 0$.

Параметри Ламе рівні $A = 1$, $B = r$, де $r = r(s)$ – відстань розглянутої точки від меридіана до осі обертання. Головні радіуси кривизни рівні відповідно: радіусу кривизни меридіана R_s і довжині відрізка нормалі до координатної поверхні до осі

обертання R_θ , кривизни відповідно рівні $k_1 = \frac{1}{R_s}$, $k_2 = \frac{\sin \varphi}{r}$. Тут φ – кут між

віссю обертання й нормаллю до вихідної поверхні. Із трьох рівнянь Кодаци-Гаусса два виконуються тотожно, а третє записується у вигляді $\frac{dr}{ds} = \cos \varphi$.

Запишемо основні співвідношення для визначення напружено-деформованого стану оболонок обертання, зібраних з шарів з матеріалу, який має одну площину пружної симетрії [2-5]:

Рівняння рівноваги

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial s}(rN_s) - \cos \varphi N_\theta + \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + rk_1 Q_s + rq_s &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial s}(rN_{s\theta}) - \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \cos \varphi N_\theta + \sin \varphi Q_\theta + rq_\theta &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial s}(rQ_s) + \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} - rk_1 N_s - \sin \varphi N_\theta + rq_\gamma &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial s}(rM_s) + \frac{\partial M_{s\theta}}{\partial \theta} - \cos \varphi M_\theta - rQ_s &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial s}(rM_{s\theta}) + \frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} - \cos \varphi M_{s\theta} - rQ_\theta &= 0.\end{aligned}\quad (1)$$

Вирази для деформацій через переміщення

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{\partial u}{\partial s} + k_1 w, \quad \varepsilon_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\cos \varphi}{r} u + \frac{\sin \varphi}{r} w, \quad \varepsilon_{s\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{\cos \varphi}{r} v, \\ \kappa_s &= \frac{\partial g_s}{\partial s}, \quad \kappa_\theta = \frac{1}{r^2} \left(\sin \varphi \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) + \frac{\cos \varphi}{r} g_s, \\ \kappa_{s\theta} &= \frac{\sin \varphi}{r} \left(\frac{\partial v}{\partial s} - \frac{\cos \varphi}{r} v \right) + \frac{\cos \varphi}{r^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial g_s}{\partial \theta}.\end{aligned}\quad (2)$$

Співвідношення пружності

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= d_{11}N_s + d_{12}\hat{S} + d_{13}M_s + d_{14}\varepsilon_\theta + d_{15}\kappa_\theta + d_{16}\hat{\kappa}_{s\theta}, \\ \varepsilon_{s\theta} &= d_{12}N_s + d_{22}\hat{S} + d_{33}M_s + d_{24}\varepsilon_\theta + d_{25}\kappa_\theta + d_{26}\hat{\kappa}_{s\theta}, \\ \kappa_s &= d_{13}N_s + d_{23}\hat{S} + d_{33}M_s + d_{34}\varepsilon_\theta + d_{35}\kappa_\theta + d_{36}\hat{\kappa}_{s\theta}, \\ N_\theta &= d_{14}N_s + d_{24}\hat{S} + d_{34}M_s + d_{44}\varepsilon_\theta + d_{45}\kappa_\theta + d_{46}\hat{\kappa}_{s\theta}, \\ M_\theta &= d_{15}N_s + d_{25}\hat{S} + d_{35}M_s + d_{45}\varepsilon_\theta + d_{55}\kappa_\theta + d_{56}\hat{\kappa}_{s\theta}, \\ M_{s\theta} &= d_{16}N_s + d_{26}\hat{S} + d_{36}M_s + d_{46}\varepsilon_\theta + d_{56}\kappa_\theta + d_{66}\hat{\kappa}_{s\theta}, \\ \text{де } \hat{\kappa}_{s\theta} &= \kappa_{s\theta} - \frac{\sin \varphi}{r} \varepsilon_{s\theta}, \quad \hat{S} = N_{s\theta} + \frac{\sin \varphi}{r} M_{s\theta},\end{aligned}\quad (3)$$

а величини d_{ij} обчислюються таким чином:

$$\begin{aligned}d_{11} &= \psi_1, & d_{12} &= \psi_5, & d_{13} &= \psi_2, & d_{21} &= \psi_5, & d_{22} &= \psi_4, & d_{23} &= \psi_6, \\ d_{14} &= -(C_{12}\psi_1 + K_{12}\psi_2 + a_4\psi_5), & d_{24} &= -(C_{12}\psi_5 + K_{12}\psi_6 + a_4\psi_4), \\ d_{15} &= -(K_{12}\psi_1 + D_{12}\psi_2 + a_5\psi_5), & d_{25} &= -(K_{12}\psi_5 + D_{12}\psi_6 + a_5\psi_4), \\ d_{16} &= -2(K_{16}\psi_1 + D_{16}\psi_2 + a_6\psi_5), & d_{26} &= -2(K_{16}\psi_5 + D_{16}\psi_6 + a_6\psi_4), \\ d_{31} &= \psi_2, & d_{41} &= C_{12}d_{11} + a_4d_{21} + K_{12}d_{31}, \\ d_{32} &= \psi_6, & d_{42} &= C_{12}d_{12} + a_4d_{22} + K_{12}d_{32}, \\ d_{33} &= \psi_3, & d_{43} &= C_{12}d_{13} + a_4d_{23} + K_{12}d_{33},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{34} &= -(C_{12}\psi_2 + K_{12}\psi_3 + a_4\psi_6), & d_{44} &= C_{22} + C_{12}d_{14} + a_4d_{24} + K_{12}d_{34}, \\
 d_{35} &= -(K_{12}\psi_2 + D_{12}\psi_3 + a_5\psi_6), & d_{45} &= K_{22} + C_{12}d_{15} + a_4d_{25} + K_{12}d_{35}, \\
 d_{36} &= -2(K_{12}\psi_5 + D_{12}\psi_3 + a_5\psi_6) & d_{46} &= 2K_{66} + C_{12}d_{16} + a_4d_{26} + K_{12}d_{36} \\
 d_{51} &= K_{12}d_{11} + a_5d_{21} + D_{12}d_{31}, & d_{61} &= K_{16}d_{11} + a_6d_{21} + D_{16}d_{31}, \\
 d_{52} &= K_{12}d_{12} + a_5d_{22} + D_{12}d_{32}, & d_{62} &= K_{16}d_{12} + a_6d_{22} + D_{16}d_{32}, \\
 d_{53} &= K_{12}d_{13} + a_5d_{23} + D_{12}d_{33}, & d_{63} &= K_{16}d_{13} + a_6d_{23} + D_{16}d_{33}, \\
 d_{54} &= K_{22} + K_{12}d_{14} + a_5d_{24} + D_{12}d_{34}, & d_{64} &= K_{26} + K_{16}d_{14} + a_6d_{24} + D_{16}d_{34}, \\
 d_{55} &= D_{22} + K_{12}d_{15} + a_5d_{25} + D_{12}d_{35}, & d_{65} &= D_{26} + K_{16}d_{15} + a_6d_{25} + D_{16}d_{35}, \\
 d_{56} &= 2D_{66} + K_{12}d_{16} + a_5d_{26} + D_{12}d_{36} & d_{66} &= 2D_{66} + K_{16}d_{16} + a_6d_{26} + D_{16}d_{36} \\
 a_1 &= C_{16} + 2K_{16}\frac{\sin\varphi}{r}, & \psi_1 &= \Delta^{-1}(D_{11}a_3 - a_2^2), \\
 a_2 &= K_{16} + 2D_{66}\frac{\sin\varphi}{r}, & \psi_2 &= \Delta^{-1}(a_1a_2 - K_{11}a_3), \\
 a_3 &= C_{66} + 4K_{66}\frac{\sin\varphi}{r} + 4D_{66}\frac{\sin^2\varphi}{r^2}, & \psi_3 &= \Delta^{-1}(C_{11}a_3 - a_1^2), \\
 a_4 &= C_{26} + 2K_{26}\frac{\sin\varphi}{r}, & \psi_4 &= \Delta^{-1}(C_{11}D_{11} - K_{11}^2), \\
 a_5 &= K_{26} + 2D_{26}\frac{\sin\varphi}{r}, & \psi_5 &= \Delta^{-1}(K_{11}a_2 - D_{11}a_1), \\
 a_6 &= K_{66} + 2D_{26}\frac{\sin\varphi}{r}, & \psi_6 &= \Delta^{-1}(K_{11}a_1 - C_{11}a_2), \\
 \Delta &= (C_{11}D_{11} - K_{11}^2)a_3 + 2K_{11}a_1a_2 - D_{11}a_1^2 - C_{11}a_2^2.
 \end{aligned}$$

Коефіцієнти C_{mp} , K_{mp} , D_{mp} визначаються за формулами $C_{mp} = \sum_{i=1}^n \int_{\zeta_{i-1}}^{\zeta_i} B_{mp}^i d\zeta$,

$$K_{mp} = \sum_{i=1}^n \int_{\zeta_{i-1}}^{\zeta_i} B_{mp}^i \xi d\zeta, \quad D_{mp} = \sum_{i=1}^n \int_{\zeta_{i-1}}^{\zeta_i} B_{mp}^i \zeta^2 d\zeta,$$

а величини B_{mp}^i залежать від механічних характеристик матеріалу i -го шару [2].

При побудові розв'язувальної системи рівнянь виходимо з того, що невідомі функції повинні вибиратися певним чином, який дозволяв би одержати шукану систему у формі, зручної для застосування чисельних методів, задавати вихідну інформацію про параметри оболонки і її навантажень у простому й доступному вигляді, формулювати крайові умови в зусиллях – моментах, переміщеннях і в змішаному вигляді.

Оскільки оболонка замкнена в коловому напрямі за розв'язувальні функції вибираємо функції, через які формулюються граничні умови на контурі $s = \text{const}$, а саме:

$$u_x, u_z, v, \vartheta_s, N_x, N_z, \hat{S}, M_s,$$

де

$$\begin{aligned} N_r &= N_s \cos \varphi + \hat{Q}_s \sin \varphi, & N_z &= N_s \sin \varphi + \hat{Q}_s \cos \varphi, \\ u_r &= u \cos \varphi + w \sin \varphi, & u_z &= u \sin \varphi + w \cos \varphi, \\ \hat{Q}_s &= Q_s + \frac{1}{r} \frac{\partial M_{s\theta}}{\partial \theta}, \text{ де } u_x, u_z, v - \text{переміщення в радіальному, осьовому і коловому} \\ &\text{напрямах, } \vartheta_s - \text{кут повороту, } N_x, N_z, \hat{S} - \text{радіальне, осьове і тангенціальне} \\ &\text{зусилля, } M_s - \text{згинний момент.} \end{aligned}$$

З рівнянь (1-3) знаходимо

$$\frac{\partial \vec{N}}{\partial s} = \vec{F}(s, \theta, \vec{N}, \frac{\partial \vec{N}}{\partial \theta}, \frac{\partial^2 \vec{N}}{\partial \theta^2}, \frac{\partial^3 \vec{N}}{\partial \theta^3}, \frac{\partial \vec{N}^4}{\partial \theta^4}, q_x, q_\theta, q_z) \quad (4)$$

$$(s_0 \leq s \leq s_1; 0 \leq \theta \leq 2\pi),$$

де $\vec{N} = \{u_x, u_z, v, \vartheta_s, N_x, N_z, \hat{S}, M_s\}^T$,

$$q_r = q_s \cos \varphi + q_\gamma \sin \varphi, \quad q_z = q_s \sin \varphi - q_\gamma \cos \varphi.$$

На відміну від ортотропних оболонок, для розглянутих оболонок, що мають більш загальний ступінь анізотропії, задачі про згин і крутіння не розділяються, тому що всі фактори напружено-деформованого стану взаємозалежні співвідношеннями пружності. Це означає, наприклад, що в анізотропній оболонці, підданій нормальному тиску, з'являються деформації крутіння. У випадку ортотропних оболонок, головні напрямки пружності яких збігаються з координатними лініями, система рівнянь (4) розпадається на дві незв'язані системи, одна з яких описує деформацію оболонки без крутіння, а друга, що включає третє й сьоме рівняння, – задачу пружного крутіння.

Відповідно до діючих на оболонку контурних й поверхневих навантажень та умов закріплення її країв $s = s_0$, $s = s_1$ необхідно сформулювати відповідні граничні умови.

Розв'язок крайової задачі будемо шукати у вигляді [6, 8, 10]:

$$\begin{aligned} \{u_x(s, \theta), u_z(s, \theta), v(s, \theta), \vartheta_s(r, \theta), N_x(s, \theta), N_z(s, \theta), \hat{S}(s, \theta), M_s(s, \theta)\} = \\ \sum_{i=0}^{N-1} \{u_{xi}(s), u_{zi}(s), v_i(s), \vartheta_{si}(s), N_{xi}(s), N_{zi}(s), \hat{S}_i(s), M_{si}(s)\} \psi_i(\theta) \end{aligned} \quad (5)$$

де $u_{xi}(s), u_{zi}(s), v_i(s), \vartheta_{si}(s), N_{xi}(s), N_{zi}(s), \hat{S}_i(s), M_{si}(s)$ ($i = \overline{0, N-1}$) – невідомі функції, а $\psi_i(\theta)$ ($i = \overline{0, N-1}$, $N > 6$) – лінійні комбінації В-сплайнів 5-го степеня на рівномірній сітці точок $0 = \theta_0 < \theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_N = 2\pi$, які задовольняють умови періодичності розв'язку [8,10].

Застосуємо метод колокацій і отримаємо наступну крайову задачу для системи звичайних диференціальних рівнянь у формі Коші, яка містить $8N$ рівнянь першого порядку:

$$\frac{d \bar{y}_k}{d s} = W_0^{-1} \sum_{m=0}^4 \sum_{t=1}^8 b_{kt}^{(m)} W_m \bar{y}_t - W_0^{-1} \bar{g}_k \quad (k = \overline{1,8}) \quad (6)$$

$$(s_0 \leq s \leq s_1)$$

де $\bar{y}_1 = \{u_{x0}, u_{x1}, \dots, u_{xN-1}\}^T$, $\bar{y}_2 = \{u_{z0}, u_{z1}, \dots, u_{zN-1}\}^T$,
 $\bar{y}_3 = \{v_0, v_1, \dots, v_{N-1}\}^T$, $\bar{y}_4 = \{g_0, g_1, \dots, g_{sN-1}\}^T$,
 $\bar{y}_5 = \{N_{x0}, N_{x1}, \dots, N_{xN-1}\}^T$, $\bar{y}_6 = \{N_{z0}, N_{z1}, \dots, N_{zN-1}\}^T$,
 $\bar{y}_7 = \{\hat{S}_0, \hat{S}_1, \dots, \hat{S}_{N-1}\}^T$, $\bar{y}_8 = \{M_{s0}, M_{s1}, \dots, M_{sN-1}\}^T$,
 $\bar{g}_1 = \{q_{x0}, q_{x1}, \dots, q_{xN-1}\}^T$, $\bar{g}_2 = \{q_{z0}, q_{z1}, \dots, q_{zN-1}\}^T$,
 $\bar{g}_3 = \{q_{\theta 0}, q_{\theta 1}, \dots, q_{\theta N-1}\}^T$, $\bar{g}_k = \{0, 0, \dots, 0\}^T \quad (k = \overline{4, 8})$,
 $W_0 = \{\Psi_i(\bar{\theta}_e)\}$, $W_1 = \{\Psi_i^I(\bar{\theta}_e)\}$, $W_2 = \{\Psi_i^{II}(\bar{\theta}_e)\}$, $W_3 = \{\Psi_i^{III}(\bar{\theta}_e)\}$, $W_4 = \{\Psi_i^{IV}(\bar{\theta}_e)\}$
 – квадратні матриці N -го порядку, $\bar{\theta}_e \in [\theta_{e-1}, \theta_e]$, точки колокацій
 $(i = \overline{0, N-1}; e = \overline{0, N-1})$.

Ненульові елементи $b_{i,j}^{(k)}$ визначаються за формулами [4]:

$$\begin{aligned} b_{1,1}^{(0)} &= -\frac{\cos \varphi}{r} + \frac{d_{41} \cos \varphi}{r}, & b_{1,2}^{(0)} &= \frac{d_{41} \sin \varphi}{r}, & b_{1,3}^{(0)} &= \frac{d_{42}}{r}, & b_{1,4}^{(0)} &= \frac{d_{43}}{r}, \\ b_{1,5}^{(0)} &= \frac{d_{44}}{r^2}, & b_{1,8}^{(0)} &= \frac{d_{45} \cos \varphi}{r^2}, & b_{2,2}^{(0)} &= -\frac{\cos \varphi}{r}, & b_{3,3}^{(0)} &= -\frac{2 \cos \varphi}{r}, \\ b_{4,1}^{(0)} &= \sin \varphi + \frac{d_{51} \cos^2 \varphi}{r}, & b_{4,2}^{(0)} &= -\cos \varphi + \frac{d_{51} \sin \varphi \cos \varphi}{r}, & b_{4,3}^{(0)} &= \frac{d_{52} \cos \varphi}{r}, \\ b_{4,4}^{(0)} &= \frac{\cos \varphi}{r} (d_{53} - 1), & b_{4,5}^{(0)} &= \frac{d_{54} \cos \varphi}{r^2}, & b_{4,8}^{(0)} &= \frac{d_{55} \cos^2 \varphi}{r^2}, & b_{5,1}^{(0)} &= d_{11} \cos^2 \varphi, \\ b_{5,2}^{(0)} &= d_{11} \sin \varphi \cos \varphi, & b_{5,3}^{(0)} &= d_{12} \cos \varphi, & b_{5,4}^{(0)} &= d_{13} \cos \varphi, & b_{5,5}^{(0)} &= \frac{d_{14} \cos \varphi}{r}, \\ b_{5,8}^{(0)} &= -\sin \varphi + \frac{d_{15} \cos^2 \varphi}{r}, & b_{6,1}^{(0)} &= d_{11} \sin \varphi \cos \varphi, & b_{6,2}^{(0)} &= d_{11} \sin^2 \varphi, \\ b_{6,3}^{(0)} &= d_{12} \sin \varphi, & b_{6,4}^{(0)} &= d_{13} \sin \varphi, & b_{6,5}^{(0)} &= \frac{d_{14} \sin \varphi}{r}, & b_{6,8}^{(0)} &= \cos \left(1 + \frac{d_{15} \sin \varphi}{r} \right), \\ b_{7,1}^{(0)} &= d_{21} \cos \varphi, & b_{7,2}^{(0)} &= d_{21} \sin \varphi, & b_{7,3}^{(0)} &= d_{22}, & b_{7,4}^{(0)} &= d_{23}, & b_{7,5}^{(0)} &= \frac{d_{24}}{r}, \\ b_{7,7}^{(0)} &= \frac{\cos \varphi}{r}, & b_{7,8}^{(0)} &= \frac{d_{25} \cos \varphi}{r}, & b_{8,1}^{(0)} &= d_{31} \cos \varphi, & b_{8,2}^{(0)} &= d_{31} \sin \varphi, & b_{8,3}^{(0)} &= d_{32}, \\ b_{8,4}^{(0)} &= d_{33}, & b_{8,5}^{(0)} &= \frac{d_{34}}{r}, & b_{8,8}^{(0)} &= \frac{d_{35} \cos \varphi}{r}, & b_{1,3}^{(1)} &= -\frac{\cos \varphi}{r}, & b_{1,6}^{(1)} &= -\frac{d_{46}}{r^3}, \\ b_{1,7}^{(1)} &= \frac{1}{r^3} (d_{44} r + d_{45} \sin \varphi), & b_{1,8}^{(1)} &= \frac{d_{46}}{r^2}, & b_{2,1}^{(1)} &= \frac{2d_{61} \cos \varphi}{r^2}, & b_{2,2}^{(1)} &= \frac{2d_{61} \sin \varphi}{r^2}, \\ b_{2,3}^{(1)} &= \frac{2d_{62} - r \sin \varphi}{r^2}, & b_{2,4}^{(1)} &= \frac{2d_{63}}{r^2}, & b_{2,5}^{(1)} &= \frac{2d_{64}}{r^3}, & b_{2,8}^{(1)} &= \frac{2d_{65} \cos \varphi}{r^3}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{3,1}^{(1)} &= -\frac{\cos \varphi}{r^2}(d_{41}r + d_{51} \sin \varphi), \quad b_{3,2}^{(1)} = -\frac{\sin \varphi}{r^2}(d_{41}r + d_{51} \sin \varphi), \\
 b_{3,3}^{(1)} &= -\frac{1}{r}\left(2 \cos \varphi + \frac{d_{52} \sin \varphi + d_{42}r}{r}\right), \quad b_{3,4}^{(1)} = -\frac{1}{r^2}(d_{43}r + d_{53} \sin \varphi), \\
 b_{3,5}^{(1)} &= -\frac{1}{r^3}(d_{44}r + d_{54} \sin \varphi), \quad b_{3,8}^{(1)} = -\frac{\cos \varphi}{r^3}(d_{45}r + d_{55} \sin \varphi), \quad b_{4,1}^{(1)} = -\frac{2d_{61}}{r} \cos \varphi, \\
 b_{4,2}^{(1)} &= -\frac{2d_{61}}{r} \sin \varphi, \quad b_{4,3}^{(1)} = -\frac{2d_{62}}{r}, \quad b_{4,4}^{(1)} = -\frac{2d_{63}}{r}, \quad b_{4,5}^{(1)} = -\frac{2d_{64}}{r^2}, \\
 b_{4,6}^{(1)} &= -\frac{d_{65} \cos \varphi}{r^3}, \quad b_{4,7}^{(1)} = \frac{\cos \varphi}{r^3}(d_{54}r + d_{55} \sin \varphi), \quad b_{4,8}^{(1)} = \frac{\cos \varphi}{r^2}(d_{56} - 2d_{65}), \\
 b_{5,6}^{(1)} &= -\frac{d_{16} \cos \varphi}{r^2}, \quad b_{5,7}^{(1)} = \frac{\cos \varphi}{r^2}(d_{14}r + d_{15} \sin \varphi), \quad b_{5,8}^{(1)} = \frac{d_{16} \cos \varphi}{r}, \\
 b_{6,6}^{(1)} &= -\frac{d_{16} \sin \varphi}{r^2}, \quad b_{6,7}^{(1)} = \frac{\sin \varphi}{r^2}(d_{14}r + d_{15} \sin \varphi), \quad b_{6,8}^{(1)} = \frac{d_{16} \sin \varphi}{r}, \quad b_{7,5}^{(1)} = -\frac{\cos \varphi}{r}, \\
 b_{7,6}^{(1)} &= -\frac{1}{r^2}(r \sin \varphi + d_{26}), \quad b_{7,7}^{(1)} = -\frac{1}{r^2}(d_{24}r + d_{25} \sin \varphi), \quad b_{7,8}^{(1)} = \frac{d_{26}}{r}, \quad b_{8,6}^{(1)} = -\frac{d_{36}}{r^2}, \\
 b_{8,7}^{(1)} &= \frac{1}{r^2}(d_{34}r + d_{35} \sin \varphi), \quad b_{7,8}^{(1)} = \frac{d_{36}}{r}, \quad b_{1,1}^{(2)} = -\frac{d_{51}}{r^2} \sin \varphi \cos \varphi, \quad b_{1,2}^{(2)} = -\frac{d_{51}}{r^2} \sin^2 \varphi, \\
 b_{1,3}^{(2)} &= -\frac{d_{52} \sin \varphi}{r^2}, \quad b_{1,4}^{(2)} = -\frac{d_{53} \sin \varphi}{r}, \quad b_{1,5}^{(2)} = -\frac{d_{45} + d_{54}}{r^3} \sin \varphi, \quad b_{1,6}^{(2)} = -\frac{d_{45}}{r^3} \cos \varphi, \\
 b_{1,8}^{(2)} &= -\frac{d_{55}}{r^3} \sin \varphi \cos \varphi, \quad b_{2,1}^{(2)} = -\frac{d_{51}}{r^2} \cos^2 \varphi, \quad b_{2,2}^{(2)} = \frac{d_{51}}{r^2} \sin \varphi \cos \varphi, \quad b_{2,3}^{(2)} = \frac{d_{52} \cos \varphi}{r^2}, \\
 b_{2,4}^{(2)} &= \frac{d_{53} \cos \varphi}{r^2}, \quad b_{2,5}^{(2)} = \frac{d_{54}}{r^3} \cos \varphi, \quad b_{2,6}^{(2)} = -\frac{2d_{66}}{r^4}, \quad b_{2,7}^{(2)} = \frac{2}{r^4}(d_{64}r + d_{65} \sin \varphi), \\
 b_{2,8}^{(2)} &= \frac{2d_{66}}{r^3}, \quad b_{3,6}^{(2)} = \frac{1}{r^4}(d_{46}r + d_{56} \sin \varphi), \quad b_{3,7}^{(2)} = -\frac{1}{r^3}[(d_{44}r + d_{45} \sin \varphi)r + (d_{54}r + d_{55} \sin \varphi) \sin \varphi], \\
 b_{3,8}^{(2)} &= -\frac{1}{r^3}(d_{46}r + d_{56} \sin \varphi), \quad b_{4,5}^{(2)} = -\frac{d_{55}}{r^3} \sin \varphi \cos \varphi, \quad b_{4,6}^{(2)} = \frac{1}{r^3}(d_{55} \cos^2 \varphi + 2d_{66}), \\
 b_{4,7}^{(2)} &= -\frac{2}{r^3}(d_{46}r + d_{65} \sin \varphi), \quad b_{4,8}^{(2)} = -\frac{2d_{66}}{r^2}, \quad b_{5,5}^{(2)} = -\frac{d_{15}}{r^2} \sin \varphi \cos \varphi, \\
 b_{5,6}^{(2)} &= \frac{d_{15}}{r^2} \cos^2 \varphi, \quad b_{6,5}^{(2)} = -\frac{d_{15}}{r^2} \sin^2 \varphi, \quad b_{6,6}^{(2)} = \frac{d_{15}}{r^2} \sin \varphi \cos \varphi, \quad b_{7,5}^{(2)} = -\frac{d_{25}}{r^2} \sin \varphi, \\
 b_{7,6}^{(2)} &= \frac{d_{25}}{r^2} \cos \varphi, \quad b_{8,5}^{(2)} = -\frac{d_{35}}{r^2} \sin \varphi, \quad b_{8,6}^{(2)} = \frac{d_{35}}{r^2} \cos \varphi, \quad b_{1,6}^{(3)} = -\frac{d_{56}}{r^4} \sin \varphi, \\
 b_{1,7}^{(3)} &= -\frac{\sin \varphi}{r^4}(d_{54}r + d_{55} \sin \varphi), \quad b_{1,8}^{(3)} = -\frac{d_{56}}{r^3} \sin \varphi, \quad b_{2,5}^{(3)} = -\frac{2d_{65}}{r^4} \sin \varphi, \\
 b_{2,6}^{(3)} &= -\frac{\cos \varphi}{r^4}(d_{56} - 2d_{65}), \quad b_{2,7}^{(3)} = \frac{\cos \varphi}{r^4}(d_{54}r + 2d_{56} \sin \varphi), \quad b_{2,8}^{(3)} = \frac{d_{56}}{r^3} \cos \varphi,
 \end{aligned}$$

$$b_{3,5}^{(3)} = \frac{\sin \varphi}{r^4} (d_{45}r + d_{55} \sin \varphi), \quad b_{3,6}^{(3)} = \frac{\cos \varphi}{r^4} (d_{45}r + d_{55} \sin \varphi), \quad b_{4,5}^{(3)} = \frac{2d_{65}}{r^3} \sin \varphi,$$

$$b_{4,6}^{(3)} = -\frac{2d_{65}}{r^3} \cos \varphi, \quad b_{1,5}^{(4)} = \frac{d_{55}}{r^4} \sin^2 \varphi, \quad b_{1,6}^{(4)} = -\frac{d_{55}}{r^4} \sin \varphi \cos \varphi, \quad b_{2,5}^{(4)} = b_{1,6}^{(4)},$$

$$b_{2,6}^{(4)} = \frac{d_{55}}{r^4} \cos^2 \varphi.$$

На контурах $s = \text{const}$ можна задавати будь-які коректні крайові умови:

$$B_1 \bar{Y}(s_0) = \bar{b}_1; \quad B_2 \bar{Y}(s_1) = \bar{b}_2. \quad (7)$$

Крайова задача (6), (7) розв'язується стійким чисельним методом дискретної ортогоналізації [1,2].

Після розв'язання задачі (6), (7) шукані функції підставляємо відповідно до розв'язків (5), а потім за їх допомогою знаходимо всі фактори напружено-деформованого стану оболонок, що розглядаються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Годунов С.К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // УМН. – 1961. – Т. 16, №3. – С. 171-174.
2. Григоренко Я.М. Изотропные и анизотропные слоистые оболочки вращения переменной жесткости. – Киев: Наукова думка, 1973. – 223 с.
3. Григоренко Я.М., Василенко А.Т. Теория оболочек переменной жесткости. – Киев: Наукова думка, 1981. – 544 с. – (Методы расчета оболочек: В 5т.; Т. 4).
4. Григоренко Я.М., Василенко А.Т. Задачи статистики анизотропных неоднородных оболочек. – М.: Наука. Гл. Ред. физ.-мат. Лит., 1992. – 336с.
5. Григоренко Я.М., Мукоед А.П. Решение задач теории оболочек на ЭВМ. – Киев: Вища школа, 1979. – 280 с.
6. Григоренко Я.М., Крюков Н.Н. Решение задач теории пластин и оболочек с применением сплайн-функций (обзор) // Прикл. механика. – 1995. – 31, № 6. – С.3–27.
7. Григоренко Я.М., Шевченко Ю.Н., Крюков Н.Н. и др. Численные методы. – К.: «А.С.К.», 2002. – 448с. – (Механика композитов: в 12-ти т.; Т. 11).
8. Завьялов Ю.С., Квасов Ю.И., Мирошниченко В.М. Методы сплайн-функций. – Москва: Наука, 1980. – 352с.
9. Крюков М.М. Застосування В-сплайнів до розв'язання задач теорії пластин і оболонок // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ. – 2009. – В. 14. – С. 106 – 112.
10. Крюков М.М. Застосування періодичних в-сплайнів до розв'язання задачі про згин кільцевих пластин змінної товщини в двох координатних напрямках// 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ. – 2010. – В. 17. – С. 166 – 171.
11. Крюков М.М., Яковенко Н.С. Дослідження згину кільцевих та секторіальних пластин змінної товщини на основі сплайн-апроксимації // 36. наук. праць КУЕТТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: КУЕТТ. – 2004. – В. 6. – С. 40 – 47.
12. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судостроение, 1962. – 324 с.

УДК 531.53: 517.938

*Леонід Лобас
Людмила Лобас*

ДО ПИТАННЯ РЕАЛІЗОВНОСТІ СЛІДКУЮЧИХ СИЛ

У статті розглянуте питання правомочності постановки проблеми реалізованості слідкуючих сил.

В статье рассмотрен вопрос корректности постановки проблемы реализуемости следящих сил.

Abstract. The problem of realization of follower forces is discussed.

Ключові слова: слідкуюча сила, подвійний маятник, реалізація.

У ХХ ст. в механіку були введені так звані слідкуючі сили. Наука завдячує цим швейцарському вченому Ціглеру (Н. Ziegler), який спочатку розглядав слідкуючі сили на конкретному прикладі подвійного маятника [1], а потім і в загальному випадку довільних механічних систем [2-4]. Він же вказав на особливості введених ним сил та їх відмінності від інших сил, які можна охарактеризувати як «мертві» сили. Останні є силами, напрям яких є одним і тим же. Напрямок же ціглерової або слідкуючої сили залежить від конфігурації системи, саме цю конфігурацію відслідковує певним чином ціглерова сила. Практично слідкуюча сила може виникнути, наприклад, при витіканні струменя рідини із ємкості, встановленої на кінці стояка або з ракетного двигуна.

Особливістю слідкуючих сил (як і сил радіальної корекції в гіроскопії) є те, що слідкуючим силам в лінеаризованих рівняннях збуреного руху відповідає кососиметрична праця, тобто вони є позиційними непотенціальними силами, внаслідок чого втрачається консервативність системи. Проілюструємо цю ситуацію на прикладі дволанкового перевернутого маятника Ціглера [1], врахувавши, що деформації всіх його пружних елементів супроводжуються відповідною

дисипацією енергії. Ввівши вектор-стовпчик $\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}$ і матриці

$$A = \begin{pmatrix} (m_1 + m_2)l_1^2 & m_2l_1l_2 \\ m_2l_1l_2 & m_2l_2^2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} \mu_1 + \mu_2 + \gamma_1^2 & -\mu_2 + \gamma_1l_2 \\ -\mu_2 + \gamma_1l_2 & \mu_2 + \gamma_2^2 \end{pmatrix},$$

© Лобас Л. Г., Лобас Людм. Г., 2011

$$C = \begin{vmatrix} c_1 + c_2 + cl_1^2 - gl_1(m_1 + m_2) - Pl_1 & & \\ & cl_1l_2 - c_2 & \\ & & cl_1l_2 - c_2 + kl_1P \\ & & & cl_2^2 + c_2 - m_2gl_2 - Pl_2(1 - k) \end{vmatrix},$$

запишемо лінеаризоване рівняння збуреного руху маятника у вигляді

$$A\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + C\varphi = 0. \quad (1)$$

Матриці A та B є симетричними. Матрицю C розіб'ємо на суму симетричної матриці D і косиметричної матриці Q :

$$C = D + Q, \quad D = \|d_{ij}\|, \quad Q = \|q_{ij}\|,$$

причому

$$d_{ji} = d_{ij}, \quad q_{ji} = -q_{ij}, \quad d_{11} = c_1 + c_2 + cl_1^2 - gl_1(m_1 + m_2) - Pl_1,$$

$$d_{12} = cl_1l_2 - c_2 + kl_1\frac{P}{2}, \quad d_{22} = cl_2^2 + c_2 - m_2gl_2 + l_2(k - 1)P,$$

$$q_{12} = \frac{kl_1P}{2},$$

$$D = \begin{vmatrix} cl_1^2 + c_1 + c_2 - (m_1 + m_2)gl_1 - l_1P & cl_1l_2 - c_2 + \frac{kl_1P}{2} \\ cl_1l_2 - c_2 + \frac{kl_1P}{2} & cl_2^2 + c_2 - m_2gl_2 + l_2(k - 1)P \end{vmatrix},$$

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & \frac{kl_1P}{2} \\ -\frac{kl_1P}{2} & 0 \end{vmatrix}.$$

Матриця Q породжена слідкуючою силою $\vec{P}$ і стає нульовою при $P = 0$. Рівняння (1) замінюється таким:

$$A\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + D\varphi + Q\varphi = 0. \quad (2)$$

Тут A – матриця інерційних сил, B – матриця дисипативних сил, D – матриця потенціальних сил, Q – матриця непотенціальних позиційних сил.

Фізичний зміст параметрів, що увійшли до (1), (2), вказаний в роботі [8].

Зі структури матриці Q випливає, що джерелом непрогнозованості динамічної поведінки системи є якраз слідкуюча сила $\vec{P}$, оскільки механічна система, що характеризується матрицями A , B , D , Q не описується класичними теоремами Томсона (W. Thomson) і Тета (P. Tait). Ці теореми дозволяють прогнозувати якісну поведінку системи (зокрема її стійкість чи нестійкість), знаючи структуру сил, що діють на систему.

Таким чином, слідкуюча сила відокремлює дану механічну систему від інших систем.

Цим пояснюється низка несподіваних динамічних ефектів, знайдених Ціглером [1-4] на підставі дослідження впливу слідкуючих сил на механічні системи, зокрема ефект дестабілізації лінійної системи як завгодно малим в'язким тертям в умовах, коли система підпорядкована інерційним, дисипативним, потенціальним силам та позиційним силам з косометричною матрицею («парадокс Ціглера»): формальна стійкість стану рівноваги втрачається при введенні в систему нескінченно малого в'язкого тертя.

Ці та інші міркування викликали прискіпливий інтерес світової наукової спільноти до слідкуючих сил. Згідно з [5] бібліографія присвячених їм наукових публікацій, за даними журналу Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Series: Applied Mechanics Reviews, нараховує на 2005 р. понад 370 публікацій. Реалізованість слідкуючих сил автори деяких із наведених в [5] публікацій ставлять під сумнів.

На противагу таким публікаціям можна сказати, що сама постановка питання про практичну реалізацію слідкуючих сил є недоречною, оскільки саме поняття сили є абстракцією, символом; сила – це вдалий витвір людського розуму. Реально «сила» в природі не існує, на відміну від руху або деформації тіла. Поняття сили було введене для того, щоб характеризувати причину зміни положення тіл у просторі або деформування тіл. Сила, як відомо після робіт Г. Герца, не єдино можливий спосіб для цього. Але з усіх запропонованих у різні часи способів варіант «сили» виявився найпростішим і саме тому був обраний людством.

Тим більше є некоректною постановка питання про реалізованість слідкуючої сили. З монографії [7] можна дійти висновку, що сама постановка питання про «реалістичність» слідкуючих сил може здатись марною, оскільки з позицій аналітичного конструювання регуляторів будь-яку силу неважко «реалізувати», належним чином підбравши закон управління. Важливо лише знати аналітичну залежність сили від фазових координат. Ця умова в постановці Г. Ціглера задовольняється.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ziegler H. Die Stabilitätskriterien der Elastomechanik // Ingenieur-Archiv. – 1952. – 20, № 1. – S. 49-56.
2. Ziegler H. Linear elastic stability // Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik. – 1953. – 4, № 2. – P. 89-121.
3. Ziegler H. Linear elastic stability // ZAMP. – 1953. – 4, № 3. – P. 167-185.
4. Циглер Г. Об устойчивости упругих систем // Проблемы механики. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – Вып. 2. – С. 116-160.
5. Elishakoff I. Controversy Associated with the Co-Called “Follower Forces”: Critical Overview // Transactions of the ASME: Ser.: Applied Mechanics Reviews. – 2005. – Vol. 58, № 3. – P. 117-142.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

6. Лобас Л. Г., Лобас Людм. Г. Теоретична механіка. – К.: ДЕТУТ, 2009. – 407 с.
7. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.
8. Лобас Л. Г., Лобас Людм. Г., Лупіна Т. О. Класифікація сил за їх математичною структурою в узагальненій задачі про рух перевернутого подвійного маятника // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2010. – Вип. 16.

УДК 519.9+338.9

Александр Рудницкий
Александра Рудницкая
Татьяна Семененко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОВЕДЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В работе обоснован подход, основанный на представлениях нелинейной динамики, к исследованию поведения цен золота на рынках России, Польши и Украины. Тестирование указанных временных рядов, посредством вычисления корреляционной размерности, ляпуновских экспонент и показателя Хёрста, доказывает наличие в их поведении низкоразмерного хаоса.

Посредством применения метода локальной аппроксимации решается задача прогнозирования цены золота. В качестве тестового ряда выступал ценовой ряд за последние 100 дней 2010 года, а в качестве тренировочного ряда использовались данные за несколько предшествующих лет. Критерием точности прогноза является нормированная ошибка предсказания E , которая лежит в пределах $\sim 0.11-0.13$.

Данный подход может быть использован для прогнозирования цен и на других рынках, в том числе на рынке транспортных услуг.

У роботі обґрунтовано підхід дослідження цін на золото на ринках Польщі, Росії та України, заснований на досягненнях нелінійної динаміки. Тестування зазначених часових рядів за допомогою обчислення кореляційної розмірності, ляпуновських експонент та показника Хьорста, доводить наявність низькорозмірного хаоса.

Прогнозування часового ряду проводилось за допомогою методу локальної апроксимації. У якості тестового ряду застосовувався ціновий ряд за останні 100 днів 2010 року, а у якості тренувального ряду використовувались дані за декілька передуючих років. Критерієм точності прогнозування є нормована похибка передбачення E , яка знаходиться в межах $\sim 0.11-0.13$.

Запропонований підхід може бути використаний для прогнозування цін і на інших ринках, зокрема, на ринку транспортних послуг.

Investigation of the complex dynamical behaviors of the daily prices for gold Russian, Poand and Ukraine Markets is presented.

The correlation dimensions, maximum Lyapunov exponents and Hurst exponents are calculated for these time series. Tests results indicate enough evidence to accept the hypotheses of low-dimensional chaotic behaviors daily prices for gold.

© Рудницкий А. Г., Рудницкая А. А., Семененко Т. Н., 2011

A forecasting technique developed within the framework of nonlinear dynamics for irregular time series, – the local approximation method – is presented. All time series were tested and tuned to obtain the minimum of a normalized average prediction error (E) during the last 100 days using several past years as a training dataset.

Ключевые слова: прогнозирование, хаос, корреляционная размерность, показатель Ляпунова, нелинейная динамика, временные ряды.

Введение

«Понедельник 15 сентября 2008 года вошел в финансовую историю США и всего мира. Всего за один день произошли два события, потрясшие Уолл-стрит: инвестиционный банк Merrill Lynch перестал существовать, самостоятельно приняв предложение о слиянии с Bank of America, а инвестиционный банк Lehman Brothers не смог найти покупателя на свои активы и объявил о банкротстве» [1]. Банкротства крупнейших мировых финансовых институтов, обесценивание активов, падение капитализации компаний в очередной раз заставило экономическую общественность усомниться в адекватности классической финансовой теории. Многие заговорили о том, что главная причина кризиса кроется в рухнувшей системе оценки финансовых рисков и заставили задуматься о состоятельности и применимости используемых в мире методик их оценки.

Вся классическая финансовая теория основана на гипотезе эффективности фондовых рынков (*EMH, Effective Market Hypothesis*), то есть на предположении о том, что на рынке цена актива определяется путем непредвзятой оценки его ценности. Рынок выступает в качестве машины по определению истинной стоимости активов, обеспечивая тем самым оптимальное распределение рисков и доходностей в экономике. Однако, в последнее время ученые находят все больше и больше подтверждений несостоятельности этой гипотезы. Аномальное поведение рынков и различного рода кризисы, происходящие на них, являются веским тому подтверждением.

Последние полвека в теории финансов доминировала линейная парадигма, когда предполагалось, что линейные ограничения не умаляют полезности построенных моделей, даже если описываемые системы имеют *нелинейный* характер. Однако, при общем рассмотрении, оказывается, что для большинства явлений нашего мира линейная парадигма неприемлема. Мир в действительности не линеен. И одной из общих и фундаментальных нелинейных проблем является проблема рождения *нерегулярного*, хаотического поведения в динамических системах, которые описываются *регулярными нелинейными* уравнениями.

Таким образом, на фоне неутрачивающих споров по поводу применимости гипотезы *EMH* ученые начали заниматься разработкой новых экономических моделей. В последнее время пристальное внимание заслужил подход, основанный на гипотезе фрактального рынка (*FMH, Fractal Market Hypothesis*), предложенной Б.Мандельбротом [2]. Петерс [3] в дополнение к описанию гипотезы фрактального рынка проводит расчеты, подтверждающие, что современный рынок имеет фрактальную природу. При этом методы нелинейной динамики и фрактального анализа используются при анализе рынков акций, облигаций и валют, а взгляд на фрактальную теорию описывается с позиции теории хаоса и рассматривается проблема устойчивости отдельных компаний на рынке.

Нелинейная динамика и теория временных рядов

Наиболее интригующим и заманчивым приложением теории нелинейных систем с хаотическим поведением является прогнозирование динамики порождаемых ими временных рядов (*под временным рядом будем понимать расположенную в хронологическом порядке последовательность значений некоторой величины*). При некоторых условиях существует возможность произвести оценку будущего значения временного ряда, причем эта оценка представляет собой функцию только от предыдущих значений ряда. В этом и состоит одна из основных задач анализа временных рядов – *задача прогноза*: на основе одних лишь наблюдений за системой, предсказать ее поведение в будущем. Более того, при прогнозировании не делается различий между природой системы. Это может быть курс доллара, сейсмозапись или динамика солнечной активности.

Задача прогноза, видимо, одна из старейших задач анализа временных рядов. Она возникла задолго до появления синергетики и нелинейной динамики, и называлась «предсказанием случайных процессов». При каких условиях могут быть динамически смоделированы некоторые временные ряды и успешно осуществлено их прогнозирование?

Когда исследуемая система – детерминированная (или динамическая, т.е. описывается конечным набором обыкновенных дифференциальных уравнений), – то наблюдаемая всегда будет функцией от ее фазовой точки. Однако, как правило, заранее неизвестно, возможно ли описать данный процесс динамически. Тем не менее, в рамках современной теории размерности и теории динамических систем можно, в принципе, отличить шум (случайный процесс) от детерминированного поведения и тем самым установить конечномерность рассматриваемого явления [4].

Таким образом, становится возможным не только описывать поведение исследуемого временного ряда, но и прогнозировать его динамику. Следовательно, по единственной наблюдаемой, в принципе, представляется возможным определить некоторые особенности динамической системы и получить представление о ее свойствах. Именно в этом состоит *задача идентификации*, при решении которой предпринимается попытка ответить на вопрос: каковы параметры системы (они могут быть самыми различными, например статистические распределения, спектральные свойства), породившей данный временной ряд. Очень важно, что с помощью этих параметров можно идентифицировать (распознать) систему, то есть отличить ее от других [5]. Проблемы такого рода возникают, например, в задачах медицинской или технической диагностики: необходимо отличить различные патологии от нормы, не разрушая систему, а используя доступные измерению характеристики [6].

На этом пути удастся найти подходы к таким приложениям, как обработка информации, скрытая связь (то есть пересылка зашифрованных сообщений), стабилизация неупорядоченных сокращений сердечной мышцы и дефибрилляция, прогноз динамики финансовых рынков и др. Следовательно, отнюдь не случайные процессы, а маломодовые динамические системы с хаотическим поведением, вроде системы Лоренца, могут оказаться наиболее оптимальными для тестирования и прогноза поведения временных рядов.

В 1980 г. математик Ф. Такенс в своей знаменитой теореме, опубликованной годом позже [7], предложил строгое математическое обоснование всей концепции прогноза временных рядов с точки зрения нелинейной динамики. Именно эта теорема лежит в основе алгоритмов, позволяющих по эволюции одной переменной

составить представление о динамике всей системы, построив аттрактор, по метрическим свойствам аналогичный исходному.

Методы прогноза временных рядов делятся на два типа: *параметрические* и *непараметрические*.

Непараметрические методы используются в ситуациях, когда трудно подобрать адекватную модель изучаемого процесса. В этом случае единственным способом описания процесса является выражение следующих по времени значений ряда через предыдущие: $z_{n+1} = F(z_n, \dots, z_1)$. Это выглядит вполне разумно: если нет другой информации, кроме наблюдаемого ряда, то на что же еще опираться при прогнозе, как не на предыдущие значения наблюдаемой или какие-либо их комбинации? Часто при таком описании функцию $F(z_n, \dots, z_1)$ полагают линейной [8].

В обоих случаях (непараметрическом и параметрическом) функцию F считают неизменной для всего ряда. Однако методы, основанные на глобальной аппроксимации, дают хорошее приближение лишь до тех пор, пока данных хватает на устойчивую оценку ее параметров. Если же функция достаточно сложная, то нет никакой гарантии, что можно найти представление, которое позволит эффективно аппроксимировать исследуемую функцию на всей траектории ряда. Может получиться замкнутый круг: чем сложнее функция, тем надо больше параметров, чем больше параметров требуется оценить, тем больше надо данных. В свою очередь, увеличение количества используемых данных (что не всегда доступно) при «сложном» поведении функции требует введения в модель дополнительных параметров и т.д. (здесь конкретно реализуется общий научно-философский принцип: «*Не следует умножать сущности без необходимости*»)¹.

Но можно попробовать избежать заикливания и не гнаться за единым представлением всей функции, а воспользоваться локальной аппроксимацией. Впервые такой метод был описан в работе [9].

Локальные модели

Основная идея метода локальной (кусочной) аппроксимации (ЛА) состоит в том, чтобы разбить область определения функции на несколько локальных областей, построить аппроксимирующие модели и оценить параметры этих моделей отдельно в каждой области. Если функция малой области не изменяется слишком резко, то это позволяет применять в каждой области достаточно простые модели, например, линейные. Главное условие эффективного применения локальной аппроксимации – удачный выбор размера локальной области, т. е. числа соседей. Это число надо выбрать так, чтобы в каждой области их было бы достаточно для устойчивой оценки параметров и прибавление небольшого числа новых соседей не давало бы существенного изменения оцениваемых параметров. Опять возникает необходимость соблюдать компромисс: нельзя использовать слишком *далеких* «соседей», чтобы погрешность аппроксимации многочленом низкого порядка не стала слишком большой, но нельзя брать и слишком *малое число* близких соседей.

Проще всего представить суть метода ЛА на примере прогнозирования котировок на бирже. Для того чтобы сделать прогноз котировок на завтра в соответствии с методом ЛА, надо просмотреть данные о котировках за весь период наблюдений и найти день наиболее похожий на сегодняшний. Значение котировки в следующий за ним день и будет прогнозом на завтра.

¹ *Pluralitas non est ponenda sine necessitate*. Этот принцип носит название *бритвы Оккама* (Уильям Оккам (1285-1349) – знаменитый английский философ и логик).

Первый шаг при анализе временных рядов, основанном на теореме Такенса, состоит в переходе от скалярного ряда, содержащего N значений наблюдаемой величины x , измеренных в последовательные моменты времени t_i : $x_i = x(t_i), i = 1, \dots, N$ к его многомерному представлению: $\vec{z}_i = [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i-D+1}]$, где D – размерность вложения, – параметр, определяемый отдельно для каждого ряда². Временной ряд из первых N_{train} значений наблюдаемой используется для построения модели, поэтому его называют «тренировочным». Продолжение тренировочного временного ряда («тестовый» ряд длиной N_{test}) используют позже для проверки эффективности построенной модели.

Сопоставим каждый из $N_{train} - D + 1$ векторов тренировочного ряда и первый вектор тестового ряда $\vec{z}(t_{N_{train}+1}) = (x_{N_{train}+1}, x_{N_{train}+2}, \dots, x_{N_{train}+D})$. Используя эти данные, сделаем прогноз значений координат следующего вектора тестового ряда (фактически, неизвестным является только значение его последней координаты $x_{N_{train}+D+1}$). Для этого во всем тренировочном ряде найдем векторы, которые являются близкими «соседами» вектора $\vec{z}(t_{N_{train}+1})$. То есть из векторов тренировочного ряда отыскивают k ближайших соседей текущего вектора $\vec{z}(t_{N_{train}+1})$. Это векторы с временными индексами n_j , расстояния от которых до $\vec{z}(t_{N_{train}+1})$ меньше всего (так называемые *аналоги* $\vec{z}(t_{N_{train}+1})$): $\min \|\vec{z}(t_{n_j}) - \vec{z}(t_{N_{train}+1})\|$ (в данной работе использовались евклидова норма и корреляционная функция, для которой, естественно, отыскивалось максимальное значение). Значения наблюдаемой, которые следовали в прошлом за соседями $\vec{z}_{n_j}$, известны. По ним можно построить модель. Обычно используют простую функцию $F(z_n, \dots, z_1)$, параметры которой находят обычным МНК.

Пусть найдено k соседей. Предположим, что функция $F(z_n, \dots, z_1)$ линейна в окрестности «точки» $\vec{z}(t_{N_{train}+1})$

$$F(x_1, \dots, x_D) = c_0 + \sum_{i=1}^D c_i x_i.$$

Для каждого из найденных векторов $\vec{z}(t_{n_j})$ дальнейшее поведение объекта известно. По этим данным методом наименьших квадратов можно определить значения коэффициентов функции $F(z_n, \dots, z_1)$:

$$\sum_{i=1}^k [x(t_{n_i+D}) - F(\vec{z}(t_{n_i}))]^2 = \min.$$

Если количество соседей меньше, чем количество коэффициентов, то будем использовать локально постоянную аппроксимацию: если соседей не нашлось, то прогноз осуществляется по принципу «завтра как сегодня»: $x_{N_{train}+D+1} = x_{N_{train}+D}$.

² Процедуру построения («восстановления») по скалярному временному ряду ряд векторов состояния $\vec{z}_i = [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i-D+1}]$ называют реконструкцией фазовой траектории.

Чтобы осуществить прогноз на несколько итераций вперед, можно использовать предсказанное значение в качестве нового известного значения наблюдаемой. Далее нужно найти ближайших соседей для полученного вектора состояния, провести аппроксимацию функции $F(z_n, \dots, z_1)$ уже в окрестности этого нового вектора и сделать прогноз следующего значения величины z , и т.д. Такой метод прогноза называется *итерационным*.

Возможен и другой метод прогноза, который называется *прямым*. Он состоит в том, что для прогноза на T интервалов выборки вперед (с упреждением T) непосредственно аппроксимируется зависимость от T . Таким образом, для прогноза с любым упреждением достаточно только один раз отыскать ближайших соседей вектора $\vec{z}(t_{N_{train}+1})$. Точность прогноза с использованием итерационного метода, как показывают оценки [10], несколько выше.

С точки зрения анализа системы, отражением динамики которой для нас является исследуемый временной ряд, локальная аппроксимация менее информативна в сравнении с глобальной, так как оценка параметров последней может дать дополнительные сведения о самой системе и ее динамике. Однако, если главный критерий выбора модели – точность, то во многих случаях более предпочтительной может оказаться локальная аппроксимация, преимущества которой особенно заметны для «сложных» непериодических функций, когда невозможно повышение точности глобальных моделей за счёт накопления и усреднения данных наблюдений.

Анализ реальных экономических рядов

При построении прогноза для реальных экономических рядов предпочтение было отдано итеративному варианту метода локальной аппроксимации первого порядка. Выбор именно первого порядка аппроксимации – следствие уже упоминавшегося компромисса между точностью аппроксимации и близостью соседей между собой.

Для изучения были выбраны цены на золото на российском, украинском и польском рынках. При этом, для анализа цен на российском рынке использовался ряд из 1788 точек, отражающий ежедневную динамику цены с 2003 по 2010 годы³, а украинский и польский рынки анализировались по рядам из 607 и 446 точек соответственно, отражающих динамику цены за 2009-2010 годы.

Заметим, что в количественном анализе рынков капитала всегда используются прибыли. Цены не подходят для линейной регрессии, поскольку они последовательно коррелированы – каждая цена соотносится с предыдущей. Однако, и прибыли не являются подходящей трансформацией цен при исследовании нелинейных динамических систем, поскольку при этом данные искусственно отбеливаются [11]. Непосредственное же использование цен влечёт следующие проблемы. Величина активов растёт вместе с экономикой и подвержена инфляции, следовательно, цены растут просто по причине одной лишь инфляции, даже если нет реальных причин их роста. Анализировать такой временной ряд без поправок на инфляцию – бесполезное занятие. Т.е. ценовой ряд должен быть детрендирован к экономическому росту, поскольку нас интересует именно движение цен, а не их инфляционный рост. Детрендрование проводилось по формуле [12]

Источники <http://stocks.investfunds.ru/indicators/>;
<http://www.andrzejbaranowski.pl/ceny.htm>.

$$S_i = \ln P_i - (a \cdot i + cont),$$

где S_i – детрендрованный ряд цен, P_i – исходный ряд цен, i – номер наблюдения.

Посредством регрессии логарифма цены на время и вычитания этих двух рядов получается новый ряд, с исключенным трендом экспоненциального роста во времени.

На рис. 1 (б-г) представлены детрендрованные ряды цен на золото за указанные выше периоды, а на рис. 1 (а) – исходный ценовой ряд на российском рынке.

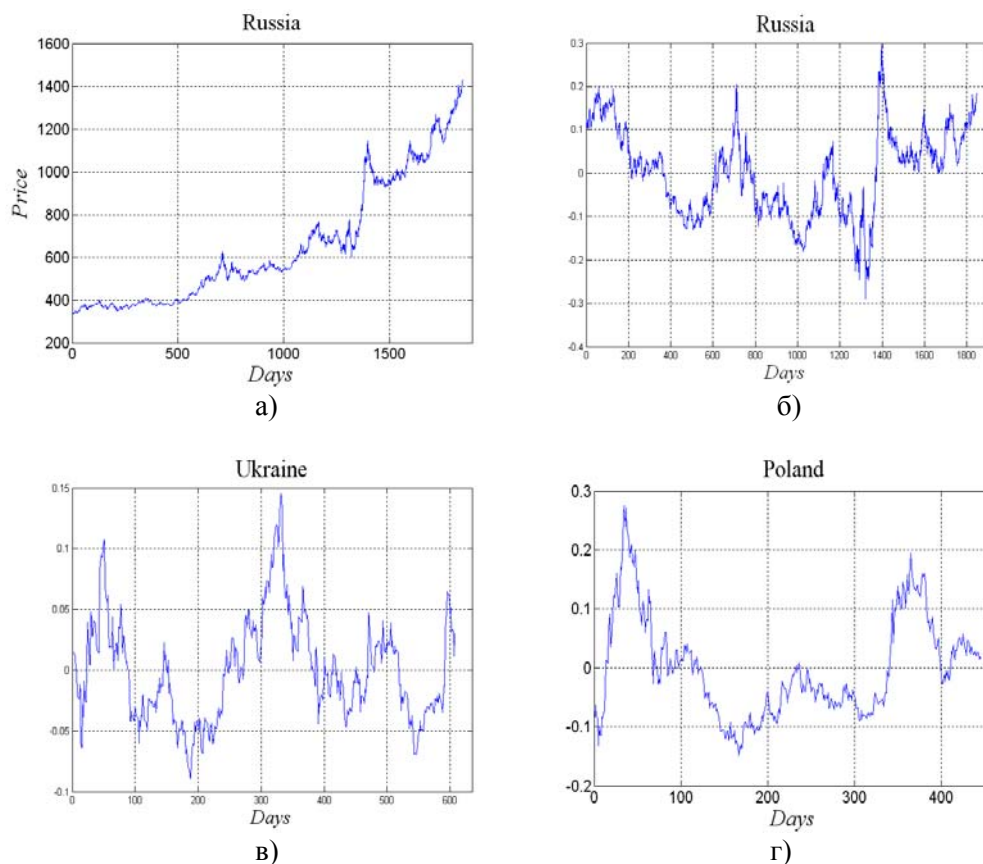


Рис. 1.

Прежде всего, исследуемые ряды тестировались на предмет наличия (или отсутствия) в них детерминированной хаотической компоненты.

Мы использовали лишь некоторые тесты из богатого арсенала методов нелинейной динамики: показатель Хёрста⁴, корреляционная размерность и показатель Ляпунова.

Заметим, что зная значения показателя Хёрста H , можно сформулировать принципиальные различия в поведении хаотических временных рядов разного типа: при $H=0.5$ временной ряд является винеровским процессом или коричневым шумом⁵.

⁴ Так называемый «метод нормированного размаха» или R/S -анализ.

⁵ По созвучию с броуновским движением (brown – коричневый).

Основным свойством этого процесса является отсутствие памяти: следующее приращение ряда не зависит от всех предыдущих. При $0 \leq H < 0.5$ процесс называется розовым шумом. В таких процессах существует «отрицательная» память: если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет наблюдаться отрицательное и наоборот. При $0.5 < H \leq 1$ процесс называется черным шумом и обладает «положительной» памятью: если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет также наблюдаться положительное и наоборот [11].

Большинство временных рядов, наблюдаемых в природе и науке, обычно можно отнести к одному из трех перечисленных выше классов. Так коричневому шуму соответствует одномерное броуновское движение (так же долгое время предполагалось, что этим процессом описывается поведение цен на бирже). Розовым шумам соответствуют временные ряды, наблюдаемые в процессах турбулентности, к этому же типу поведения относятся ряды волатильности цен финансовых активов. Черные шумы регистрируются в разливах рек, солнечной активности, статистике природных и техногенных катастроф. Некоторые исследователи полагают, что поведение цен акций на бирже также относится к этому классу процессов.

Корреляционная размерность является одним из наиболее популярных тестов, применяемых на практике для выяснения наличия хаотической детерминированности. Он (тест) состоит в изучении свойств корреляционной суммы $C_m(r)$ и поведения корреляционной размерности $D(m)$ в зависимости от размерности вложения m . Корреляционная сумма $C_m(r)$ — это вероятность того, что пара точек на восстановленном аттракторе в m -мерном лаговом пространстве находится в пределах расстояния r друг друга. Если график функции $\log C_m(r)$ относительно $\log r$ имеет отчетливо выраженный линейный участок, это указывает на самоподобную (фрактальную) геометрию аттрактора (см., например: [13]), что, в свою очередь, говорит о хаотической детерминированности финансового показателя.

Корреляционная размерность $D(m)$ вычисляется как средний наклон указанного выше графика, а ошибка вычисления берется как половина разницы максимального и минимального наклона. При увеличении размерности вложения m корреляционная размерность увеличивается. Однако для хаотических данных корреляционная размерность будет в конечном счете насыщаться при ее истинном значении. Для случайных данных такого насыщения не наблюдается и корреляционная размерность растет монотонно.

При вычислении корреляционной размерности аттрактора динамической системы, которая, возможно, «управляет» динамикой выбранных нами финансовых данных, в начале строилось лаговое пространство по детрендированным логарифмам цен. Время задержки τ при построении лагового пространства вычислялось как первый минимум функции взаимной информации исследуемого временного ряда [14] и использовался алгоритм Грассберга-Прокачио [13].

В качестве дополнительного тестирования на наличие хаотического поведения исследуемых временных рядов вычислялось значение наибольшего показателя Ляпунова [15]⁶.

Как известно, наличие положительного ляпуновского показателя отражает чувствительную зависимость динамической системы от начальных данных, что явля-

⁶ Расчёты выполнялись в системе Matlab с использованием оригинальных программ и пакета OpenTStool.

ется одним из главных признаков детерминированного хаоса. Именно это свойство ответственно за нерегулярное поведение детерминированных хаотических систем, которое часто по «внешним» проявлениям интерпретируется как случайное, на самом деле отнюдь не являясь таковым. С ляпуновским показателем непосредственно связан горизонт предсказуемости хаотической системы: за время обратно пропорциональное показателю Ляпунова система полностью теряет информацию о своем начальном состоянии⁷. То есть, прогноз динамики хаотической системы на временах больших горизонта предсказуемости в принципе невозможен.

Для подтверждения (или опровержения) гипотезы о наличии динамического поведения исследуемых временных рядов часто используется тест на перемешивание (так называемый «суррогатный тест»). При выполнении этого теста данные исходного ряда (или его фаза) перемешиваются в случайном порядке. Если ряд не является частью хаотического аттрактора, его корреляционные характеристики не должны измениться. Если же аттрактор существует, то перемешивание ломает структуру аттрактора и его корреляционные характеристики изменяются.

На рис. 2 и 3 показаны результаты такого тестирования.

На рис. 2 представлены результаты вычисления корреляционных размерностей в зависимости от размерности лагового пространства. На рис. 2 (а) сплошной кривой показана зависимость корреляционной размерности детрендированного ряда цен на золото на российском рынке от размерности вложения m (корреляционная размерность ≈ 3.2). Пунктирная кривая показывает эту же зависимость для перемешанного ряда. Для сравнения, на рис. 2 (б) показаны эти же зависимости в тех же обозначениях для классического случая – аттрактора Лоренца, корреляционная размерность которого равна ≈ 2.06 , что очень хорошо совпадает с её теоретическим значением.

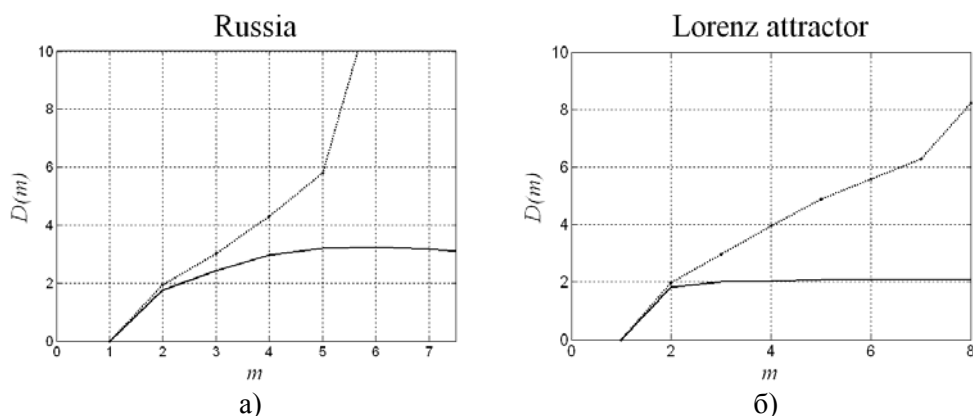


Рис. 2.

На рис. 3 представлены результаты суррогатного теста для трёх исследуемых рынков (рис.3(а)-3(в)) и, для сравнения, аттрактора Лоренца (рис. 3 (з)).

Во всех случаях генерировалось по 50 суррогатных реализаций, для которых вычислялись корреляционные интегралы, после чего проводилось усреднение и

⁷ На самом деле, ситуация несколько сложнее (см., например, [14]), но во многих случаях дело обстоит именно так.

определение среднеквадратичного отклонения. Очевидно, что гипотеза о не хаотичности рассмотренных временных рядов может быть отклонена.

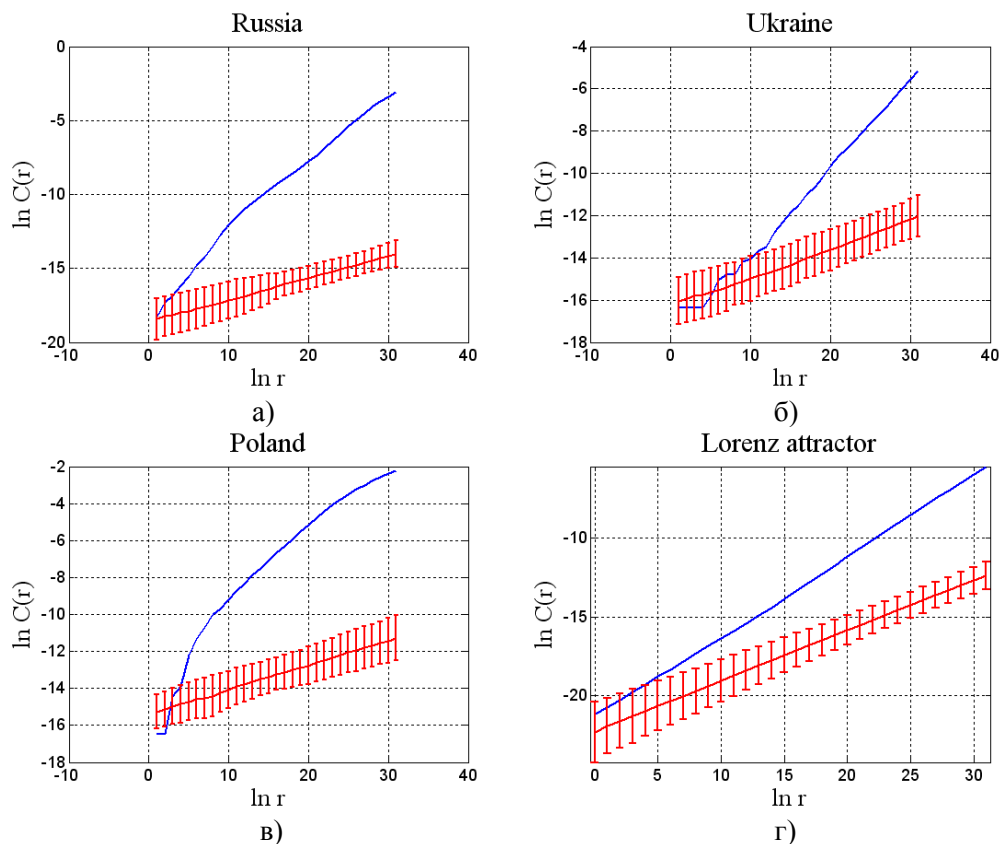


Рис. 3.

К этому же выводу приводят и два других теста (вычисление старшего показателя Ляпунова и экспоненты Хёрста). При этом, вычисление *локальных* значений показателя Хёрста (экспоненты Гельдера) доказывает, что рассмотренные финансовые ряды являются мультифракталами. Подробный мультифрактальный анализ исследуемых финансовых показателей, однако, предполагается сделать предметом предстоящих исследований.

Проведенный анализ позволяет не только идентифицировать исследуемые временные ряды, но и использовать найденные параметры для прогноза их поведения.

Для оценки эффективности прогнозов имеющийся ряд разбивался на две части, по первой части (так называемая *тренировочная выборка*) строился прогноз значений ряда для второго, значительно более короткого отрезка (*тестовая выборка*). На рис. 4 (а) представлена динамика логарифма цен на золото на российском рынке (сплошная линия) и прогноз на последние 100 дней 2010 года (тонкая штриховая линия с точками). Для построения прогноза использовался ряд из 1788 точек, отражающий динамику цены с 2003 по 2010 годы (на рисунке показаны последние 200 значений ряда). Start Point – точка начала прогноза. Количество k ближайших соседей выбиралось в пределах 25-30, размерность вложения m – равнялась $m=3$. Такие параметры были выбраны исходя из соображений минимальной погрешнос-

ти предсказания, которая, в соответствии с рекомендациями работы [9] определялась, как отношение среднеквадратичной ошибки за тестовый период к стандартному отклонению за тренировочный период:

$$E = \frac{\langle [S(t)_a - S(t)_p]^2 \rangle_{test}^{1/2}}{\langle [S(t) - \langle S(t) \rangle]^2 \rangle_{training}^{1/2}},$$

где скобки $\langle \rangle$ означают усреднение по обозначенному временному периоду, $S(t)$ – логарифмически детрендрованные значения цен в зависимости от времени, индекс a – реальные цены (*Actual*), p – предсказанные (*Predicted*). Полученная таким образом ошибка предсказания E широко используется как критерий качества прогноза и находится в пределах $0 \leq E \leq 1$ ($E=0$ означает полное совпадение предсказанных и реальных данных). Численный эксперимент, также, показал, что при поиске «ближайших соседей» более предпочтительной, с точки зрения минимальной погрешности E , оказывается норма, основанная на вычислении корреляционной функции.

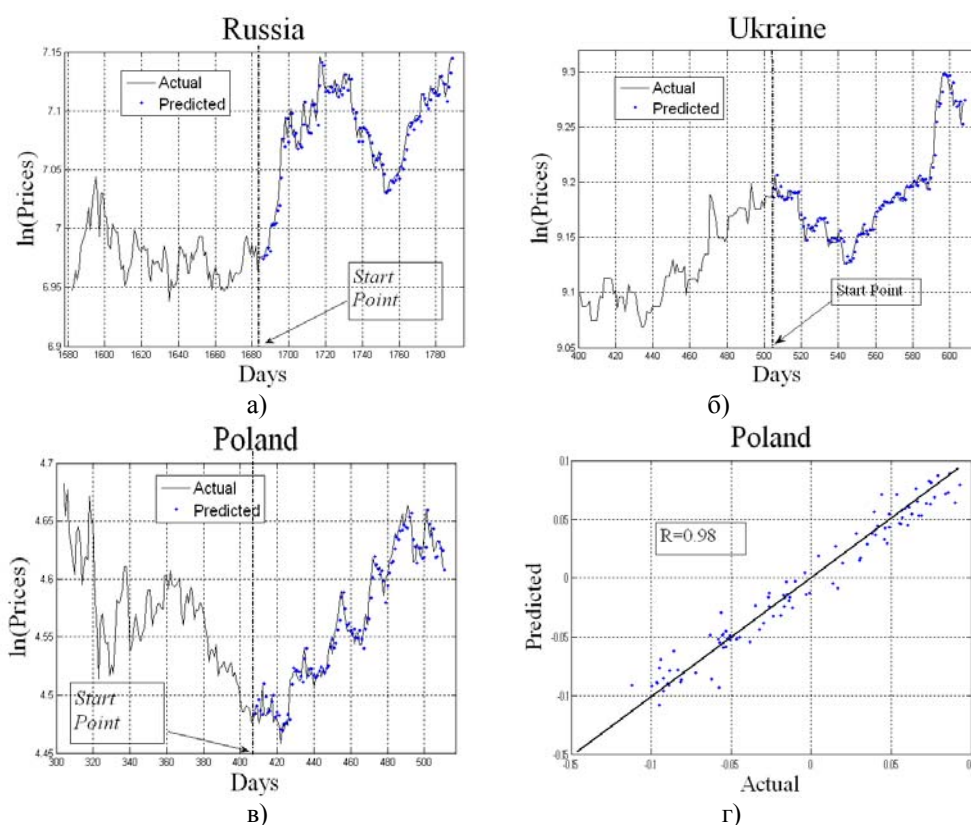


Рис. 4.

Как видно из рисунка, удастся не только достаточно точно спрогнозировать тренд ряда (его спады и подъемы) в течение длительного отрезка времени (100 точек (дней)), но и воспроизвести его тонкую структуру. Удовлетворительное визуальное совпадение подтверждается, также, и численными характеристиками оценки точности прогноза – для всех трех временных рядов нормированная ошибка пред-

сказания E лежит в пределах $\sim 0.11-0.13$, а коэффициент корреляции R для исследуемых логарифмически детрендрованных реальных и спрогнозированных рядов составляет ~ 0.98 . На рис.4(г) представлена скаттерограмма цен на золото в Польше (*Actual* – реальные значения, *Predicted* – спрогнозированные).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время идет оформление новой науки – эконофизики (экономической физики) [16-18], в рамках которой, на основе анализа и моделирования социальной и экономической динамики, делается попытка обобщить физические знания о поведении сложных систем и создать новые инструменты их анализа. Современный финансовый рынок представляет собой идеальный пример «естественной» сложной системы. С одной стороны он подвержен случайным воздействиям, поскольку его эволюция определяется волей большого количества людей, а с другой в нем действуют устойчивые механизмы, определяемые коллективным поведением участников. При этом крайне важным оказывается определение и описание специфических свойств ценовых рядов, отличающих их от других известных естественных процессов. Поэтому поиск инструментария для количественного анализа таких рядов, который позволил бы детально исследовать их динамику и строить адекватные математические модели является задачей весьма актуальной.

Большинство экономических моделей имеет своей целью объяснение реальной экономической динамики и поиск путей воздействия на экономическое развитие в нужном направлении. Так, оказалось достаточно даже простейших моделей, чтобы показать, что программы инвестиций, рекомендованные Мировым банком на заре его существования, не дадут желаемого результата. То же самое удалось доказать и в отношении некоторых программ антициклического характера, предлагавшихся во время Великой депрессии [19, с. 38]. Современные экономические модели становятся все более сложными, в них включается все больше переменных, их становится все труднее исследовать, получающиеся выводы становятся все более неоднозначными. Часто модель, обладающая, как казалось, «высокой корреляцией» начинает «разваливаться». Чувствительная зависимость от начальных условий говорит о невозможности долгосрочного прогноза ценовых колебаний, так как необходимая для предсказания точность задания начальных условий недостижима. Кроме того, любое «возмущение» переводит систему на соседнюю фазовую кривую, которая в дальнейшем экспоненциально расходится с исходной. Тем не менее, имеет смысл изучать предложенные выше модели колебаний цены, так как они приводят к лучшему пониманию сути происходящих на рынке процессов.

Замещение линейных моделей, удобных для неискушенного математикой исследователя, более сложными нелинейными детерминированными моделями, позволяет по-новому взглянуть на природу исследуемых процессов. Например, из-за хаотических колебаний цены около состояния равновесия мы можем говорить о некоей вероятности распределения ее значения, но смысл этой вероятности существенно отличается от вероятности, возникающей в результате представлений о случайных актах обмена товаров на рынке. Понимание этих нюансов имеет не только академический, но и прикладной характер.

Так, проведенные в работе исследования подтверждают наличие маломерной хаотической составляющей в анализируемых временных рядах и является сильным обоснованием применения методов нелинейной динамики и теории хаоса к исследованию данных финансовых инструментов. А применение метода локальной ап-

проксимации для прогнозирования динамики цен золота на рынках Польши, России и Украины, показывает, что их поведение хорошо согласуется с гипотезой фрактального рынка и действительно неплохо предсказывается с помощью ЛА.

Таким образом, отражая современные тенденции в финансовом мире, междисциплинарный подход в экономике и финансах является прорывом в применении различных методов теории сложности, таких, как методы нелинейной и хаотической динамики, мультифрактальный анализ и нейротехнологии. Интегральной задачей этого синтеза является дизайн, развитие и построение адаптивных интеллектуальных систем, помогающих практикам выигрывать в жесткой конкурентной среде, ставшей реальностью и в транспортном секторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кокишаров А. Атлант упал // Эксперт. – № 35. – 2009.
2. Мандельброт Б., Хадсон Р., (Не)послушные рынки. Фрактальная революция в финансах. – Изд-во «Вильямс», 2006.
3. Петерс Е.Е. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. – Москва. «Интернет-Трейдинг», 2004. – 286 с.
4. Loskutov A. Chaos and control in dynamical Systems. – Computational Mathematics and Modeling. – 2001. – v.12. – No4. – P. 314–352.
5. Abarbanel H.D.I., Brown R., Sidorowich J.J., Tsimring L.S. The analysis of observed chaotic data in physical systems. – Rev. Mod. Phys., 65 (1993), 1331-1391.
6. Ефремов Т.М., Куликов М.А., Резвова И.Р. Участие нелинейных динамических процессов в формировании высокочастотной ЭЭГ кролика // Журнал высшей нервной деятельности, 1991. – Т. 41. – С. 998-1006.
7. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. – Lect. Notes in Math., Berlin: Springer, 1981, v.898, 336-381.
8. Льюис Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – Москва: Физматлит, 1991.
9. Farmer J. D., Sidorowich J. J. Predicting Chaotic Time Series. – Phys. Rev. Lett., 59(1987), 845-848.
10. Casdagli M. "Nonlinear prediction of chaotic time series", Physica D, 1989, Vol. 35, P.335-356.
11. Петерс Е. Хаос и порядок на рынках капитала. – Москва: «Мир», 2000. – 276 с.
12. Chen P. A Random-Walk or Color-Chaos on the Stock Market? - Time-Frequency Analysis of S&P Indexes //Ilya Prigogine Center for Studies in Statistical Mechanics & Complex Systems The University of Texas, Austin, Texas 78712 Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 1(2), 87-103 (1996)
13. Grassberger P., Procaccia I. Measuring the strangeness of strange attractors// Physica D. – 1983. V. 9. – P. 189-208.
14. Fraser A.M., Swinney H.L. Independent coordinates for strange attractors from mutual information // Phys. Rev. A. – 1986. – V. 33. – P. 1131-1140.
15. Smith L.A. Maintenance of uncertainty // Proc. Int. School of Physics "Enrico Fermi", Course CXXXIII. Italian Physical Society, Bologna, 1997. P. 177–246.
16. Mantegna R. N., Stanley H. E. An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance // Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
17. Сорнетте Дидье Как предсказывать крахи финансовых рынков // Интернет-трейдинг. – Москва, 2003.
18. Stanley H.E., Amaral L.A.N., Canningb D., Gopikrishnana P., Leea Y., Liua Y. Econophysics: Can physicists contribute to the science of economics? // Physica A 269 (1999) P.156–169.
19. Нобелевские лауреаты по экономике: взгляд из России. – СПб: Изд-во «Гуманистика», 2003.

УДК 514.18

Віктор Тюнін

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЇ ВЗАЄМНОГО ПЕРЕТИНУ
КРИВИХ ПОВЕРХОНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ТА ПОБУДОВИ
ФІГУР ПЕРЕРІЗУ ПРОЕЦІЮЮЧИМИ ПЛОЩИНАМИ
БЕЗПОСЕРЕДНЬО В АКСОНОМЕТРИЧНИХ ПРОЕКЦІЯХ**

На конкретних прикладах представляються особливості використання методики побудови лінії взаємного перетину двох кривих поверхонь другого порядку, а також особливості застосування методики побудови фігур перерізу при перетині кривих поверхонь другого порядку проєціюючими площинами безпосередньо в аксонометричних ізометричних проєкціях в обох випадках.

На конкретных примерах представляются особенности использования методики построения линии взаимного пересечения двух кривых поверхностей второго порядка, а также особенности применения методики построения фигур сечения при пересечении кривых поверхностей второго порядка проецирующими плоскостями непосредственно в аксонометрических изометрических проекциях в обоих случаях.

With specific examples presented especially the use of methods for constructing lines of mutual intersection of two curved surfaces of the second order, as well as features of the application procedure for constructing the figures section at the intersection of curved surfaces of the second order projecting planes directly in isometric axonometric projections in both cases.

Ключові слова: криві поверхні другого порядку, лінії взаємного перетину двох кривих поверхонь, фігури перерізу, аксонометричні ізометричні проєкції, січні площини паралелізму, проєціюючі площини.

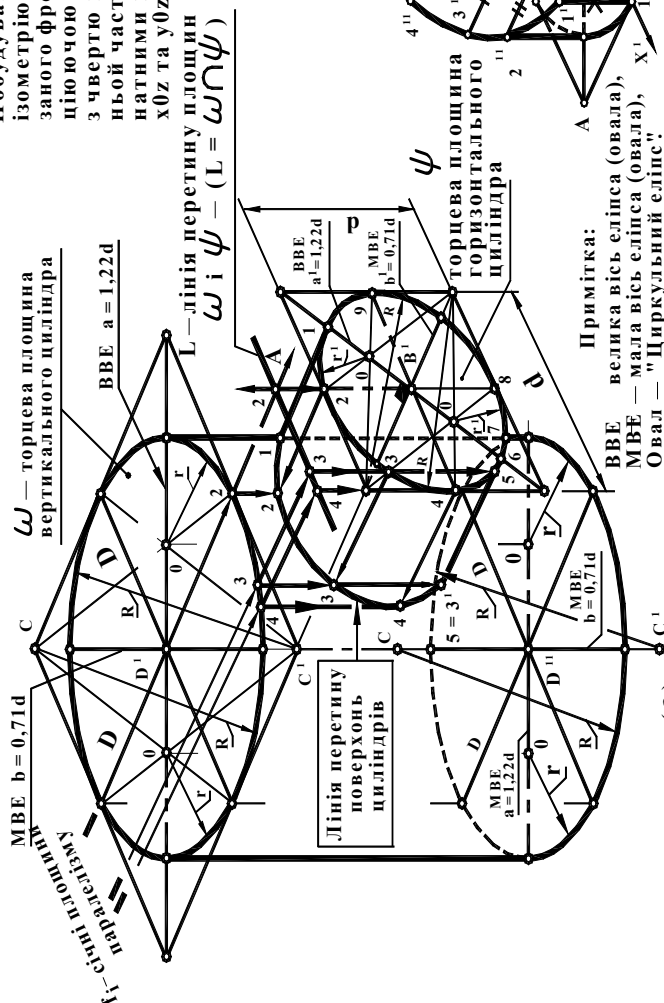
На **рис. 1 (вправа 1)** потрібно побудувати лінію перетину двох циліндрів, осі яких перетинаються безпосередньо в аксонометричній ізометричній проєкції.

Спочатку креслять торцеві кришки – верхню вертикального циліндра та торцеву горизонтального. Обидва циліндри правильні, тому у просторі їх торцеві поверхні є колами. У прямокутній ізометрії вони зображуються еліпсами. Еліпс великого циліндра будується у площині xOy , а горизонтального – у xOz . Побудову еліпсів починають з побудови осей симетрії циліндрів у ізометрії. Вісь симетрії великого циліндра співпадає з віссю O^1z^1 , горизонтального – з O^1y^1 . Осі між собою розташовані під кутом у 120° .

У точках D^1 та B^1 за допомогою циркуля виконують зарубки по осях Ox , Oy на верхній кришці та Ox , Oz – на горизонтальній кришці дугами радіусів $D/2, d/2$.

© Тюнін В. Д., 2011

Вправа 1 – Побудувати лінію перетину поверхонь двох циліндрів, осі яких перетинаються безпосередньо в аксонометричній проекції (прямокутна ізометрія).



Вправа 2
Побудувати прямокутну ізометрію циліндра, зрізаного фронтальною площиною, що проходить через четверть радіуса передньої частини координатними площинами xOz та yOz .

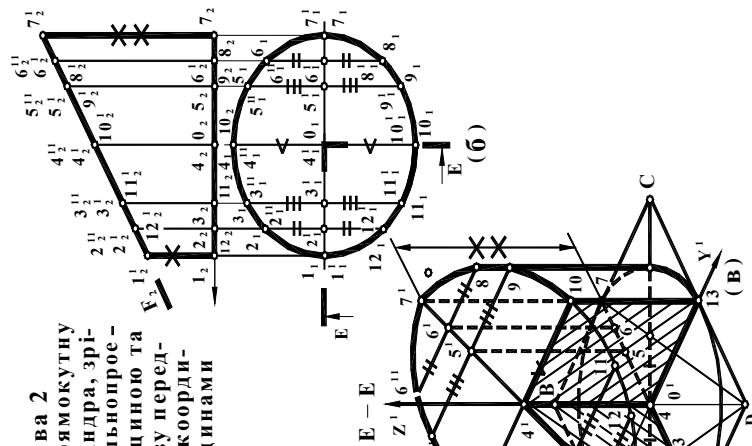


Рисунок 1. Побудова ліній перетину та фігур перерізу в аксонометрії

Розроб. доц. каф. ЗМ Тютюн В.Д., 2011 р.

Через кінці діаметрів D та d проводять лінії, паралельні осям до взаємного їх перетину і побудови двох ромбів. Великого – на верхній кришці великого циліндра і малого – на горизонтальному циліндрі. Вершини тупих кутів є центрами дуг овалів великих радіусів, а точки перетину ліній, що з'єднують вказані вершини з протилежними серединами сторін ромбів – центрами дуг малого радіуса. Циркулем креслять відповідні великі та малі дуги, які проходять від середини до середини сторін ромбів, що створюють тупі та гострі кути. Далі будують лінію L перетину торцевих площин циліндрів ω та ψ , яку проводять через точку A при перетині осі Oz , що проходить через точку B^1 , з віссю Oy , яка проходить через точку D^1 і проводять лінію, паралельну осі Ox . Лінія L є ключем для подальшого розв'язування вправи за допомогою січних площин паралелізму f_i . Ці площини є горизонтально-проєціюючими і паралельними осі Oy та Oz і розсікають циліндри. Лінії перетину верхньої кришки цими площинами здійснюють поворот вниз по поверхні еліпса та проходить до лінії L . А вертикальні лінії, що проходять від L , роблять поворот на лінії малого еліпса і по поверхні малого циліндра повертаються назустріч з вертикальними лініями, що на великому циліндрі. Їх перетин і створює точки, що належать шуканій лінії $1, 2, 3, 4, 3^1, 5^1$ перетину поверхонь циліндрів.

На **рис. 1 вправа 2** поверхню прямого циліндра перетинає фронтально-проєціююча площина F_2 , що збігається з лінією $1_2^1-7_2^1$. Треба побудувати прямокутну ізометрію циліндра, зрізаного цією площиною та зробити чверть вирізу у передній частині координатними площинами xOz та yOz .

Після побудови ромба та вписаного в нього еліпса основи циліндра будують нахильну вісь симетрії еліпса фігури перетину циліндра проєціюючою площиною, для чого від точок 1 та 7 відкладають вертикальні відрізки $1-1^1$ та $7-7^1$, що розташовані на осі Ox 1^1-7^1 – велика вісь, $4^{11}-10$ – мала вісь еліпса. На лінії $1-7$ основи відкладають точки $1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$, взяті з діаметра 1_17_1 . Вертикальні лінії проведені з цих точок будують на великій осі точки $1^1, 2^1, 3^1, 4^1, 5^1, 6^1, 7^1$. Через вказані точки паралельно осі Oy відкладають відрізки $2^{11}-12; 3^{11}-11; 4^{11}-10; 5^{11}-9; 6^{11}-8$. Після з'єднання за допомогою лекала кінців цих відрізків з урахуванням точок 1^1 та 7^1 побудова еліпса є закінченою. Координатні площини xOz та yOz відсікають чверть передньої частини циліндра, починаючи з кута $1, O^1, 13$, потім – три вертикальні відрізки $1-1^1, 4-4^1$, і $13-10$ та лінії в площині нахилоного еліпса 1^1-4^1 та 4^1-13 . Площини фігур перерізу штрихують однаковою розрядкою паралельно діагоналям одиничних трикутників, що будують на осях x^10^1 та y^10^1 , за допомогою кола вільного радіусу з центром у точці 0^1 .

ЛІТЕРАТУРА

1. Бубенников А. В. Начертательная геометрия. – 3-е изд. – М.: Высш. шк., 1985. – 288 с.
2. Хаскин А. М. Черчение. Гл. проекционное черчение. – 4-е изд. перераб. и доп. – Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 447 с.
3. Михайленко В. Є., Євстіфеев М. Ф., Ковальов С. М., Кащенко О. В. Нарисна геометрія. – К.: Вища шк., 1993. – 271 с.
4. Тюнін В. Д. Нарисна геометрія та інженерна графіка: Конспект лекцій з нарисної геометрії. – К. ДЕТУТ, 2009. – 221 с.
5. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей. ГОСТ 2.301-68...ГОСТ 2.320-82. – М.: Изд. Стандартов, 1991. – 239 с.

УДК 656.073.7

Владислав Яковенко

АЛГОРИТМ РОЗПОДІЛУ КЛІЄНТІВ ДИСТРИБУТОРА ПО РАЙОНАХ МІСТА

На основі методологічних надбань науки та практичних спостережень запропоновано алгоритм для формування маршрутів розподілом клієнтів по районах.

На основании методологических достижений науки и практических наблюдений предложен алгоритм для формирования маршрутов распределением клиентов по районам.

On the basis of methodological achievements of a science and practical supervision, the algorithm for formation of routes by distribution of clients on areas is offered.

Ключові слова: дистрибуція, алгоритм, маршрутизація, транспортна мережа, граф, вектор.

Вважаючи на обсяг товаропотоку міста з кількістю жителів мільйон і більше, біля задачі маршрутизації формується нова супутня задача – розподіл транспортної мережі на райони.

Проблеми пошуку оптимального маршруту вивченні такими науковцями: Громовим В.В., Чудновським О.Д., Панченкою Т.О., Махуренком Г.С., Громовим Е.П., Тарасовим І.П., Іваненком Д.А., Воевудським Д.П.

Постановка змістовної частини відображається у наступному: транспортну мережу з означеними точками відправки та призначення товару із заданими маршрутами поділити на райони оптимальним чином. Критерієм ефективності вважатимемо такий поділ, маршрути якого матимуть найбільшу економічність, потребуючи менших затрат із усіх оптимальних маршрутів побудованих з усіма можливими поділами. Окреслимо, що усі сформовані маршрути формуються однаковим алгоритмом.

До виконання поділу маршрутів по районах існують декілька підходів. Перший з них – формування районів, використовуючи як кордон району залізничні колії, річки, озера, тобто те, через що не прокладені дороги. Перевагою цього методу є одноразовість складення районів обслуговування міста. Недоліком виступає відсутність врахування взаємної дислокації пунктів відправлення та доставки, відсутні критерії оцінки ефективності такого поділу. Методика не дає «якісного» результату.

© Яковенко В. С., 2011

Другий метод – «ручний» – використання евристичних оцінок. Цей підхід полягає у наявності експерта, якість поділу визначається повнотою та достовірністю первинних даних та кваліфікацією експерта. Недоліком є відсутність гарантованої оптимальності рішення, тому, що для цього потрібне створення великої бази знань та програмної реалізації.

Третій метод – формування району обслуговування при плануванні маршруту доставки та уточнення при зміні точок обслуговування. Цей метод доволі точний тому, що поділ робиться безпосередньо при формуванні маршруту, однак постає питання економічності отриманих маршрутів. Ще один недолік методу – відсутнє зменшення розмірності задачі – основної мети створення районів.

Наступний алгоритм демонструє легкість реалізації на комп'ютері та можливість використання для великої кількості точок доставки. Наведемо опис алгоритму.

1. Транспортну мережу представимо у виді графа: вершини – точки доставки, дуги – шляхи між ними. Кожна вершина нумерується та кожній дузі надається довжина. Виконується перетворення цих даних у матрицю $A = \{a_{ij}\}$, де a_{ij} – довжина дуги із пункту i до пункту j . Якщо вершини i та j не інцедентні між собою, будемо вважати, що a_{ij} дорівнює значенню, яке набагато перевищує довжину наданих дуг. Діагональні елементи матриці приймемо за належне, що вони дорівнюють великому числу, щоб запобігти зациклюванню алгоритму.

2. Обчислюється вектор оцінок середньої довжини до вершин $\tilde{a}$. Елементи визначаються з формули

$$\tilde{a}_j = \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij}}{N} \quad j = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Число $\tilde{a}_j$ представляє собою середнє арифметичне довжин від вершин графа до вершин j . Найменшими є $\tilde{a}_j$ оцінки для вершин, котрі безпосередньо досягаємо з найбільшої кількості вершин, причому довжини поєднуючи їхні дуги, будуть мінімальні. Найбільшим оцінкам $\tilde{a}_j$ відповідатимуть вершини, інцедентні невеликій кількості дуг.

3. На підставі матриці A формується приведена матриця $A'' = \{a''_{ij}\}$. Приведення матриці A відбувається у два етапи:

$$a'_{ij} = a_{ij} - \min_j a_{ij}, i = \overline{1, N}; \quad (2)$$

$$a''_{ij} = a'_{ij} - \min_j a'_{ij}, i = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Використані формули використовуються у методі «гілок та меж» рішення задачі комівояжера.

4. Поділ транспортної мережі на райони рівнозначно поділу пунктів відправлення та доставки на підмножини. Для отримання цих підмножин поділимо множину вершин графа, котрий відображає транспортну мережу на групи. Процес формування груп є циклічним. У даному блоці починається зовнішній цикл. Кількість районів задано, нехай буде рівним R . Виконання циклу завершується, коли отримано R груп.

5. Формування групи починається з вибору першого елемента j_0 , для которого виконується умова

$$\tilde{a}_{j_0} = \min_{j=1, N} \tilde{a}_j. \quad (4)$$

Після чого значення оцінки $\tilde{a}_{j_0}$ дорівнюється до нуля.

Формування групи зводиться до мінімуму порядку рядків та стовпчиків матриці A'' та, відповідно, номерів вершин таким чином, що до першої групи відносяться перші N/R вершин, до другої – вершини, номери яких починаються з $N/R+1$ та закінчуються номером $2N/R$ і т.д. На цьому етапі вершина j_0 зміщується у списку вершин на перше місце у групі.

6. Початок внутрішнього циклу формування групи. Так кількість вершин графа та кількість отримуваних груп задано, наперед відома кількість елементів у групі. Умовою закінчення циклу є наявність в отриманій групі необхідної кількості вершин.

7. Виконується відбір вершини та приєднання її до групи. Нехай номером першої вершини у поточній групі буде j_1 , а номером останньої приєднаної до поточної групи вершини – j_2 . Для приєднання до групи буде обрана вершина j_0 , для котрої виконується умова:

$$a''_{ij_0} = \min \{a_1, a_2\} \quad (5)$$

$$\text{де } a_1 = \min_{j_2 < j \leq N} a''_{ij}, \quad j_1 \leq i \leq j_2, \quad (6)$$

$$a_2 = \min_{j_2 < i \leq N} a''_{ij}, \quad j_1 \leq j \leq j_2. \quad (7)$$

Вершина, котра обрана раніше наведеним методом, приєднується до поточної групи. При цьому її оцінка $\tilde{a}_{j_0}$ дорівнює нулю.

8. Завершується внутрішній цикл.

9. Завершується зовнішній цикл.

10. Виводиться інформація про те, які вершини графу слід поєднати у групи. За заданою нумерацією на графі визначаються пункти первинної транспортної мережі. Отриманим групам вершин графа зіставляють райони транспортної мережі.

Цей алгоритм досягає квазіоптимального поділу транспортної мережі на райони. Слід розширити цей алгоритм з точки зору не тільки визначення кількості районів, але й районів із заданою мінімальною сумарною довжиною маршруту чи обсягу

вантажу. Це надасть більш точні результати, однак ускладнить виконання алгоритму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Головатюк М.П., Дацко М.В. Аналіз алгоритмів пошуку множини допустимих маршрутів руху транспортних засобів // Економіка України в умовах посилення глобалізаційних процесів: виклики і перспективи: матер. міжнар. студентсько-аспірантської наук. конф. – Львів, 15-16 травня 2009 р.
2. Головатюк М.П., Романич І.Б. Автоматизація пошуку усіх можливих маршрутів руху спеціалізованих транспортних засобів із n зупинками // Современные проблемы и пути их решения в науке, производстве и образовании: матер. міжнар. наук.-практ. Интернет-конф. – Одеса, 2006. – С. 34-36.
3. Доналд Дж. Бауэрсокс, Дейвид Дж. Клосс. Логистика: Интегрированная цепь поставок. – 2-е изд.: пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
4. Кристофидес Н. Теория графов: алгоритмический подход / Н. Кристофидес: пер. Э.В. Вершкова, И.В. Коновальцева / Под ред. Г.П. Гаврилова. – М.: Изд-во «Мир», 1978. – 432 с.

УДК

Владимир Зайцев

**ПРОВОДИМАЯ РАБОТА ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ. ФАКТИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ, БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И
НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ**

Предлагается разработка действенной программы энергосбережения на железных дорогах Украины, на основе мониторинга и реструктуризации отдельных производств. Цель – перенаправление средств на обновление основных фондов.

Пропонується розробка дієвої програми енергозбереження на залізницях України, на основі моніторингу та реструктуризації окремих виробництв. Ціль – перенаправлення коштів на відновлення основних фондів.

The purpose is to develop an effective energy saving program for Ukrainian Railways, based on monitoring the activities and restructuring specific facilities. The goal is to redirect financing towards capital renewals.

Ключевые слова: энергосбережение, топливно-энергетические ресурсы, локомотив, склад топлива, модернизация, маркетинг.

По имеющимся данным в Украине на \$ 1 ВВП энергоресурсов тратится в 2,6 раза больше, чем в среднем мире. Это может говорить лишь о неэффективности проводимой работы в этом направлении. Украинские железные дороги являются крупнейшими потребителями энергоресурсов, которые неуклонно увеличиваются в цене. Себестоимость железнодорожных перевозок растет. Если увеличиваются тарифы, грузы уходят на другие виды транспорта, если не увеличиваются – наступает убыточность перевозок. А это заработная плата, обновление инфраструктуры, подвижного состава, содержание контингента и т.д. и т.п. Поэтому нужно научиться быть рачительными хозяевами, увидеть возможность работать более эффективно в наступившем году по отношению к предыдущему во всех направлениях, но особенно нужно учиться рационально использовать энергоресурсы. В 2010 году украинские железные дороги потребили 5 млрд 756 млн 200 тыс кВт/ч электроэнергии и 400 тыс тонн дизельного топлива, а всего затрачено на приобретение всех видов энергоресурсов с учетом природного газа, мазута, угля, бензина – сумма более 7,5 млрд грн в ценах 2010 года. Если в этой ситуации, опираясь на маркетинг, составить действительно живую программу действий с постановкой задачи на 5 % сократить потребление энергоресурсов, то результатом станет сокращение расходов на 375 млн грн/год. Несмотря на это, программа энергосбережения на украинских железных дорогах формируется по

© Зайцев В. А., 2011

остаточному принципу. То есть изначально, специально для сокращения потребления энергоресурсов работы в план капитальных вложений практически не вносятся, а система контроля за энергопотреблением работает абсолютно неэффективно, и единого органа горизонтально и вертикально рассматривающего этот процесс не существует. Установки по производству альтернативных видов энергии планово не внедряются. Несмотря на то, что к их неоспоримым преимуществам относятся:

- Снижение затрат на отопление, нагрев воды для санитарных и технологических нужд.

- В определенных случаях можно полностью отказаться от газа.
- Независимость от цен на энергоносители.
- Повышение автономности предприятия.
- Минимизация вреда окружающей среде.

Нужны принципиально новые подходы к решению вопросов снижения затрат на топливно-энергетические ресурсы. Прежде всего, это создание собственной генерации электрической и тепловой энергии, замещение дизельного топлива альтернативными видами ресурсов. Отдельным пунктом программы должны быть: внедрение современных ресурсосберегающих технологий, увеличение межремонтных пробегов подвижного состава с применением современного диагностического оборудования. В самостоятельный проект должна быть выделена программа внедрения светодиодной техники на железнодорожном транспорте Украины. По предварительным подсчетам применение светодиодных источников света позволит сэкономить порядка 70 млн грн/год. На тягу поездов приходится основная доля расхода топливно-энергетических ресурсов железных дорог – 81 % потребления электроэнергии и 88 % потребления дизельного топлива. Вот почему с учетом постоянного роста цен на энергоносители экономия дизельного топлива приобретает приоритетное значение. Необходимо внедрять принципиально новую систему прогрева дизелей тепловоза, исключаящую их работу на холостом ходу (в добавок к повышенному расходу топлива происходит разжижение и бракуется масло). Такие установки созданы в России, и их испытание показало реальную возможность экономии до 20 % топлива в зимнее время и до 10-12% в остальное время года. Необходимо полностью менять подходы к экипировке локомотивов дизельным топливом, учету его поступления, хранению и выдаче на складах топлива. Рациональному расходованию и контролю его в эксплуатации. К топливному баку никто не должен иметь доступ. Свести в единый комплекс бортовые и стационарные системы. Такой комплексный подход обеспечит сквозной контроль и учет расхода энергоресурсов через маршрут машиниста и утвержденные отчетные формы, что позволит полностью автоматизировать систему нормирования дизельного топлива, ликвидировать технологические потери и исключить несанкционированный отпуск нефтепродуктов. Назрела необходимость проводить активные научные исследования с последующим выходом на железные дороги. Вот несколько примеров работы по энергетическому менеджменту. Опыт европейских стран (Англии, Германии, Австрии) показывает, что после внедрения системы энергоменеджмента на энергоэффективных объектах, энергопотребление снижается не менее, чем на 5 %. На Экспериментальном кольце ВНИИЖТ, принятом в качестве модели железнодорожного узла, информация о потреблении ТЭР анализировалась и предоставлялась в виде готовых рекомендаций. Показано, что за счет энергоменеджмента можно снизить

энергопотребление до 20 % не ухудшая показателей работы. Воистину, что микробы появляются тогда, когда появляется микроскоп! К приоритетным направлениям внутри программы можно также отнести: различного рода модификаторы, с ожидаемой экономией до 5%; автомашинист – 1,8 %; повсеместная рекуперация; качественное использование тягового подвижного состава; увеличение КПД стационарной теплоэнергетики. Должна быть поставлена задача о снижении энергоемкости перевозочного процесса на ближайшее десятилетие не менее 20-25 %.

Недостатки существующей политики энергосбережения на железных дорогах Украины

Отдельным пунктом программы энергосбережения должна стать проблема совершенствования мастерства вождения поездов машинистами, как в электротяге, так и в теплотяге. Необходимо отшлифовать и довести до автоматизма навыки, позволяющие рационально водить поезда различной массы и длины на соответствующих участках. Машинист не должен «набивать руку», получая практические навыки непосредственно ведя поезд. Все машинисты и вновь назначенные и подготавливаемые к самостоятельной работе и имеющие пережог топлива и электроэнергии должны проходить обучение на тренажере. Сегодня таких тренажеров, которые бы удовлетворяли современным требованиям, полномерной подготовки машинистов и помощников машинистов нет. Их необходимо создать в соответствии с техническим заданием главного управления локомотивного хозяйства. Дальше свое слово должна сказать наука. И в нашем университете такие наработки есть. Мы понимали важность проблемы и нашли алгоритм ее решения. Обучающие тренажеры должны находиться в каждом локомотивном депо, быть однотипными, разносерийными и отвечать вышеупомянутым единым требованиям главка.

Устаревший парк локомотивов, электро и дизель-поездов (85-90 %), потребляющий дизельного топлива и электроэнергии в 1,4-1,5 раз больше, чем его современные собратья, способствует тому, что большая часть выручки идет не на техническое перевооружение, а на оплату импортных энергоресурсов (Украина производит приблизительно 50 % энергоресурсов, необходимых промышленности). Недоиспользование мощности локомотивов в процессе перевозок и маневрово-хозяйственной работы ведет к увеличению удельных расходов топлива. 1400 маневровых тепловозов мощностью 1300 лошадиных сил каждый используются в большинстве своем абсолютно неэффективно. Но других тепловозов нет, хотя опытный образец существует. Раз уж сложилась тенденция необходимости использования устаревшего локомотивного парка, то необходима его ускоренная и плановая модернизация энергосберегающими системами с обязательным их сервисным обслуживанием. Но, к сожалению, выражение «сервисное обслуживание» на железнодорожном транспорте Украины не выговаривается. По этой причине даже если какая-то технология внедрена, в скором времени перестает работать. Деньги затратили, а отдачи нет. Наверное, тогда лучше не внедрять – дешевле обойдется.

Топливоно-складское хозяйство

Топливные склады – это отдельная тема. Целый комплекс вопросов, которые давно назрели. Чем мы обладаем?

124 склада топлива, на которых хранятся ГСМ. А именно: дизельное топливо, уголь, дрова, различные масла, песок, на которых расположено 136 пунктов

экипировки тепловозов и дизель-поездов. Суммарная мощность резервуаров – 331151,3 м³, а суммарная длина трубопроводов – 78100 м или 78,1 км.

Все это нужно содержать, испытывать, менять, модернизировать, капитально ремонтировать, осуществлять текущее содержание, содержать обслуживающий персонал и вспомогательные механизмы, эстакады, обустройства, грузоподъемные краны, автотракторную технику и т.д. Все это хозяйство сегодня также безнадежно устарело. Достаточно сказать, что все замеры дизельного топлива происходят мерной рейкой вручную, а выдаются ГСМ насосами и счетчиками с недопустимо низким классом точности. Современный склад топлива как минимум должен обладать следующими системами:

- Бесконтактным контролем поставляемого топлива без нарушения пломб на цистернах, пребывающих от поставщиков.
- Оперативный контроль параметров полученного дизельного топлива и дизельного топлива, хранящегося в емкостях.
- Автоматический отпуск топлива из резервуарного парка в соответствии с комплексной системой аутентификации машинистов и сотрудников, связанных с перемещением топлива.
- Формирование оперативной и аналитической отчетности относительно работы систем.
- Формирование первичной и служебной информации в центральный процессинговый центр.
- Осуществление постоянного автоматизированного видеонаблюдения за всеми обустройствами комплекса, где возможен слив топлива.
- Увеличение уровня точности приемки, хранения и отпуска ГСМ за счет применения ультразвуковых датчиков нового поколения и модернизированных топливно-отпускных колонок современными электронными системами.

В настоящее время может оказаться очень эффективной следующая структурная схема формирования энергосберегающей деятельности украинских железных дорог (рис. 1).

Должны быть созданы дорожные топливно-энергетические центры (ДТЭЦ). Одной из основных задач этих центров должен быть энергетический менеджмент. В этом направлении они должны действовать следующим образом (рис. 2):

В условиях резкого повышения цен на дизельное топливо и электроэнергию должна быть поставлена задача дополнительно снизить расходы на энергоресурсы. Это требует принятия определенных ужесточающих мер по выполнению ориентиров энергетической стратегии (которой пока нет на украинских железных дорогах) и прежде всего в эксплуатационной деятельности железных дорог. До 50 % снижения удельных расходов ТЭР в электротяге и 25 % в теплотяге зависят от выполнения показателей перевозочного процесса. Выжимая резервы экономии топлива только из локомотивов, мы все больше упираемся в то, что эксплуатационные показатели работы сети, влияющие на энергопотребление, имеют, мягко говоря, вялую динамику к улучшению. В лучшем случае об этом говорят, но практических сдвигов нет. Это касается обоснованности величин участковых скоростей, горячих простоев локомотивов, порожних пробегов, не

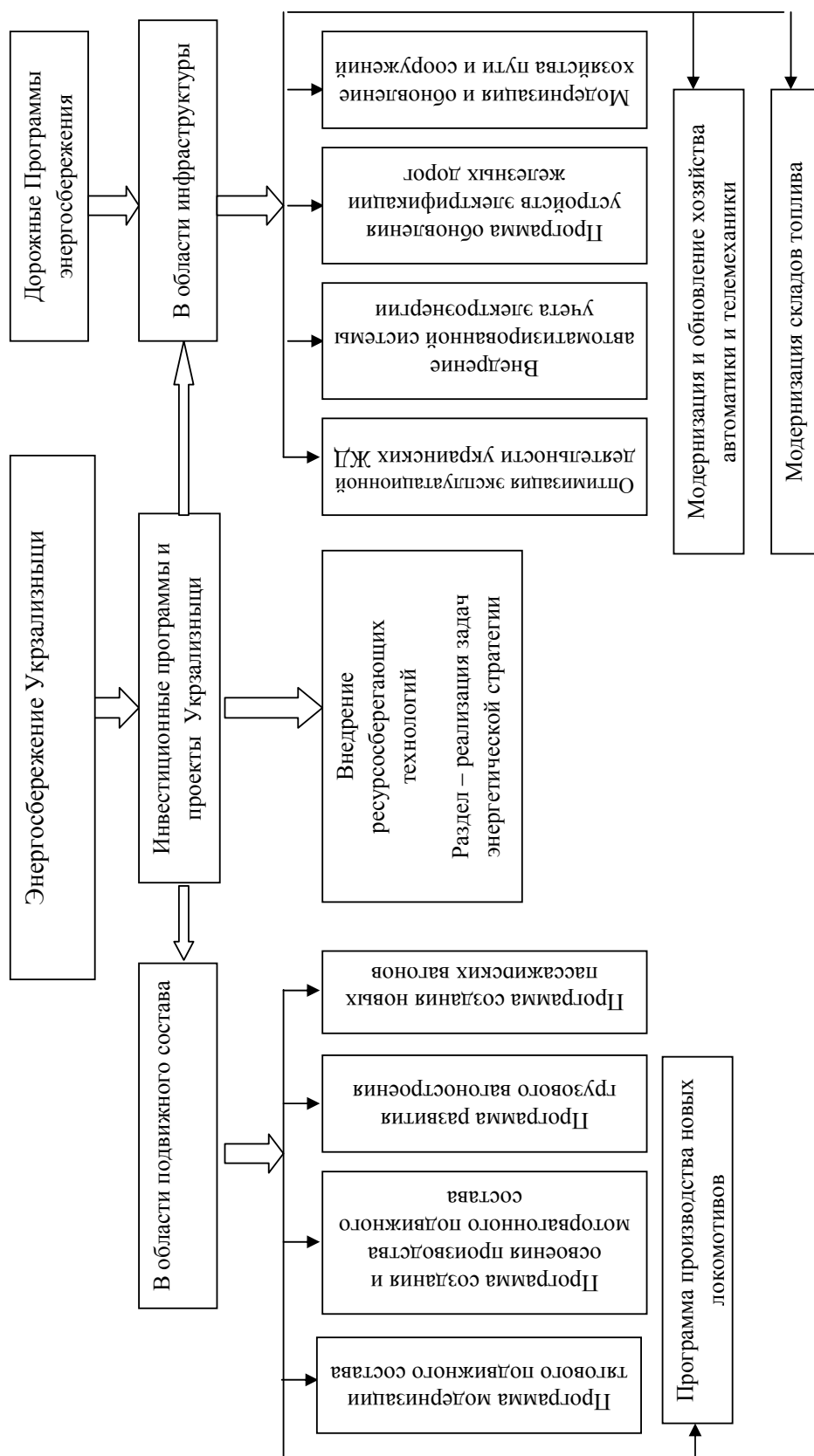


Рис. 1

остановок и т.п. Улучшением этих показателей и должны заниматься дорожные топливно-энергетические центры. Мы должны четко понимать, что эти показатели необходимо повсеместно улучшать. Для украинских железных дорог энергосбережение объективно является дополнительным источником топливно-энергетических ресурсов. По оценке ученых НАН Украины, в целом для страны 1 гривна вложений в энергосбережения соответствует 5-8 гривен при покупке ТЭР.



Рис. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Щидловский А. К. Энергоэффективность и восстанавливаемые источники энергии. – К.: Украинские энциклопедические знания, 2007. – 560 с.
2. Материалы научно-технического совета ОАО РЖД. Курс энергоэффективность.

УДК 004.052

Валерій Табаков
Тетяна Крижановська
Олег Дячук

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНОПРОЦЕСНОГО ЗАПУСКУ КЛІЄНТА ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ «СЛУЖБА ЗАЙНЯТОСТІ»

Сформульована задача забезпечення монопроцесного запуску клієнта Єдиної інформаційно-аналітичної системи «Служба зайнятості». Розроблений алгоритм і здійснена програмна реалізація даної задачі у вигляді служби фонових процесів операційної системи Windows. Зроблене тестування програмної реалізації служби забезпечення монопроцесного запуску клієнта Єдиної інформаційно-аналітичної системи «Служба зайнятості» на базі даних районного центру зайнятості.

Сформулирована задача обеспечения монопроцессного запуска клиента Единой информационно-аналитической системы «Служба занятости». Разработан алгоритм и осуществлена программная реализация данной задачи в виде службы фоновых процессов операционной системы Windows. Произведено тестирование программной реализации службы обеспечения монопроцессного запуска клиента Единой информационно-аналитической системы «Служба занятости» на базе данных районного центра занятости.

The ensuring monoprocess running of the client of the Unified Information Analytical System «Employment Service» problem is formulated. Algorithm is developed and software implementation of this task as a service from a background process of Windows is implemented. Produced by testing software implementation services to ensure monoprocess launch customer of United Information-Analytical System "Employment Service" on database of district employment center.

Ключові слова: монопроцесний запуск, служба фонових процесів, інформаційно-аналітична система.

Ефективність надання соціальних послуг безробітним і роботодавцям багато в чому визначається технологіями, що використовуються державною службою зайнятості. Про це, зокрема, свідчить шестирічний досвід застосування в Україні Єдиної технології обслуговування незайнятого населення (ЄТОНН). Її використання разом із Єдиною інформаційно-аналітичною системою «Служба

© Табаков В. З., Крижановська Т. В., Дячук О. П., 2011

зайнятості» (ЄІАС) в умовах державного соціального страхування на випадок безробіття дало змогу значно підвищити ефективність діяльності центрів зайнятості.

Аналіз найновіших публікацій. Науковцями всебічно досліджена проблематика технологій надання профорієнтаційних послуг, послуг з активної підтримки незайнятого населення, технологій надання послуг з пошуку підходящої роботи та персоналу, вплив зміни технологій обслуговування незайнятого населення на показники ефективності надання послуг Державною службою зайнятості України, характеристики ринку праці України та міграційні процеси.

У дослідженнях С. Бандура, Е. Лібанової, І. Петрової, В. Савченко, Л. Лісогор розглядаються окремі аспекти діяльності державної служби зайнятості у зв'язку з більш широкими проблемами державного регулювання ринку праці та зайнятості населення. Певні аспекти діяльності державної служби зайнятості аналізуються в працях В. Петюха, Л. Щетініної, Ю. Маршавіна, у кандидатських дисертаціях Т. Вонберг, О. Кравчук, О. Купець [1].

Але вітчизняними вченими поки що мало досліджена проблематика вдосконалення інформаційно-технологічної складової підвищення функціональної ефективності центрів зайнятості [2].

Постановка проблеми. Показники ефективності надання послуг Державною службою зайнятості України багато в чому залежать від швидкості та безпомилковості взаємодії спеціалістів базових центрів зайнятості з програмним забезпеченням ЄІАС Єдиної інформаційно-аналітичної системи «Служба зайнятості» (ЄІАС). Порядок взаємодії спеціаліста базового центру зайнятості з ЄІАС регламентується керівництвом користувача [3], яке містить докладні приписи дій за робочою станцією для розв'язання кожної з технологічних задач ЄІАС. Проте в даному керівництві не регламентовані дії спеціаліста за умов, коли ним на робочій станції здійснено запуск декількох клієнтів ЄІАС. У даному випадку дії спеціаліста служби зайнятості, який виконує операції, що регламентовані інструкцією користувача для розв'язання технологічної задачі без урахування можливості запуску декількох клієнтів ЄІАС на одній робочій станції, можуть привести до ситуації, коли всі приписи керівництва користувача будуть виконані, але технологічна задача не вирішена.

Наведемо приклад такої ситуації: спеціаліст служби зайнятості випадково здійснив запуск на робочій станції клієнта ЄІАС, що є дублікатом вже запущеного ним же на цій же робочій станції клієнта ЄІАС (рис. 1). У подальшому, виконуючи приписи керівництва користувача, спеціаліст вводить дані в вікні одного з запущених на робочій станції клієнтів ЄІАС, після чого ствердно відповідає на питання про збереження результатів вводу даних, який слідує після закриття тієї копії вікна клієнта ЄІАС, в якій ці дані не вводились.

У цій ситуації спеціаліст може вважати, що дані, відповідно до порядку встановленому керівництвом користувача, введені та збережені ним в базі даних ЄІАС, хоча в дійсності ці дані в базу даних ЄІАС не надійшли.

Аналогічні помилки при роботі за робочою станцією, на якій запущені декілька клієнтів ЄІАС, можуть бути допущені всіма спеціалістами базового центру зайнятості, хоча ними буде дотриманий порядок розв'язання технологічних задач, що відповідає приписам керівництва користувача. Ставити таку помилку, що виникає при розв'язанні технологічного завдання на робочій станції, на якій запущені кілька клієнтів ЄІАС, в провину спеціалісту служби зайнятості немає

підстав, оскільки формально такий спеціаліст дотримується порядку дій, встановленому інструкцією користувача.

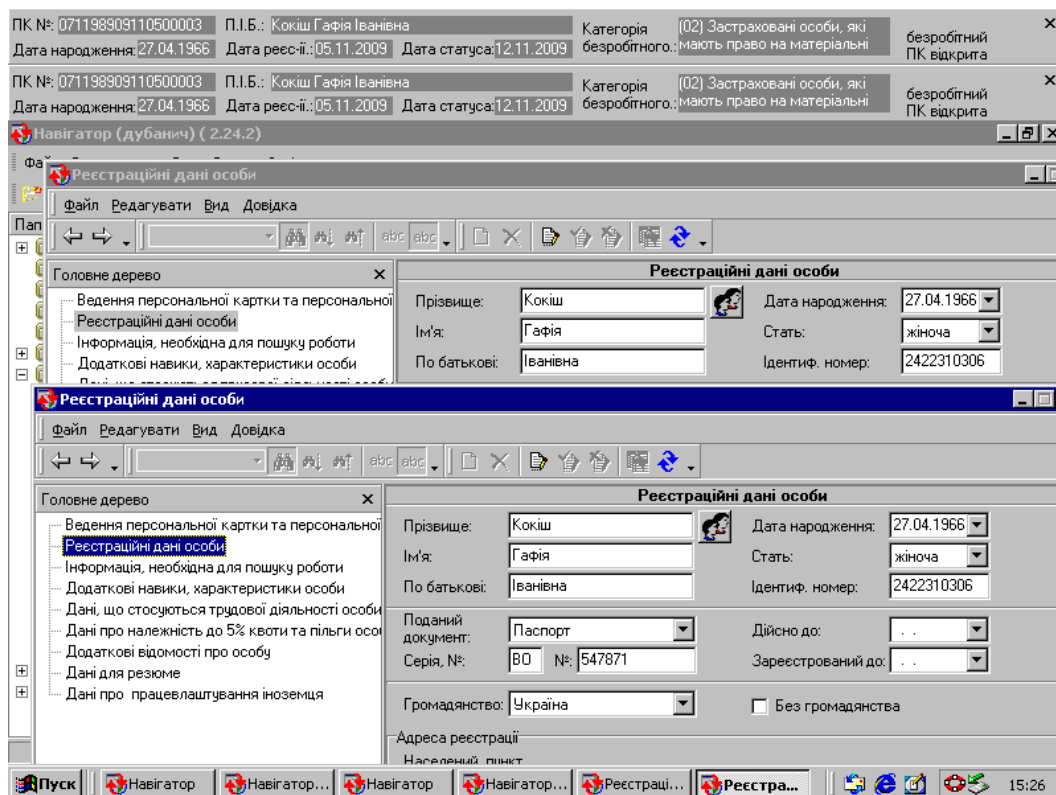


Рис. 1. Приклад поліпроцесного запуску клієнта ЄІАС на робочій станції

Таким чином, в даний час задача забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС «Служба зайнятості» на робочій станції є **актуальною**.

Метою даного дослідження є створення програмного забезпечення захисту ЄІАС від втрат інформації, що настають внаслідок запуску дубліката клієнта ЄІАС на робочій станції.

Матеріал та методика. Одним з можливих рішень цієї задачі є реалізація програмного модуля фонових процесів (служби) операційної системи Windows, яка забезпечує:

- а) моніторинг факту запуску клієнта ЄІАС «Служба зайнятості» на робочій станції;
- б) у разі спроби повторного запуску клієнта ЄІАС «Служба зайнятості» запобігання завантаження в оперативну пам'ять клієнта ЄІАС, що є дублікатом вже запущеного на даній робочій станції клієнта ЄІАС.

Таким чином, алгоритм програмного модуля служби забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС на робочій станції може бути представлений у вигляді такої блок-схеми (рис. 2):

для створення проекту служби забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС в середовищі Delphi виконаємо команди меню File → New → Other, оберемо тип додатку ServiceApplication (рис. 3) і клікнемо ОК.

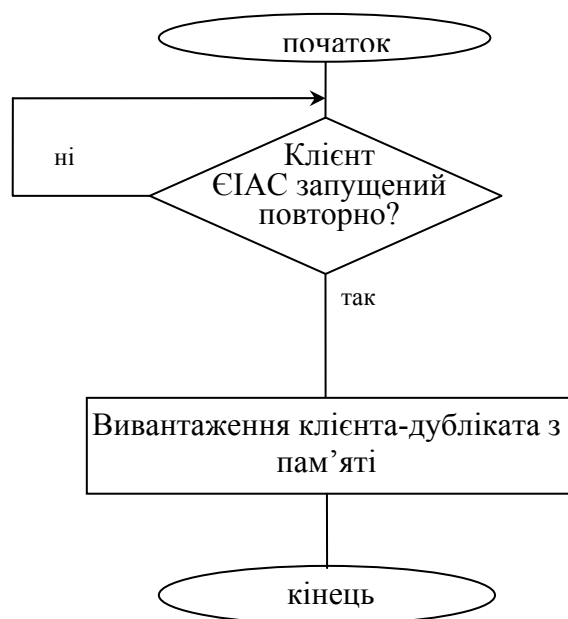


Рис. 2. Блок-схема алгоритму програмного модуля служби забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС

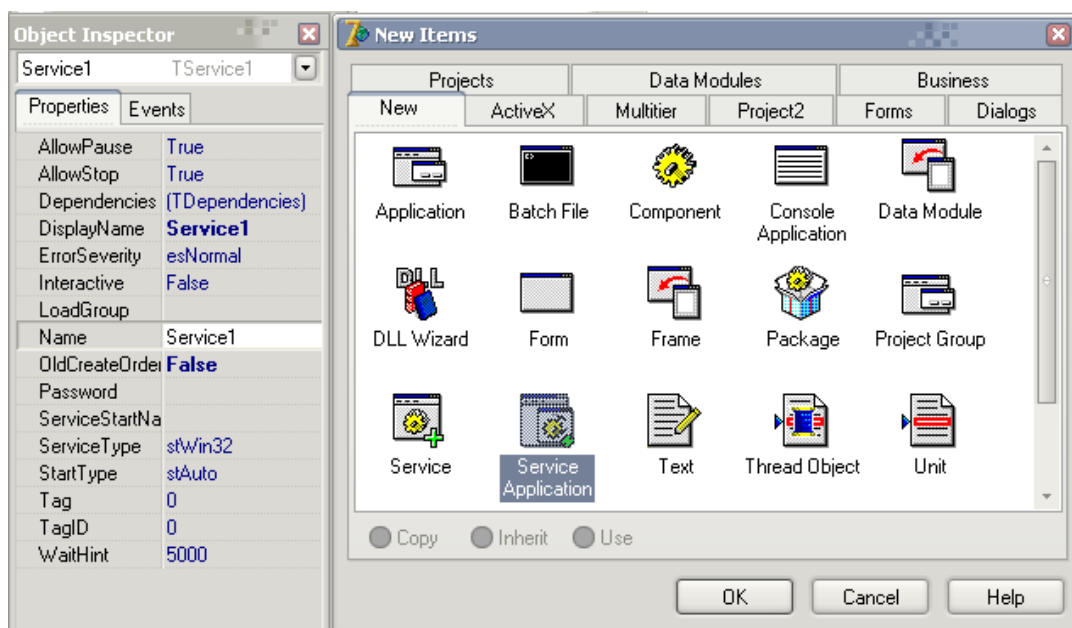


Рис. 3. Вибір типу та визначення властивостей додатку ServiceApplication

У вікні Object Inspector (рис. 3) визначимо властивості додатку: **Name** = Service1 – ім'я служби; **DisplayName** = Service1 – відображуване ім'я служби; **AllowPause**, **AllowStop** = True – можливість переведення служби в стан паузи та зупинки;

StartType = Auto – тип запуску служби за замовчуванням; **ServiceStartName** і **Password** – ім'я облікового запису та пароль для запуску служби залишимо порожніми, що означатиме, що служба запускатиметься від імені користувача з логіном, що визначений для облікового запису LocalSystem; **ErrorSeverity** = Normal – повідомляти користувача про збої служби та заносити інформацію про збої служби в журнал; **Interactive** = False – заборона взаємодії служби з інтерфейсом користувача.

Програмна реалізація служби Service1.pas містить в своєму складі процедури:

TService1.ServiceStart – процедура старту служби;

TService1.MIPauseClick – процедура паузи служби;

TService1.MICloseServiceClick – процедура зупинки служби;

TService1.TimerServiceTimer – процедура перевірки стану (*ContinuePending*, *Paused*, *PausePending*, *Running*, *StartPending*, *Stopped*, *StopPending*) служби; та функції:

IsNoteWindow – функція перевірки створення вікна входу для запуску клієнта ЄІАС (ім'я модуля входу користувача *pEnterSystem.exe*, ім'я вікна модуля *pEnterSystem.exe* – *EnterSystem*);

IsNoteProcess – функція перевірки наявності запущеного клієнта ЄІАС (ім'я модуля клієнта ЄІАС – *programlancher.exe*, ім'я вікна модуля клієнта ЄІАС – *Navigator*);

KillTask – функція закриття відкритого модуля-дубліката клієнта ЄІАС.

Результат. У результаті компіляції тексту модуля служби Service1.pas в середовищі Delphi 7 отримано завантажувальний модуль Project1.exe (рис. 4).

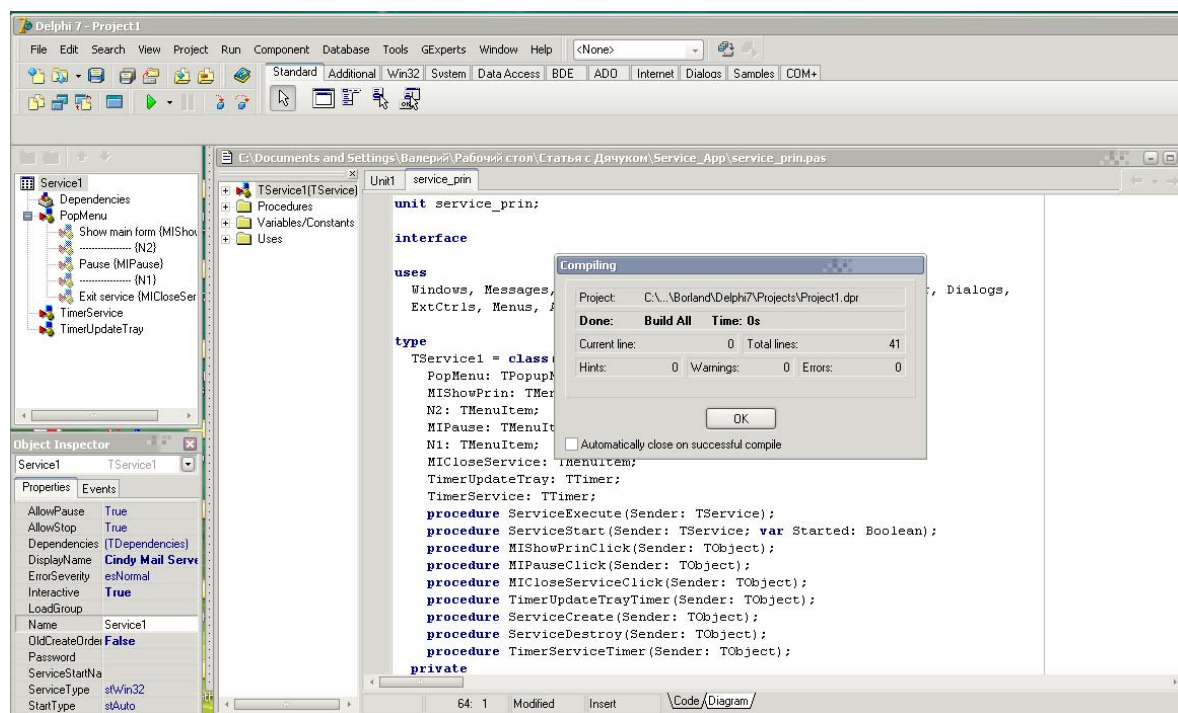


Рис. 4. Результат компіляції модуля Service1.pas в середовищі Delphi 7

Програмний модуль служби забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС Service1.pas був налагоджений та протестований на тестовій версії бази даних ЄІАС Рахівського РЦЗ 2.22.2 та на навчальній базі ЄІАС ІПК ДСЗУ.

Висновки:

1. Інтеграція служби забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС зі штатним програмним забезпеченням клієнтської частини ЄІАС виключає можливі втрати даних, що можуть виникнути внаслідок ненавмисного запуску спеціалістом служби зайнятості дубліката клієнта ЄІАС на робочій станції.

2. Служба забезпечення монопроцесного запуску клієнта ЄІАС може бути рекомендована до впровадження в базових центрах зайнятості для забезпечення захисту бази даних ЄІАС від можливих втрат інформації при введенні даних до бази ЄІАС з робочої станції.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Маршавін Ю.М.* Технологізація процесу надання соціальних послуг центрами зайнятості в умовах сучасного ринку праці // Ринок праці та зайнятість населення. – 2008. – № 2. – С. 23 – 27.
2. *Табаков В.З.* Оптимізаційний підхід до надання послуг з працевлаштування засобами ЄІАС/ Ринок праці та зайнятість населення. – 2008. – № 2. – С. 27 – 31.
3. Керівництво користувача. Група підсистем «Соціальні послуги та фонд» ЄІАС «Служба зайнятості». – К.: Софтлайн, 2007. – 323 с.

УДК 656.078.1

Василь Габа

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРКУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

З метою більш ефективного використання вантажних вагонів, оперативного управління та координації діяльності з перевезення вантажів доцільно створити в структурі Укрзалізниці Логістичний центр з правом юридичної особи з наданням відповідних функцій.

Для более эффективного использования грузовых вагонов, оперативного управления и координации деятельности по перевозке грузов целесообразно создать в структуре Укрзализныци Логистический центр с правом юридической особы и присвоением ему соответствующих функций.

To utilize freight cars at the most extent and to efficiently manage and coordinate an operation of transportation of goods it is reasonable to create a Logistic Center with the right of juridical entity within the structure of Ukrzaliznytsia delegating it with certain functions.

Ключові слова: вантажні перевезення, операторські компанії, оператори залізничних перевезень, природний монополіст, транспортні послуги, інвентарні напіввагони, вантажна компанія.

1. Постановка проблеми

Однією із найгостріших проблем у забезпеченні залізничних вантажних перевезень на нинішньому етапі є нестача вагонів та відсутність координації дії в ефективному використанні вагонів як у внутрішніх, так і міждержавних перевезеннях. Назріла необхідність створення єдиної системи управління вагонним парком, яка б працювала з вагонами Укрзалізниці та приватних операторів. У статті пропонується один із варіантів вирішення цієї проблеми.

2. Аналіз основних досліджень

Аналіз показників ефективності використання власного рухомого складу порівняно із загальним рухомим складом Укрзалізниці гірші, у них більш тривалий обіг вагонів, низька їх продуктивність. Частка навантаження у вагони операторських компаній в обсязі відправлення вантажів досягає 28 %. Але, на жаль, сьогодні залізниця разом з операторськими компаніями не в змозі задовольнити попит клієнтів залізничного транспорту по відвантаженню продукції. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є створення єдиної системи управління загальним вагонним парком залізниць та операторів залізничних перевезень. Тематиці удосконалення роботи парку залізниць, використання маркетингу, оптимізації технологічних процесів роботи вузлів, сортувальних та вантажних станцій

© Габа В. В., 2011

присвятили свої дослідження: Бudyко Т. В., Гончаров М. Е., Мироненко В. К., Мирошніченко В. М., Нагорний Є. В., Петриченко Н. В., Перепаденко Т. М., Топчієв М. П., Яновський П. О. та ін.

3. Викладення основного матеріалу

Стратегічним завданням залізничного транспорту є повне забезпечення перевезення пасажирів та вантажів в нинішніх та прогнозованих обсягах.

Безумовно, для цього необхідно удосконалити технологію перевезень, оновити матеріально-технічну базу, використовувати новітні науково-технічні розробки, поглиблювати взаємовідносини між залізничними адміністраціями країн СНД.

Необхідно враховувати і той фактор, що за останні роки залізничний транспорт втратив основні риси природного монополіста в перевезеннях і на теперішній час знаходиться в конкурентній боротьбі зі сторони перевізників різних форм власності.

Тому, вистояти в конкурентній боротьбі можливо тільки при забезпеченні якості перевезень, розширенні сфери транспортних послуг, виконанні встановлених термінів доставки вантажів, виділенні в необхідній кількості рухомого складу, спрощенні процедури оформлення перевізних документів та проведенні взаєморозрахунків.

З цих питань залізничники країн СНД та України неодноразово проводили семінар-наради, симпозіуми, засідання, круглі столи із залученням вантажовласників, експедиторів, операторів залізничних перевезень, і результатом цих зустрічей є значне покращення в організації перевезення вантажів.

Парк вантажних вагонів в Україні на кінець 2010 року складав 197 тис. од., із яких в інвентарному парку Укрзалізниці – 123 тис. од. та 74 тис. од. або 38 % від загальної кількості вантажних вагонів, це вагони, які належать власникам (недержавним підприємствам).

У загальному обсягу перевезень 56,7 % припадає на перевезення у напіввагонах. При загальному середньодобовому навантаженні у 1,025 млн т, з урахуванням використання 27 % приватних напіввагонів, потреба УЗ в своєму парку інвентарних напіввагонів орієнтовно складає 62131 вагон робочого парку. Але фактично робочий парк інвентарних напіввагонів УЗ постійно скорочується (станом на 01.10.2010 р. – 50,4 тис. од. проти 59 тис. од. – у 2007 р. та 56,7 тис. од. – у 2009 р.). У той же час, кількість технічно несправних (неробочого парку) напіввагонів збільшується (станом на 01.10.2010 р. – близько 9 тис. од. проти 3,8 тис. од. – у 2007 р. та 6,7 тис. од. – у 2009 р.).

Наявний парк вантажних вагонів УЗ морально та фізично застарів і його знос складає більше 60 %.

Закупки нових вагонів, а таких у 2010 р. було придбано 2,2 тис. од., планується у 2011 р. придбати ще 4 тис. од., явно недостатньо для забезпечення перевезень.

Складна ситуація із вантажними вагонами в країнах СНД та Балтії, де із 1,46 млн. вантажних вагонів 55 % парку приходить на власні. При цьому у Російській Федерації власних вагонів більше (із загального парку 1 млн 5 тис. тільки 351 тис. – інвентарні). Створення першої вантажної компанії з передачею їй 50 % інвентарного парку вантажних вагонів російських залізниць та закінчення процедури по створенню другої вантажної компанії з передачею їй вантажних вагонів призводить до того, що найбільший парк вантажних вагонів російських залізниць, який використовувався залізницями Співдружності, виходить з міждержавної Угоди про спільне використання вагонів і неминуче негативно

відобразиться на перевезеннях вантажів з України до Російської Федерації та інші країни СНД. Починаючи з травня 2010 р., кількість відправлених з України вагонів і в першу чергу до Росії значно збільшилась, а оскільки обіг вказаних вагонів складає понад 10 діб, то загострилась проблема з виконання плану внутрішніх перевезень. Освоєння зростаючих обсягів перевезень можливе за рахунок прискорення обігу напіввагонів, але ці ресурси сьогодні майже вичерпані.

Масове переведення вагонів інвентарного парку залізничних адміністрацій країн СНД у власність операторських компаній порушило баланс наявних вагонів інвентарного парку і це призведе до нераціонального планування перевезень та ефективного використання вагонів через неможливість впливу залізничних адміністрацій на процес укладання договорів перевезень між вантажовласниками та операторами приватних вагонів і перш за все нерезидентами України.

З метою пошуку компромісного варіанту взаємодії ефективного використання вантажних вагонів різних форм власності на 53-му засіданні залізничних адміністрацій країн СНД була затверджена «Концепція єдиної системи управління парком вантажних вагонів різних форм власності», якою передбачено створення єдиного парку всіх залізничних адміністрацій і власників вагонів країн-учасниць Співдружності. Для цього необхідна згода усіх власників та операторів залізничних перевезень, але вже на сьогодні далеко не всі згодні на створення єдиного парку.

Якщо «головні гравці» по кількості вагонів ВАТ «ПВК» і «ДВК» не вступають до єдиного парку, реально настає неможливість функціонування Концепції. Оскільки парк вагонів цих двох компаній повною мірою є конкурентом загального парку інших країн СНД, чим саме можливе демпінгування «правил гри».

У разі гальмування процесу створення і роботи єдиним парком подальша передача вагонів інвентарного парку країн СНД у приватну власність призведе до ситуації, коли інвентарний парк залишиться лише в Україні та Білорусії. В таких умовах втрачають актуальність положення діючих «Правил експлуатації пономерного учета и расчетов за пользование грузовыми вагонами собственности других государств».

За таких умов, економічно виправданою для УЗ може бути пропозиція внесення на розгляд Ради залізничних адміністрацій країн СНД питання щодо надання прав залізничним адміністраціям – власникам вагонів інвентарного парку самостійно встановлювати ставки за користування вагонами і укладати для цього відповідні угоди із залізничними адміністраціями.

Для підвищення ефективності використання рухомого складу доцільно розглянути варіанти організації об'єднання вагонних парків Укрзалізниці в рамках юридичної особи – структурного підрозділу Укрзалізниці. Таким структурним підрозділом міг би стати єдиний Логістичний центр з перевезення вантажів у вагонах, підпорядкований Укрзалізниці із наданням йому функцій:

- оперативного управління роботою вагонів УДЦТС «Ліски», УДЦ «Укрспецвагон», УДЦ «Укррефтранс» та ДП «Дарницький ВРЗ» з метою ефективного їх використання та забезпечення потреб і заявок вантажовласників;
- координація діяльності із перевезення вантажів за участю операторських компаній-власників та орендарів рухомого залізничного складу, не підпорядкованих Укрзалізниці;
- взаємодія з власниками рухомого складу залізничних адміністрацій СНД, у першу чергу, з вантажними компаніями російських залізниць.

4. Висновок

Запропонована технологія передбачає необхідність формування транспортного процесу, який враховував би інтереси залізничних адміністрацій, вантажовласників та операторів залізничних перевезень.

Для вирішення такої задачі необхідно провести комплексне дослідження функціонування транспортної системи перевезень держав-учасниць Угоди про використання загального парку вантажних вагонів, через території яких проходить значна кількість міжнародних залізничних напрямків, що з'єднують держави Європейського союзу держав колишнього Радянського Союзу та держав Азіатсько-Тихоокеанського регіону.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Карасев А. А.* Логистика финансовых потоков в расчетах за использованием грузовыми вагонами в международном железнодорожном сообщении. – М.: Транспорт; ВИНТИ, 2010. – № 3. – 9 с.
2. *Матеріали наради при Укрзалізниці 19.08.2010 р.* «Приватний вагон-партнер або конкурент залізниці на ринку перевезень».
3. *Протоколи засідання Ради із залізничного транспорту держав-учасниць Співдружності:* № 52 від 13-14 травня 2010 р. та № 53 від 20 жовтня 2010 р.
4. *Перепаденко Т. М.* «Колективізація». «Укрзалізниця» хоче об'єднати свій парк вантажних вагонів з приватними парками // Газета «Дзеркало тижня», № 27 (807) 17 липня-6 серпня 2010 р.

УДК 656.6.022: 330 115

Ганна Кириченко
В'ячеслав Мацюк
Олег Стрелко
Оксана Родкевич

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВАНТАЖІ, ЩО ПЕРЕВОЗЯТЬСЯ ЗАЛІЗНИЦЯМИ УКРАЇНИ

Наведені дані про кількість перевізних документів, що оброблюються за періодами доби та побудовано розподілення частоти обробки документів у товарних конторах станцій. Дані свідчать про існуючу нерівномірність навантаження працівників станцій, стрімке зростання обсягів робіт у період з 13 до 17 години, особливо на станціях із значними обсягами відправлення вантажів. Проведений детальний аналіз якості електронних даних перевізних документів та впливу людського фактору на достовірність даних. Зроблений висновок щодо недоцільності введення додаткових ступенів контролю з боку людини. Запропоновані шляхи підвищення якості даних перевізних документів в автоматизованій системі.

Приведены данные о количестве перевозочных документов, обрабатываемых по периодам суток и построен многоугольник распределения частоты обработки документов в товарных конторах станций. Данные свидетельствуют о существующей неравномерности нагрузки работников станций, резком возрастании объемов работы в период с 13 до 17 часов, особенно на станциях со значительными объемами отправления грузов. Проведен детальный анализ качества электронных данных перевозочных документов та влияния человеческого фактора на достоверность данных. Сделан вывод о нецелесообразности введения дополнительных ступеней контроля со стороны человека. Предложены пути повышения качества данных перевозочных документов в автоматизированной системе.

In article a data of processed transportation documents volume on a day's periods have been presented. Results testify to presence of non-uniformity of working loading on workers of station with a maximum during with 1 p.m. up to 5 p.m. The detailed analysis of the electronic data documents has determined that influences of the human factor on their reliability is lead. Variants of quality improvement of transmitted information have been offered.

© Кириченко Г. І., Мацюк В. І., Стрелко О. Г., Родкевич О. Г., 2011

Ключові слова: автоматизована система залізниці, перевезення масових вантажів, якість інформації, обробка даних перевізних документів, збільшення навантаження товарних касирів, електронний документ.

Математико-економічні моделі, які передбачається створювати з метою розробки оптимізаційних систем, систем підтримки прийняття рішення в управлінні окремими ланками перевізного процесу і транспортом в цілому, повинні адекватно відображати реальний процес. Одним з шляхів забезпечення адекватності є підвищення точності опису окремих технологічних процесів при використанні кількісних даних. Ці дані, як частина знань про технологіко-економічні характеристики процесу вантажних перевезень, складають інформаційне забезпечення автоматизованих систем, які використовуються в управлінні залізничним транспортом України. Тому, природно, що від якості первинної інформації залежить якість управління об'єктами перевезень.

Для з'ясування існуючого рівня якості даних в автоматизованій системі, в якій здійснюється процес розрахунків за вантажні перевезення, а також доцільності введення додаткового контролю з боку людини було зроблено аналіз достовірності та повноти наявної інформації, а також аналіз причин, що впливали на зниження рівня якості.

Вантажні залізничні перевезення України характеризуються значними обсягами перевезень масових вантажів, що відправляються промисловими підприємствами горно-металургійного комплексу країни та переробкою вантажів на прикордонних передавальних та припортових станціях (рис. 1). На станціях, що обслуговують вантажовідправників, здійснюється інтенсивна робота з прийому вантажів та вагонів до перевезення. Основними складовими інформації для визначення обсягів роботи залізниці, виконання плану перевезень, показників роботи, у т.ч. доходів залізниць, є дані перевізного документа, якими оформлюються ці перевезення.

Тому від якості оформлення документа, правильності визначення платежів залежить, як здійснення фінансових розрахунків з клієнтами залізниці, так і оцінка роботи об'єктів управління магістралі та визначення доцільності використання даних перевізного документа при розробці та застосуванні економіко-математичних моделей.

З іншого боку, оброблення документа відбувається в товарній конторі станції у стислі терміни, що обумовлено необхідністю, в ряді випадків, узгодженням при оформленні документів з іншими державними службами, наприклад з митницею, ветеринарною службою, та здійснюється протягом дня відправником і надається їм у товарну контору станції для обробки вже у кінці звітної залізничної доби.

У табл. 1 наведені обсяги кількості оброблених документів за допомогою автоматизованих систем, у тому числі за періодами доби.

Для аналізу кількості оброблених документів за періодами доба розподілена на 6 відрізків часу: 1 - з 20 до 24; 2 - з 00 до 04; 3 - з 04 до 08; 4 - з 08 до 12; 5 - з 12 до 16; 6 - з 16 до 20 години відповідно.

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

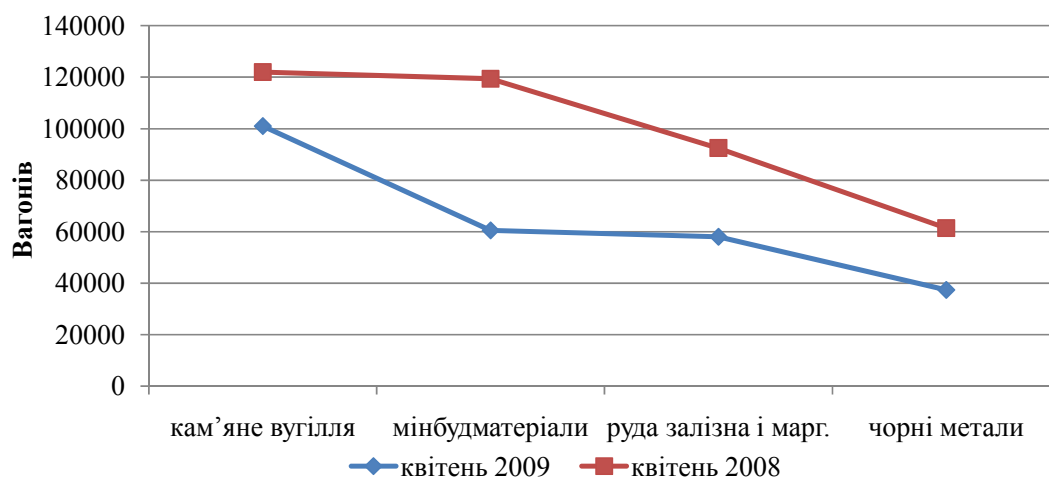


Рис. 1. Порівняний аналіз обсягів відправлень масових вантажів по УЗ

Таблиця 2. Аналіз нерівномірності обробки документів в АРМ ТВК

Період доби		Кількість документів	Доля (частина) обробленої інформації	Кількість документів	Доля (частина) обробленої інформації
		квітень 2009 року		квітень 2008 року	
1	з 20-00 до 24-00	37461	0,093	34891	0,089
2	з 00-00 до 04-00	39800	0,099	38707	0,098
3	з 04-00 до 08-00	52487	0,131	49760	0,126
4	з 08-00 до 12-00	94381	0,235	92871	0,236
5	з 12-00 до 16-00	104819	0,261	103699	0,263
6	з 16-00 до 20-00	72583	0,181	73985	0,188
Разом		401531	1,000	393913	1,000

Таблиця 1. Обробка перевізних документів за допомогою роботи автоматизованих систем, у т.ч. за періодами доби (01.05.09 - 31.05.09)

Залізниця	Обсяги роботи станції		Кількість документів						У тому числі по періодах доби									
			По відправленню		У т.ч. групових		По прибуттю								У т.ч. групових			
					Всього	3 них отримано з АРМ вантажовідправника											Всього	3 них отримано з АРМ вантажовідправника
Залізниця	Навантаження (вагонів та контейнерів)	Вивантаження (вагонів та контейнерів)	Всього	3 них отримано з АРМ вантажовідправника	Всього	3 них отримано з АРМ вантажовідправника	У т.ч. групових		По прибуттю		У т.ч. групових		08-12	12-16	16-20	20-00	00-04	04-08
	37709	28701	19552	1674	3725	544							12114	3145	8946	9828	5815	1416
Південна	37709	28701	19552	1674	3725	544	12114	3145	8946	9828	5815	1416	2063	3598				
Південно-Західна	39321	41608	19353	770	6141	394	16412	4419	8808	9943	8742	3274	2054	2944				
Львівська	25781	58716	12924	1771	3796	556	29916	4679	14249	13975	8094	1651	2187	2684				
Донецька	162848	223123	60162	8226	25398	4688	60651	22728	26547	30361	19442	12657	13499	18307				
Одеська	38918	165254	27044	1334	9373	607	51798	13712	16768	17164	15000	8623	8458	12829				
Придніпровська	111782	138744	50020	46892	8865	8222	41585	10785	19063	23548	15490	9840	11539	12125				
ВСЬОГО	416359	656146	189055	60667	57298	15011	212476	59468	94381	104819	72583	37461	39800	52487				

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

Розподілення частоти обробки відправок на станціях характеризує нерівномірність (обробки вантажопотоків), яка має організаційний характер, пов'язаний з режимами роботи підприємств. Стрімке збільшення навантаження працівників, які вводять дані перевізних документів, у період з 13.00 до 17.00 доби (за хронометражними спостереженнями) обумовлює помилки при інтерактивних діях людини.

Діюча на залізничному транспорті автоматизована система управління вантажними перевезеннями передбачає оформлення перевізного документа за допомогою автоматизованого робочого місця товарного касира станції, що включає в себе введення даних накладної, контроль відповідності даних документа, автоматичне внесення технічних характеристик вагона, введення або вибір з системи картотек відповідних відміток для автоматичного розрахунку, в кінцевому результаті, плати за перевезення.

З метою визначення якості даних документів в автоматизованих системах та виявлення причин помилок розрахунку плати за перевезення, у єдиних технологічних центрах з переробки документів було проведено контрольне таксування – перевірка первинних даних та розрахунок плати у документах на вантажі, які відправлялися станціями на всіх залізницях за певний період. У ході таксування здійснювались перевірки: введення даних перевізного документа в інформаційну систему, правильності програмного забезпечення при розрахунку плати, достовірність змісту картотек. Результати дозволили констатувати, що половина помилок при визначенні плати за перевезення здійснюється з причини введення неправильних даних (0,7%), четверта частина – недосконале програмне забезпечення, ще четверть – помилки при контролі у єдиному технологічному центрі залізниці, тобто – знов таки людський фактор (табл. 3). Таким чином, перевірка «ручним способом» викликала нові помилки.

Таблиця 3

Група	Кількість випадків	Відсоток від загальної кількості оброблених документів (59 820 штук), %	Недобори (грн.)	Перебори (грн.)
Помилки товарних касирів (всього), в т.ч.	420	0,702	94011	45958,8
через недостатність логконтролю	25	0,042	9769	0
по вантажопід. - через недост. дані в АБД ПВ	123	0,206	1079,8	337
потребує нормат.виріш.	2	0,003	65	4312
Програмне забезпечення та довідники (всього), в т.ч.	243	0,406	48966	200075
помилка програмного забезпечення	183	0,306	3009,3	197941

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

відсутність програмного забезпечення	59	0,099	40866,5	1092
недостатн. конт.на залізниці відпр.	1	0,002	4738	0
Інші, з них:	229	0,383	47305	624,7
зайві виправлення ЄТехПД	150	0,251	0	0
помилка або неточність ТехПД	53	0,089	39299	0
помилки обміну електр.док.	6	0,010	0	0
розглядається ЦМТ	1	0,002	39052	0
неврегульовані нормативи	11	0,018	379	0
Всього	903	1,510	267 663	369 371

Аналіз складу помилок, які допускають товарні касири, свідчить, що третю частину помилок (0,25 % з 0,7 %) можна уникнути, удосконаливши програму обробки введення даних (логічним контролем) та підвищивши достовірність картотек. Таким чином, можна передбачити, що доопрацювання програмного забезпечення діючих автоматизованих систем, у т. ч. формалізація відсутніх в автоматизованій системі ланок (наприклад, властивості вантажу, який необхідно охороняти на шляху прямування), дозволить скоротити помилки при розрахунках провізної плати до 0,4 %. Вплив людського фактора зменшується шляхом переходу до розповсюдження клієнтських місць автоматизованої системи, встановлених у відправника вантажу, для введення первинних даних перевізного документа (в існуючих умовах через АРМ вантажовідправника оформлюється приблизно 1,1 % із загального числа документів).

Необхідно зазначити, що при обробці перевізних документів за допомогою автоматизованих систем зникають помилки, що допускалися при ручному оформленні, такі як неправильне визначення відстані перевезення, роду рухомого складу, власності, зазначення найменування вантажу та ін. Крім того, при розрахунку плати за перевезення у вагоні одночасно здійснюється перевірка даних про нього в інших підсистемах, наприклад, місцеперебування вагона, стан вагона, вантажу, наявності коштів на особовому рахунку клієнта, що також підвищує рівень якості інформації.

Використання інформаційного забезпечення, що описує технологічні процеси, для розробки та впровадження адекватних економіко-математичних моделей на залізниці вимагає забезпечення повноти та достовірності первинних даних. Уникнути помилок при введення інформації працівниками залізниці, забезпечити достовірність можливо лише запровадивши технологію складання документа самим відправником вантажу в автоматизованій системі залізниці. З метою реалізації такої технології формування перевізного документа передбачено впровадження електронного документа в комплексі з електронним цифровим підписом. Введення клієнтом інформації при оформленні накладної безпосередньо в автоматизованій системі залізниці засобами інтернету дозволить також скоротити час обробки даних, в цілому підвищить ефективність обробки вантажів. На залізницях України передбачено впровадження електронного перевізного документа та електронного цифрового підпису з 2012 року.

Забезпечення достовірності, своєчасності та повноти інформаційного забезпечення є складовими задачами інформатизації, що продовжує відбуватися. Вона спрямована на створення загальної моделі вантажних перевезень: їх плануванню, обліку та контролю за рухом кожної відправки від місць виробництва до місць споживання з дотриманням логістичних вимог. Це обумовлює необхідність розробки та впровадження оптимізаційних систем, систем підтримки прийняття рішення в управлінні перевезеннями вантажів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бочаров О. П., Мукмінова Т. А. Централізація інформаційних ресурсів та формування інформаційного середовища на залізничному транспорті // «Залізничний транспорт України». – 2007. – № 4.
2. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах: Учебник для вузов ж-д транспорта. /Под ред. Ковалёва В.И. -М. Маршрут, 2006, – 544 с.
3. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.

УДК 656.212

*Денис Ломотько
Татьяна Шляхова*

СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Для повышения уровня переработки вагонопотоков на дороге были сооружены сортировочные станции. Повышением уровня автоматизации технологического процесса сортировочных станций является внедрение комплексной системы автоматических устройств для расформирования поездов на горках сортировочных станций на микропроцессорах. Данная система обеспечивает автоматическое управление стрелками, вагонными замедлителями и горочными локомотивами.

Для підвищення рівня переробки вагонопотоків на залізниці були споруджені сортувальні станції. Підвищенням рівня автоматизації технологічного процесу сортувальних станцій є впровадження комплексної системи автоматичних пристроїв для розформування поїздів на гірках сортувальних станцій на мікропроцесорах. Дана система забезпечує автоматичне управління стрілками, вагонними сповільнювачами і гірковими локомотивами.

To improve processing of car traffic on the railway were built sorting stantsii. Povysheniem level of automation of the process of marshalling yards is to introduce a comprehensive system of automatic devices for the dissolution of trains on the roller coaster yards on microprocessors. This system provides automatic control arrows, car retarders, and hump locomotives.

Ключевые слова: сортировочные станции, горочная автоматическая централизация, маневровые локомотивы, комплексная система автоматизированного управления сортировочной станции.

Железные дороги, развиваясь, быстро образовали разветвленную сеть железных дорог. Потребовалось отправлять вагоны не только на близлежащие станции, но и на более отдаленные, расположенные на разных направлениях. Для этого в узловых точках сети стали сооружать сортировочные станции, основное назначение которых – переработка вагонопотоков, т.е. расформирование и формирование поездов. Для выполнения этих работ сортировочная станция имеет специальные пути и маневровые средства, составляющие сортировочный комплект (систему), включающий, как правило, парки приема, сортировки, отправления и сортировочные устройства.

© Ломотько Д. В., Шляхова Т. Е., 2011

Историю развития сортировочных станций можно разделить на несколько наиболее характерных этапов, отличающихся качественными изменениями. Первый этап длился от возникновения сортировочных станций до конца прошлого столетия, второй – до конца второй мировой войны, третий продолжается в настоящее время. В каждом из перечисленных этапов, особенно в последнем, также можно выделить периоды наиболее интенсивного развития сортировочных станций. Техника и технология переработки вагонопотоков особенно интенсивно совершенствовалась в странах Западной Европы (Германия, Франция, Великобритания) и США, а на последнем этапе – также в Японии. Большой вклад в проектирование и развитие сортировочных станций внесли специалисты железных дорог России и других республик бывшего СССР.

В первом периоде развития сортировочных станций расформирование составов и направление отцепов на пути, соответствующие их назначению, осуществлялись, как правило, на горизонтальных путях, расходящихся веерообразно от одного общего (вытяжного) пути с помощью стрелочных переводов. Сначала этот процесс осуществлялся методом осаживания, затем стали применять подталкивание. При этом группы вагонов отцеплялись от подталкиваемого маневровым локомотивом состава, а затем, после затормаживания этого локомотива, отделялись от него и двигались по инерции по нужным маршрутам.

Поворотным моментом в развитии сортировочных станций стало применение сортировочных горок, определившее технологию переработки вагонопотоков на многие десятилетия вперед. Сортировочные горки разной производительности имеют все страны с развитым железнодорожным транспортом. Хотя прошло уже более 120 лет с начала их строительства, но лучшего решения в ближайшей перспективе не просматривается.

Первоначально, когда сортировка велась на горизонтальных путях, вагоны тормозились деревянными рычагами (вагами), которые подкладывал под колеса тормозильщик. Такое торможение было возможно на низких скоростях. На уклоне вагоны двигались значительно быстрее, и ваги уже не обеспечивали нужный темп сортировки и безопасность маневров.

Работа по совершенствованию тормозных средств привела к созданию в 1857 г. в Германии устройства, отличающегося компактностью, универсальностью, эффективностью, нашедшего впоследствии широчайшее распространение на всех железных дорогах мира. Этим устройством явился ручной тормозной башмак, укладываемый на рельс перед движущимися вагонами и оказывающий значительное тормозное воздействие при наезде на него колеса.

В настоящее время наиболее распространенной является сборная металлическая конструкция башмака, состоящая из полоза толщиной 6 – 8 мм и колодки высотой 120 – 125 мм, соединенной с ползком двумя заклепками.

Наряду с торможением такие башмаки стали повсеместно применять также для закрепления вагонов и составов на путях, что особенно актуально в условиях постепенного совершенствования буксового узла колесных пар вагонов и улучшения их ходовых свойств. Применение систем непрерывного (в Англии, Австрии, КНР) автоматического регулирования сортировки вагонов, которые разрабатываются особенно интенсивно в последнее десятилетие, позволяет перейти на качественно новый этап сортировочной работы, характеризующийся почти полным устранением повреждений вагонов в условиях роста объемов их переработки.[1]

В целях повышения перерабатывающей способности горки разработан и применен комплекс телемеханических и автоматических устройств, в который входят: блочная горочная автоматическая централизация (БГАЦ-ЦНИИ), горочная автоматическая централизация с контролем роспуска (ГАЦ-КР), система автоматического регулирования скорости скатывания отцепов (АРС), горочное программно-задающее устройство (ГПЗУ-В) с использованием видеотерминального устройства (дисплея) «Видеотон-340», автоматическое задание скорости роспуска состава с горки (АЗСР-ЦНИИ), телеуправление горочным локомотивом (ТГЛ).

Новым направлением автоматизации технологического процесса сортировочных станций является внедрение комплексной системы автоматических устройств для расформирования поездов на горках сортировочных станций на микропроцессорах (КГМ-РИИЖТ). Данная система обеспечивает автоматическое управление стрелками, вагонными замедлителями и горочными локомотивами.

Применяемая в настоящее время блочная система ГАЦ может работать в следующих режимах:

программном автоматическом, при котором до роспуска состава с горки с помощью накопителя производится предварительный набор маршрутов на все отцепы состава поезда. Корректировка или добор маршрутов возможны в процессе роспуска состава.

ГАЦ на крупных станциях является одним из элементов комплекса устройств, используемых для автоматизации сортировочных процессов на горках. К ним относятся системы для торможения скатывающихся с горки вагонов, для автоматического регулирования скорости скатывания отцепов, для телеуправления горочными локомотивами и др. Ведутся большие разработки по совершенствованию оборудования этих устройств и по передаче функций ГАЦ, АРС и других типовых вычислительных машин.[2]

Основные принципы, положенные в основу комплексной системы автоматизированного управления сортировочной станцией (КСАУ СС), включали в себя: расширение зоны автоматизации до размеров всей станции; модульный принцип построения системы, обеспечивающий ее функциональный состав по требованию заказчика; создание малолюдной и безбумажной технологии обработки составов на автоматизированных станциях; создание информационной платформы для ведения динамической модели сортировочного процесса в масштабе реального времени и объединение информационно-планирующего и управляющего уровней в единую систему.

Уровень железнодорожной автоматики интегральной системы АСТРА СС – КСАУ СП обеспечивает управление горочными стрелками, сигналами, замедлителями, маневровыми локомотивами, указателями количества вагонов, упорами для закрепления составов и компрессорными установками на сортировочной станции.

Постовой контроллер подсистемы собирает информацию с приборов ЭЦ (МПЦ) о поездной ситуации на станции, аналогичную информации, индицируемой на табло ЭЦ, дополняет ее сообщениями локомотивных устройств о скорости и направлении движения подвижных единиц, а также данными о закреплении и осмотре составов, поступающими от соответствующих напольных устройств, ИПУ СС или вводимыми дежурными по станции со своих АРМов. Динамическая модель, поддерживаемая ГАЛС Р, описывает местоположение и перемещения

подвижных единиц на путях и парках станции, фазы обработки составов и их временные границы. Данные слежения индицируются на мониторах АРМов ДСП ГАЛС Р и регистрируются протоколами работы подсистемы.

Сведения об основных изменениях в поездной ситуации и смене технологических операций передаются ИПУ СС для планирования и расчёта показателей работы станции, ведения вагонной модели объекта управления.

Маршрутные задания в зоне ГАЛС Р выделяются постовым контроллером, адресуются конкретному локомотиву, кодируются и передаются по радиоканалу его бортовому контроллеру.

Работа радиоканала борт – пост организована по асинхронному протоколу и обеспечивается в радиусе не менее 5 км от центра управления. Цикл обмена при одновременной работе до 16 локомотивов осуществляется за 2 секунды. Телеграмма о маршрутном задании содержит адрес локомотива и полное описание маршрута (сигналы, стрелки, длины участков). Такой принцип позволяет локомотивам работать на любой станции. Настраивается на объект только частота обмена. В ответной телеграмме локомотивных устройств указываются текущая скорость и пройденный путь, направление и режим движения, результаты контроля бдительности машиниста и диагностические сообщения.

Маршруты надвига и роспуска дополняются командами о показаниях горочного сигнала, расчетном значении скорости, виде маршрута (основной, предварительный или попутный надвиг, роспуск, осаживание, маневры), номере вершины горки. Эта же информация выводится на монитор машиниста в дополнение к сообщениям о текущих значениях скоростей, позиции контроллера и расстоянии до конца маршрута.

Скорость роспуска рассчитывается контроллером вершины горки на основе сортировочного листа, выдаваемого ИПУ. Листок может быть предварительно откорректирован дежурными по горке на управляющем АРМе. При определении скорости осуществляется предварительное моделирование скатывания отцепов с учётом их собственных параметров, характеристик маршрутов и заполнения путей сортировочного парка. Результаты расчёта реализуются путём передачи заданных значений скорости на бортовой контроллер синхронно с ходом роспуска.

Синхронизация скорости состава с физическим потоком отцепов осуществляется контроллером вершины горки КВГ по сигналам отделения отцепа от состава. Соответствие фактического количества вагонов в отцеpe заданному проверяется на контрольном участке с помощью счётчиков осей и радиотехнического датчика РТДС, фиксирующего отделение отцепа от состава.

Горочный комплекс представлен в КСАУ СС двумя подсистемами – горочной автоматической централизацией с ведением накопления вагонов (ГАЦ МН) и устройством управления прицельным торможением (УУПТ).

Основной режим функционирования этого комплекса – автоматическое управление стрелками и замедлителями при возможности ручной коррекции с горочного пульта.

Аппаратно-программные средства управляющего горочного комплекса поддерживают более развитые модели движения отцепов, определяемых по их инвентарным номерам и результатам поосного взвешивания вагонов на весомерном участке, расположенном перед головной стрелкой ГАЦ МН.

Для управления замедлителями тормозных позиций в подсистеме УУПТ используется общая с ГАЦ МН динамическая модель процесса скатывания

отцепов. Это обеспечивает комплексное управление с учетом требований по вытормаживанию и соударению вагонов, а также их разделению на горке и в сортировочном парке.

Принципиальное отличие УУПТ от предшествующих систем АРС состоит в возможности прямого управления соленоидами оттормаживания От и торможения Т с обратной связью по датчику давления, устанавливаемому непосредственно на столе управляющей аппаратуры замедлителей. Поэтому алгоритм функционирования УУПТ рассчитан на применение плавных адаптивных режимов торможения, обеспечивающих энергосбережение, сохранность вагонов и грузов, снижение износа тормозных шин замедлителей. Позволяет отслеживать движение каждого отцепа от момента выхода из парковой тормозной позиции и до точки соударения. Это дает возможность определить свободную длину каждого пути и длину «окон» между отцепами, находящимися на путях сортировочного парка. Такая информация достаточна для организации обратной связи по управлению замедлителями II и III тормозных позиций, повышающей качество прицельного торможения и заполняемость путей сортировочного парка с возможностью безопасного проталкивания. Кроме того, по данным скатывания вагонов контролируется профиль путей подгорочного парка.

Функционирование горочного комплекса КСАУ СС автоматизирует процедуру накопления вагонов в сортировочном парке. Счетчики осей спускной части горки обеспечивают контроль за манёврами и автоматическую регистрацию перестановок вагонов с оперативной передачей в ИПУ СС. В частности, становится возможным автоматическая подготовка сортировочного листка для повторного роспуска. Существенно увеличивается безопасность технологического процесса. Взаимодействие подсистем ГАЛС Р – ГАЦ МН – УУПТ исключает задание маршрута отцепа на путь, занятый горочным локомотивом, или торможение последнего в замедлителях, исключает взрез стрелки при маневрах или маневровый маршрут с угрозой бокового удара из-за негабарита, а также враждебные маршруты при одновременном проведении роспуска и маневров на горке.

Контрольно-диагностический комплекс (КДК), встраиваемый в управляющие подсистемы КСАУ СС, регистрирует отказы оборудования и программного обеспечения, выявляет предотказное состояние устройств, обеспечивает непрерывность функционирования путем внутренней реконфигурации систем при отказах, формирует и архивирует протоколы работы подсистемы. КДК позволяет перейти от регламентных к ремонтно-восстановительным методам обслуживания устройств. Результаты работы КДК выдаются на рабочее место электромеханика (АРМ ГАЦ или СКДТ) и могут транслироваться диспетчеру дистанции ШЧД.

КДК впервые предоставляет возможность получить совмещенные во времени данные о работе устройств СЦБ, скоростном режиме работы локомотивов и действиях оперативного персонала станции и машинистов. При необходимости КДК позволяет воспроизвести поездную ситуацию за выбранный отрезок времени.

Подсистема автоматизированного управления компрессорной станцией (КСАУКС) обеспечивает поддержание давления в пневмосети при минимальном количестве работающих компрессоров и их равномерной наработке. В рамках АСТРА СС основным вариантом автоматизации принято использование компрессорных установок со встроенной автоматикой.[3]

Объективные условия трансформационных процессов в развитии Украины обуславливают ее направленность на динамичное вхождение в мировую

экономическую систему и, прежде всего, в экономической интеграции с ведущими западноевропейскими государствами. Этот процесс, безусловно, приведет к росту товарообменных операций между сторонами, которые работают вместе. С другой стороны, геостратегическое расположение Украины позволяет ей быть выгодным мостом для транзитных перевозок товаров и пассажиров между государствами Европы, Азии и Ближнего Востока. Одной из определяющих систем, обеспечивающих грузовые и пассажирские перевозки по территории Украины, является транспортная система, к которой в рыночных условиях предъявляются высокие требования по качеству, регулярности и надежности транспортных связей, сохранности грузов и безопасности перевозок пассажиров, скорости и стоимости доставки.

В соответствии с Концепцией реструктуризации украинских железных дорог (одобрена Советом Укрзалізнични – протокол 5 от 24 апреля 1997, утверждена решением Коллегии Министерства транспорта Украины – протокол 14 от 18 июня 1997 г.), Программы информатизации, а также директивы ЕС 91 / 440 и Постановления Кабинета Министров Украины № 821 от 04.08.97 г. в современный период внедряются работы по выбору путей адаптации технического оснащения и разработки новых средств автоматизации и усовершенствования технологии расформирования составов поездов в условиях повышения перерабатывающей способности сортировочных горок на железнодорожных станциях.

Стратегия перераспределения сортировочной работы с целью ее концентрации на сортировочных станциях является мощным инструментом стабильности функционирования железнодорожного транспорта. Реализация ее позволит железным дорогам обеспечить более эффективную обработку вагонопотоков, увеличить перерабатывающую способность сортировочных горок, сократить энергетические затраты и простои вагонов, тем самым снизить эксплуатационные расходы.

Основной элемент оборота грузового вагона – это время нахождения на технических станциях. Расформирование составов – один из элементов транзитного вагона с переработкой. Сокращение времени выполнения операций по расформированию составов поездов на технических станциях – важнейший фактор ускорения оборота вагона и доставки груза.

Эффективное решение данной проблемы заключается в комплексной автоматизации перевозочного процесса, одной из подсистем которой является система комплексной автоматизации сортировочных горок, а именно операций надвигов и роспуска в процессе расформирования составов. Сокращение времени расформирования составов и повышения перерабатывающей способности сортировочных горок достигается при оптимизации процессов надвигов и роспуска.[4]

Вывод

Рассмотренные средства повышения уровня автоматизации сортировочных устройств обеспечивают выполнение требований безопасности маневровой работы на железнодорожной станции. Повышают эффективность функционирования сортировочной станции, в частности – рациональнее используются маневровые локомотивы. Создают информационную платформу для оптимизации управления станцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. История создания железных дорог. <http://rrh.agava.ru/history/chapter11.htm>.
2. Железные дороги. <http://yo31.ru/railway/devices-communication-on-railway/727-gorochhnaja-avtomaticheskaja-centralizacija.htm/>.
3. Евразия вести. Международное информационно-аналитическое обозрение. <http://www.eav.ru/pub11.php?publid=2004-11a1>.
4. Совершенствование технологии работы технических средств сортировочных станций на основе ресурсосбережения. <http://disland.info/catalog/52334.htm/>

УДК 656.2

Віктор Мироненко
Галина Висоцька

**НОВИЙ МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ПРИЧИН
ТА НАСЛІДКІВ ЗАТРИМОК ВАГОНІВ НА ПРИКОРДОННИХ
ПЕРЕДАВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ**

Проведений аналіз тривалості просування експортно-імпортних та транзитних вагонопотоків залізницями України, причин їх затримок на прикордонних приймально-передавальних станціях. Подані пропозиції щодо прискорення просування міжнародних вантажопотоків залізницями України.

Проанализировано время продвижения экспортно-импортных и транзитных грузопотоков железными дорогами Украины, причины их задержек на приграничных приемо-сдаточных станциях. Даны рекомендации по ускорению продвижения международных грузопотоков по железным дорогам Украины.

An article is carrying out analysis of export-import and transit traffic transportation duration by Ukrainian railways. The article focuses on the intermissions (delays) of transportation processes in hand-over border stations. References on reduction of transportation delay times are given.

Ключові слова: прикордонні станції, транзит, експорт вантажів, затримки вагонів.

Тривалість транзиту міжнародних вантажів залізницями визначає привабливість та конкурентоспроможність України як транзитної держави. Ця тривалість складається з часу у русі, часу на транзитних технічних станціях, часу затримок на вхідних та вихідних станціях (до моменту відправлення до суміжної держави). При цьому час у русі та простой на технічних станціях достатньо об'єктивно відображаються галузевою статистичною звітністю [1]. Так, дільнична швидкість складає по залізницях від 32,3 до 43,6 км/год, а у середньому по мережі 36,1 км/год, а середній простій на технічних станціях вагонів з переробкою та без переробки коливається в широкому діапазоні (рис. 1). Що стосується затримок вагонів на прикордонних станціях, то цей показник окремо в галузевій статистичній звітності не виділяється. Однак розуміючи важливість цього показника, УЗ веде оперативний аналіз затримок та їх причин по залізницях, який узагальнюється щоквартально та щорічно.

Затримки вагонів на прикордонних станціях та їх причини потребують окремого поглибленого дослідження. Тому було проаналізовано питому вагу тривалості

© Мироненко В. К., Висоцька Г. С., 2011

затримок вагонів на прикордонних передавальних станціях в загальній тривалості просування залізницями України транзитних потоків на основі узагальнених звітних даних за 2008 рік (цей рік характерний максимальними обсягами перевезень в перші три квартали і «кризовим» їх падінням у четвертому).

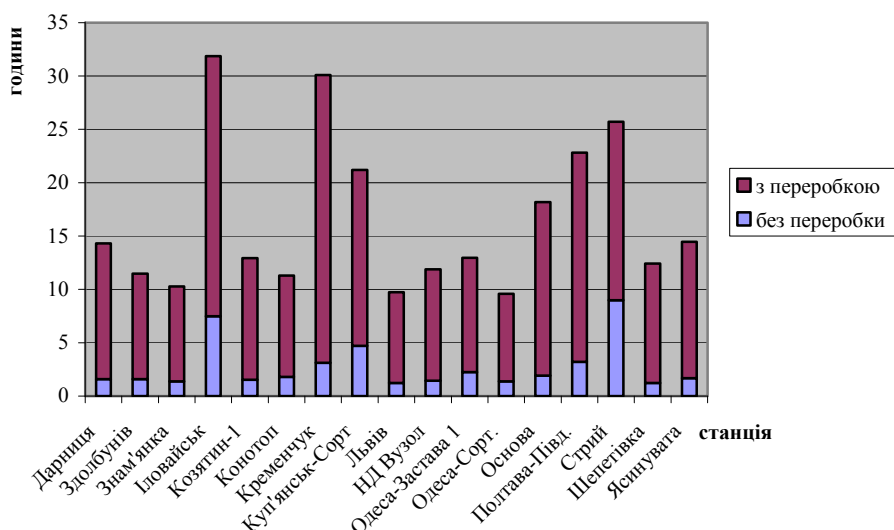


Рис. 1. Середній простій вагонів на технічних станціях

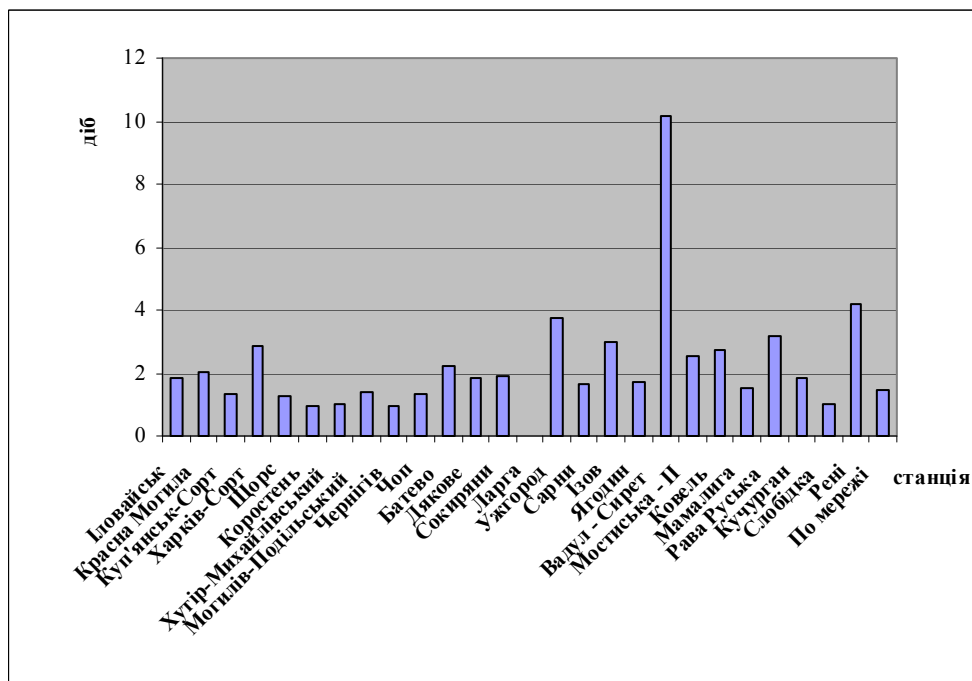


Рис. 2. Середній простій вагонів на прикордонних передавальних станціях

Аналіз стосувався середніх простоїв транзитних вагонів з переробкою та без переробки на основних сортувальних станціях (рис. 1), даних щодо простоїв вагонів на прикордонних передавальних станціях (рис. 2) та розмірів вантажного руху поїздів за добу. Крім того, до уваги було прийнято тарифну відстань між станціями [2] та середню дільничну швидкість окремо по кожній залізниці [1]. Для аналізу були обрані маршрути найбільш масових перевезень експортно-імпортних та транзитних вантажів, що переважно співпадають з напрямками міжнародних транспортних коридорів (рис. 3).

Маршрут 1: Чоп – Батєве – Стрий – Львів – Здолбунів – Шепетівка – Козятин – Дарниця – Конотоп – Хутір-Михайлівський – Зернове.

Маршрут 2: Тополі – Куп'янськ-сорт. – Основа – Полтава – Кременчук – Знам'янка – Одеса-сорт.

Маршрут 3: Чоп – Батєве – Стрий – Львів – Здолбунів – Шепетівка – Козятин – Фастів – Знам'янка – Нижньодніпровськ-вузол – Червоноармійськ – Яснувата – Іловайськ – Квашине.

Таблиця 1. Дані до аналізу часу просування транзитного вагонопотоку

№ п/п	Показник	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3
1.	Протяжність маршруту, км	1199	917	1663
2.	Сумарний час простоїв на приймально-передавальних станціях, год.	109,44	31,92	129,6
3.	Загальний час проходження транзиту без переробки, год.	158,68	80,53	203,9
4.	Загальний час проходження транзиту з переробкою, год.	220,59	179,07	304,69
5.	Відсоток часу знаходження на приймально-передавальних станціях від загального часу проходження транзиту без переробки, %	68,97	39,64*	63,56
6.	Відсоток часу знаходження на приймально-передавальних станціях від загального часу проходження транзиту з переробкою, %	49,62	17,83*	42,54

Наведені у табл. 1 дані щодо аналізу впливу затримок на прикордонних передавальних станціях більш детально представлені на рис. 4.

У таблиці розглянуто для трьох зазначених основних маршрутів перевезень два варіанти технології перевезень:

1) перевезення вагонними та груповими відправками, що відповідає просуванню транзитного вагонопотоку з переробкою на попутних технічних станціях;

2) перевезення маршрутами, що відповідає просуванню транзитного вагонопотоку без переробки (за винятком випадків переламу маси поїзда).

Результати аналізу вражають. Виявляється, що тривалість затримок може складати від 17 % до майже 70 % від загальної тривалості просування транзитного вагонопотоку. Наприклад, з табл. 1 видно, що тривалість затримок на

прикордонних передавальних станціях при перевезенні вагонними та груповими відправками може складати майже 50 % від загальної тривалості транзиту. А у випадку перевезення маршрутними відправками час затримок на прикордонних передавальних станціях сягає майже 70 % загальної тривалості транзиту, тобто саме при передачі вагонів суміжним іноземним залізницям практично нівелюється майже весь технологічно-економічний ефект від маршрутних міжнародних перевезень.



Рис. 3. Маршрути найбільш масових перевезень експортно-імпортних та транзитних вантажів

Експортні перевезення або транзит вантажу залізницями України від їх вхідних до вихідних станцій займають 2-3 доби і стільки ж можуть складати затримки вагонів на цих станціях. Подібні затримки можуть відбуватися і на вхідних станціях, але саме на вихідних станціях і суміжних з ними станціях іноземних залізниць країн Євросоюзу формується імідж України, як надійної європейської держави-транзитера.

Цю проблему добре усвідомлюють на залізницях України, як зазначено вище Головним комерційним управлінням УЗ (ЦМ УЗ) ведеться оперативний облік обсягів та основних причин затримки вагонів з експортно-імпортними та транзитними вантажами. Такий аналіз виконується з року в рік, при цьому картина істотно не змінюється. Не в останню чергу це може бути пов'язано з великою кількістю причин, а по суті – чинників, які зумовлюють затримку вагонів. На практиці облік та аналіз затримок вагонів здійснюється за 56-ма причинами. Очевидно, не всі вони однаково вагомі для управління процесом перетину кордонів вагонами і вантажами.

З теорії систем відомо, що для ефективного управління системою необхідно виявити найбільш вагомі керуючі фактори, що впливають на бажані рівні виходів системи. Наприклад, на час від прибуття вагона (поїзда) на вихідну прикордонну станцію до його здачі суміжній інозалізниці.

До можливих критеріїв виявлення основних причин затримок вагонів (за цими критеріями ведеться облік ЦМ УЗ) можна віднести:

- кількість затриманих за певною причиною вагонів;
- вагоно-години простою вагонів, затриманих за певною причиною;
- собівартість вагоно-годин простою вагонів, затриманих за певною причиною.

Останній критерій є найбільш «ненадійним», необ'єктивним через неможливість достатньої диференціації витратних ставок за родами вагонів, їх приналежністю тощо. Діленням сумарних вагоно-годин простою на кількість затриманих вагонів можна отримати допоміжний до другого критерій – середній час простою вагонів за певною причиною.

Проведений аналіз причин затримок 2005 – 2009 рр. за зазначеними критеріями (кількість затриманих за певною причиною вагонів, вагоно-години простою та середній час простою затриманих за певною причиною вагонів) показав, що 90 % всіх затриманих вагонів затримуються з 5 – 8 основних причин. При чому вже перші дві по кількості затриманих вагонів причини складають 50 – 80 % від загальної кількості затриманих вагонів (залежно від виду сполучення). А по кількості вагоно-годин простою, 10 – 12 причин складають 90 % від загальних. Перші дві причини-лідери по кількості вагоно-годин простою є так само керуючими і по кількості затриманих з цих причин вагонів. А саме, за видами сполучень:

експортні перевезення:

- 1) прибуття вагонів понад план;
- 2) технічний брак;

імпортні перевезення:

- 1) відсутність фінансової гарантії, підакцизної декларації;
- 2) технічний брак;

транзитні перевезення

- 1) прибуття вагонів понад план;
- 2) конвенційна заборона;
- 3) комерційний брак.

Першою за значимістю причиною затримки і для експорту, і для транзитних перевезень є надходження вагонів на вихідну станцію «понад план» (тобто з перевищенням погодженої між залізницями добової норми передачі), що й зумовлює їх затримку. З причини «технічний брак» трапляється більше половини затриманих вагонів з імпортними вантажами, в декілька разів рідше – експортними.

Наступні за значимістю причини суттєво відрізняються за видами сполучень. Характерними для експортних перевезень є затримки з причин відсутності календарного штампеля станції відправлення; заявок відправника, одержувача, експедитора.

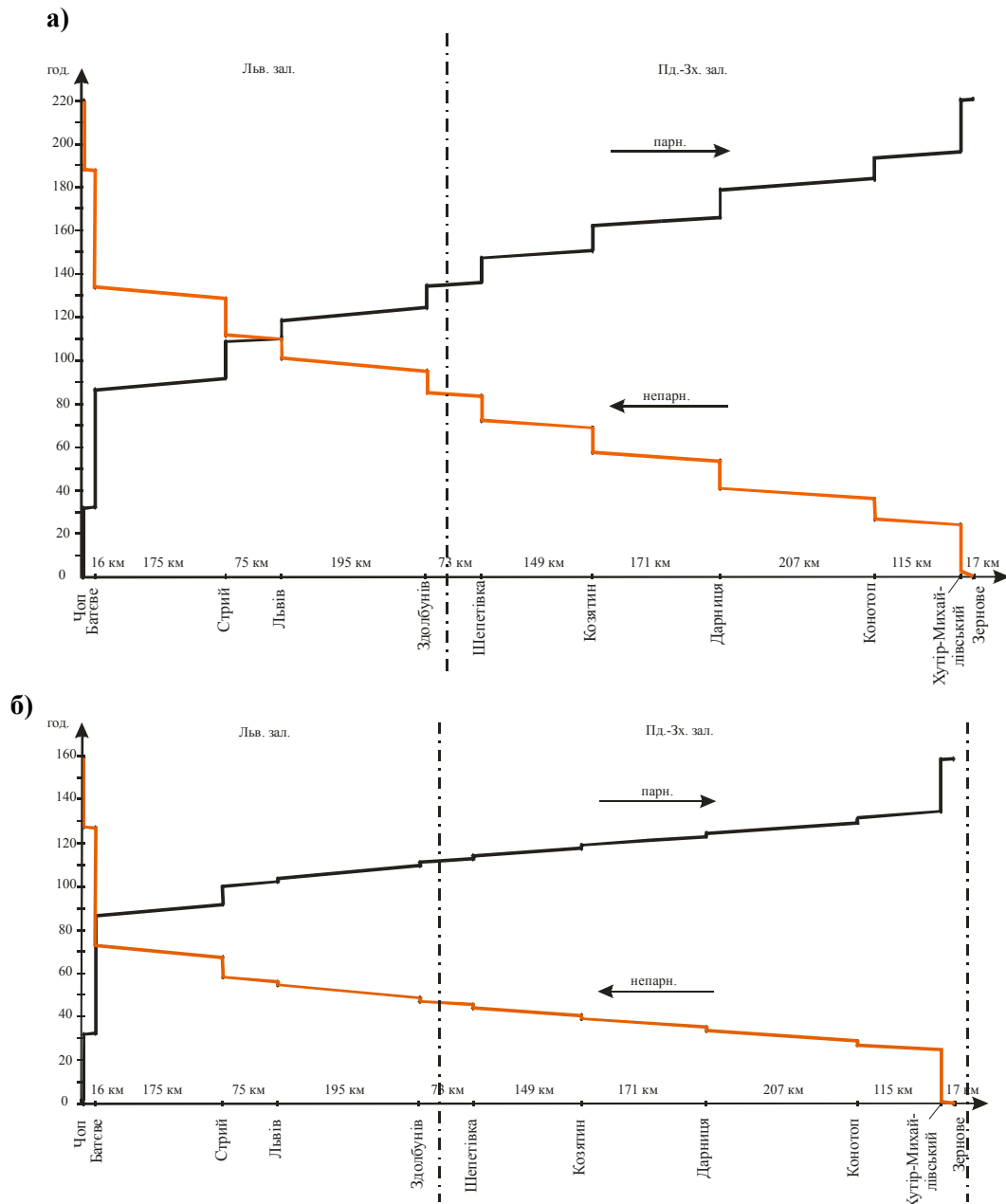


Рис. 4. Розрахунковий час просування транзитного вагонопотоку по маршруту 1:

- а) з переробкою на технічних станціях;
б) без переробки на технічних станціях

Для транзитних перевезень характерні такі причини затримки: відсутня оплата за транзит, за декларування по Укрзалізниці, за декларування по інозалізниці; порушення маршруту прямування; невідповідність пункту переходу; відсутність, невідповідність коду експедитора, закритий код експедитора по Укрзалізниці; відсутність, невідповідність кодів вантажу, валюти та ін.; конвенційна заборона.

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

Для імпорتنих перевезень – відсутність передавальної відомості, затримані карантинною службою, фітосанітарною службою.

Інші причини у різних видах сполучень (експорт, транзит, імпорт) наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Середньорічна кількість затриманих на прикордонних станціях вагонів $\Sigma n_{\text{сер}}$ та середній час затримки одного вагона з тієї чи іншої причини, $t_{\text{сер}}$ (2005 – 2009 рр.)

Код УЗ	Найменування причини	Експорт		Транзит		Імпорт	
		$\Sigma n_{\text{сер}}$, ваг.	$t_{\text{сер}}$, год.	$\Sigma n_{\text{сер}}$, ваг.	$t_{\text{сер}}$, год.	$\Sigma n_{\text{сер}}$, ваг.	$t_{\text{сер}}$, год.
33	Понад план	15322	25,13	13317	23,91	155	16,25
44	Технічний брак	1936	35,87	881	35,77	4346	20,50
43	Комерційний брак	422	31,78	844	32,81	267	45,85
18	Відсутня інформація в ЦБД	484	18,90	70	37,86	1325	34,19
5	Відсутня фінансова гарантія, підакцизна декларація	5	91,80	986	22,25	3021	33,04
35	Конвенційна заборона	94	87,54	1739	24,47	107	88,30
12	Відсутність, невідповідність, закриття коду експедитора	10	24,78	681	31,50	7	54,89
8	Невірно оформлені перевізні документи	142	44,92	422	35,01	48	64,43
19	Для митного огляду	327	41,07	375	42,51	412	38,05

З аналізу характеру причин затримок можна зробити висновки щодо місця, де відбуваються ці затримки – вхідні або вихідні прикордонні станції. Наприклад, для транзитних вантажів основні затримки відбуваються на вхідних станціях залізниць України, а для експортних – на вихідних.

Як впливають описані вище затримки вагонів на експлуатаційну роботу прикордонних станцій? Уявлення про це дає табл. 3, в якій наведено дані по вагоно-годинах затримок вагонів з експортно-імпортними та транзитними вантажами. За даними таблиці можна зробити простий перерахунок вагоно-годин у середню кількість вагонів робочого парку, що постійно знаходяться (і займають колії!) на прикордонних станціях з наведених вище причин.

$$n_{\text{затр.}}^p = \frac{\Sigma n t_{\text{сер}}}{365 \cdot 24}, \quad (1)$$

де $n_{\text{затр.}}^p$ – середня кількість вагонів робочого парку, що постійно знаходяться на прикордонних станціях, ваг.;

$\Sigma n t_{\text{сер}}$ – середньорічні вагоно-години затримок, ваг.-год.

Таблиця 3. Сумарні річні вагоно-години затримок з усіх причин за видами сполучень

Роки	Експорт	Імпорт	Транзит
2005	820 202	389 455	851 909
2006	1 082 881	364 795	935 331
2007	546 994	364 300	666 895
2008	273 801	595 530	590 805
2009	319 344	388 001	320 482
Σnt_c	608644,5	420416,2	673084,4
$n_{затр}^p$	69,5	48,0	76,8

Прийнявши середній склад поїзда, що прибуває на вихідну передавальну станцію на Західному кордоні України, 55 фізичних вагонів отримаємо, що затримані вагони з експортними вантажами постійно потребують у середньому одну приймально-відправну колію довжиною 850 м, майже стільки ж вагони з затриманими імпорними вантажами і майже двох колій постійно потребують затримані вагони з транзитними вантажами. Але це у середньому.

Враховуючи те, що основні затримки вагонів відбуваються по 1 – 2 максимум 3-х прикордонних станціях кожної залізниці, а також те, що вагоно-години затримок залежать від обсягів перевезень і суттєво коливаються по роках (табл. 3), можна зробити висновок, що обмеження пропускної спроможності прикордонно-передавальних станцій для міжнародних вагонопотоків можуть бути дуже суттєві.

Основну причину, що зумовлює затримки вагонів (прибуття «понад план»), очевидно, повністю усунути на самих прикордонних станціях неможливо. Тому необхідно розробити «компенсаційні» заходи щодо зменшення цих затримок на підходах вагонопотоків до кордону.

Таким чином, основні резерви прискорення просування міжнародних вантажопотоків залізницями України полягають у вдосконаленні як загалом планування перевезень експортних та транзитних вантажів, так і зокрема, прогнозування і оперативного планування та регулювання підведення міжнародних вагонопотоків до прикордонних передавальних станцій.

Отримані результати аналізу є основою для побудови математичних моделей транспортування міжнародних вантажопотоків, з урахуванням мінімізації їх затримок на прикордонних станціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довідник основних показників роботи залізниць України (1997-2007 роки). – 2008. – 44 с.
2. Тарифное руководство № 4 железных дорог Украины: Нормативное производственно-практическое издание. – К.: Государственная администрация железнодорожного транспорта Украины, 2000. – 403 с.

УДК 656.073.235

Павло Шилаєв

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ

Розглядаються питання підвищення ефективності перевезень вантажів інтермодальним транспортом. Порівнюються недоліки та переваги трейлерних, контейнерних, контрейлерних та роудрейлерних перевезень. Запропонована уніфікація кузовів залізничних вагонів та автотранспортних засобів. Побудовані математичні моделі: графи станів та диференціальні рівняння для проведення досліджень та обирання оптимального технічного оснащення.

Рассматриваются вопросы повышения эффективности перевозок грузов интермодальным транспортом. Сравниваются недостатки и преимущества трейлерных, контейнерных, контрейлерных и роудрейлерных перевозок. Предложена унификация кузовов железнодорожных вагонов и автотранспортных средств. Построены математические модели: графы состояний и дифференциальные уравнения для исследования и выбора оптимального технического оснащения.

We have examined the questions of intermodal freight traffic efficiency improving; compared the advantages and disadvantages of trailer, container, piggyback and roadrailer traffic; proposed the unification of the body of railway cars and vehicles. We have built mathematical models: state graphs and differential equations for the study and optimal technical equipment selection.

Вступ. Розвиток міжнародної торгівлі, який визначається інтеграцією України в європейську співдружність (ЄС), без сумніву стимулює удосконалення технології інтермодальних перевезень вантажів. Основні перевезення вантажів в ЄС виконує автомобільний транспорт – 44 %.

Проблеми транспорту ЄС. Транспортний сектор в ЄС вживає приблизно 410,6 млн. т нафтового еквівалента (2007 р.), при цьому доля вживання енергії дорожнім транспортом найбільш велика та складає 74 %. Залізничний транспорт вживає тільки 22 %. Зростання автомобільних перевезень суттєво випереджають їх збільшення залізницями.

Так, показник автомобільних перевезень, що вимірюється в тонно-кілометрах (вантажообіг) склав 4,58 %, а залізничного тільки 1,96 %.

Основні проблеми транспорту ЄС. Згідно з даними Європейського агентства з охорони навколишнього середовища, доля транспорту в загальному обсязі викидів парникових газів склала 27,4 % від обсягів викидів вуглекислого газу в ЄС у 2007 р.

© Шилаєв П. С., 2011

Викиди парникових газів у 2007 р. автотранспортом склали 72,6 % від загального обсягу викидів парникових газів усіма видами транспорту. Транспорт є головним джерелом шуму у населених пунктах. Близько 30 % населення 15 країн ЄС або ж 120 мільйонів людей знаходиться під дією шуму дорожнього транспорту з рівнем більше ніж 55 дБ(А). Таким чином, збільшення перевезень дорожнім транспортом супроводжується: забрудненням навколишнього середовища, шумом, споживанням значної кількості палива, дорожніми пригодами з травмуванням та загибеллю пішоходів у кількості 29-30 осіб на один мільярд пасажиро-км. Тільки в Україні на дорогах під колесами автотранспортних засобів гине близько 7,5 тис. людей за рік. У цілому ж на шляхах світу гине близько одного мільйона та 10 мільйонів осіб отримують важкі травми.

Вирішення проблеми. Основним напрямком вирішення проблем транспорту ЄС є збільшення долі перевезень залізничним транспортом за рахунок удосконалення технології інтермодальних перевезень вантажів. Існують чотири основні способи взаємодії залізничного і автомобільного транспорту:

- трейлерні перевезення;
- контрейлерні (комбіновані) перевезення;
- роудрейлерні перевезення;
- контейнерні перевезення.

При трейлерних перевезеннях залізничні вагони прямують до вантажоодержувача на спеціальних платформах по шосе. У цьому випадку має місце значний «мертвий вантаж» – залізничні візки та посилені рами вагона.

При контрейлерних (комбінованих) перевезеннях, що є найбільш розповсюдженими, вантажний модуль завантажується на платформу і у цьому випадку «мертвим вантажем» є тягач разом з причепом.

Більш економічно вигідним є варіант перевезення, при якому на залізничній платформі прямує тільки причеп з вантажем. Але ж у цьому випадку причеп є «мертвим вантажем». В Євросоюзі існують роудрейлерні перевезення, при яких змінюється тільки рухома частина – візки, залежно від виду шляху. При прямованні залізницею підкочується залізничний візок, а автовізок прямує у підвішеному стані до станції призначення.

Але ж перші три мають суттєвий недолік – наявність «мертвої ваги». Немає сумніву, що найбільш ефективними є контейнерні перевезення вантажів. До основних недоліків контейнерних перевезень вантажів слід віднести незадовільне використання вантажопідйомності вагона, на якому прямує контейнер, незначні розміри контейнера, менший об'єм порівняно з об'ємом кузова критого вагона, не повне використання загального габариту навантаження при залізничних перевезеннях та, як наслідок, менші обсяги перевезень вантажів. Цим і поступаються перевезення вантажів в контейнерах вагонним відправкам.

Цей недолік ліквідується за рахунок застосування стандартизації та уніфікації кузовів залізничних вагонів та автотранспорту, так як вантажопідйомність автотранспорту та розміри його кузова практично зрівнюється з вантажопідйомністю та розмірами кузова залізничного вагона. Запропонована технологія передбачає переставлення кузова вагона на рухома частину автотранспорту та у зворотному напрямку (або ж підкочування відповідних візків) і рекомендується для застосування у прямих змішаних залізнично-автомобільних сполученнях, а також при доставленні вантажу до станції відправлення та вивезення його зі станції призначення вантажоодержувачу.

Граф станів руху змінного кузова вагона (автотранспорту) може бути представлений у виразі

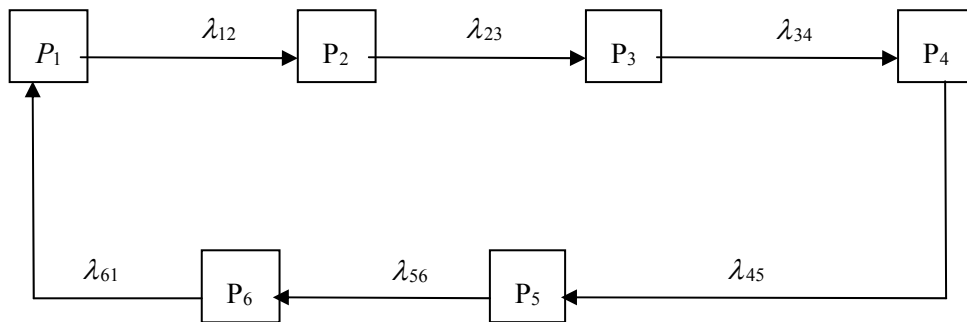


Рис. 1. Граф станів руху змінного кузова вагона (автотранспортного засобу)

P_1 – під вантажними операціями у власників вантажів;

P_2 – на шляху прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля;

P_3 – перевантаження на залізничну рухому частину;

P_4 – рух в складі вантажного поїзда;

P_5 – перевантаження на автотранспортну рухому частину на станції призначення;

P_6 – рух в складі вантажного модуля до вантажоодержувача.

Система диференціальних рівнянь відповідно до рис. 1

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dP_1}{dt} &= \lambda_{61} P_6 - \lambda_{12} P_1; \\
 \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_{12} P_1 - \lambda_{23} P_2; \\
 \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{23} P_2 - \lambda_{34} P_3; \\
 \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_{34} P_3 - \lambda_{45} P_4; \\
 \frac{dP_5}{dt} &= \lambda_{45} P_4 - \lambda_{56} P_5; \\
 \frac{dP_6}{dt} &= \lambda_{56} P_5 - \lambda_{61} P_6.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Нормувальна умова

$$\begin{aligned}
 P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 &= 1; \\
 P_1 &= [1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)] \\
 \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_{12} [1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)] - \lambda_{23} P_2; \\
 \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{23} P_2 - \lambda_{34} P_3; \\
 \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_{34} P_3 - \lambda_{45} P_4; \\
 \frac{dP_5}{dt} &= \lambda_{45} P_4 - \lambda_{56} P_5; \\
 \frac{dP_6}{dt} &= \lambda_{56} P_5 - \lambda_{61} P_6.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Система диференціальних рівнянь досліджується за початковими умовами

$$t_1 = 0; P_2 = 1; P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = 0.$$

Складемо систему диференціальних рівнянь динаміки середніх (рис. 1)

$$\begin{aligned}
 \frac{dm_2}{dt} &= \lambda_{12} [1 - (m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6)] - \lambda_{23} n; \\
 \frac{dm_3}{dt} &= \lambda_{23} m_2 - \lambda_{34} m_3; \\
 \frac{dm_4}{dt} &= \lambda_{34} m_3 - \lambda_{45} m_4; \\
 \frac{dm_5}{dt} &= \lambda_{45} m_4 - \lambda_{56} m_5; \\
 \frac{dm_6}{dt} &= \lambda_{56} m_5 - \lambda_{61} m_6;
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

де m_2, m_3, m_4, m_5, m_6 – середні чисельності станів руху змінного кузова вагона (автотранспортного засобу); $m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 = N$.

Математична модель руху контрейлерного поїзда може бути представлена у виразі (рис. 2)

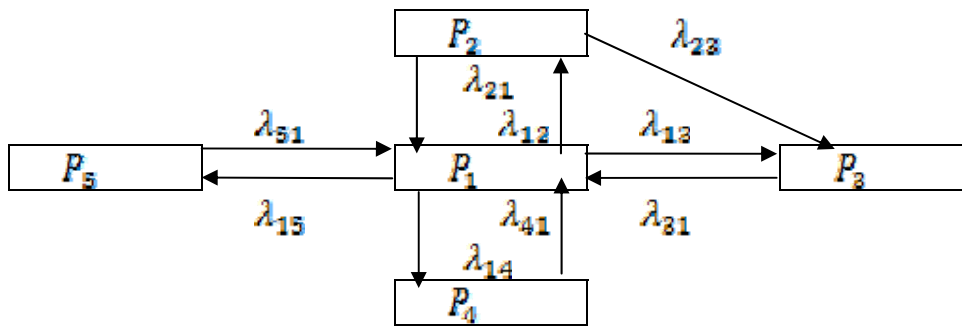


Рис. 2. Граф станів руху контрейлерного поїзда (комбінованого транспорту)

Згідно з графом станів (рис. 2) прийнято

P_1 – рух контрейлерного поїзда;

P_2 – під розвантаженням;

P_3 – під навантаженням;

P_4 – на технічній станції;

P_5 – на прикордонній передавальній станції.

Система диференціальних рівнянь Колмогорова для графу станів рис. 2 представлена у виразі

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15})P_1 + \lambda_{21} P_2; \\ \frac{dP_2}{dt} &= -(\lambda_{21} + \lambda_{23})P_2 + \lambda_{12} P_1; \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{23} P_2 + \lambda_{13} P_1 - \lambda_3 P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_{14} P_1 - \lambda_{41} P_4; \\ \frac{dP_5}{dt} &= \lambda_{15} P_1 - \lambda_{51} P_5. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Нормувальна умова
для контрейлерного поїзда

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1;$$

$$P_1 = 1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5).$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_2}{dt} &= -(\lambda_{21} + \lambda_{23})P_2 + \lambda_{12}[1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5)]; \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{23}P_2 + \lambda_{13}P_1 - \lambda_{31}P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_{14}P_1 - \lambda_{41}P_4; \\ \frac{dP_5}{dt} &= \lambda_{15}[1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5)] - \lambda_{51}P_5 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Алгебраїчна система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} -(\lambda_{21} + \lambda_{23})P_2 + \lambda_{12}[1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5)] &= 0; \\ \lambda_{23}P_2 + \lambda_{13}P_1 - \lambda_{31}P_3 &= 0; \\ \lambda_{14}P_1 - \lambda_{41}P_4 &= 0; \\ \lambda_{15}[1 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5)] - \lambda_{51}P_5 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Розроблені моделі дозволяють докладно досліджувати перехідні процеси при появі черг, можливість їх ліквідування та час на нормалізацію ситуації в кожній системі за допомогою математичного програмування MatLab.

ЛІТЕРАТУРА

1. Котенко А.М., Шевченко В.І., Шилаєв П.С. Удосконалення технології перевезення універсальних контейнерів в транспортних коридорах України// Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків, 2010. – Вип. 30. – С. 179
2. Луханін М.І. Технологічні процеси при залізничних контейнерних перевезеннях: Монографія. – 2004. – 180 с.
3. Лючков Д.С., Мудренко Д.А., Гузенко М.М., Авдєєв І.П. Аналіз розвитку контрейлерних перевезень в Україні// Зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 112. – С. 112-115.
4. Железнодорожный коридор для перевозки контейнеров в два яруса // Железные дороги мира. 2010. С. 16 – 20.
5. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Частина 1. Тов. «Видавничий дім «Сам»», 2004. – 431 с.
6. Котенко А.М., Шилаєв П.С., Шевченко В.І. Проблеми використання місткості та вантажопідйомності контейнерів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 1/5(43) 2010. – С. 48-52.
7. Джонсон, Джеймс, Вуд, Дональд, Ф., Вордлоу, Дениел, Л., Мерфи-мл., Поль, Р. Современная логистика, 7-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 624 с.: ил. – Парал. тит. англ.
8. Ржевский С.В., Александрова В.М. Дослідження операцій: Підручник. – Київ: «Академвидав», 2006. – 558 с.
9. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: «Советское радио», 1972. – 552 с.
10. Котенко А.М., Кулешиов А.В. Удосконалення методів прогнозування обсягів перевезень та використання елементів інфраструктури Укрзалізниці у транспортних коридорах: Теза допов. на шостій науково-практичній міжнародній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» 7-12 червня 2010 р., смт. Коктебель.

АВТОРИ СТАТЕЙ ВИПУСКУ

Азарков Олександр Володимирович – аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Білан Степан Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Бойко Володимир Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Бондаренко Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Брайковська Надія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Вагони», проректор з науково-педагогічної роботи Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Висоцька Галина Сергіївна – асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Габа Василь Васильович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Управління процесами перевезень», проректор з організації підвищення кваліфікації і підготовки кадрів Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Гирич Вікторія Юрївна – кандидат технічних наук, асистент кафедри «Організація авіаційних перевезень» Інституту економіки і менеджменту Національного авіаційного університету.

Горячев Юрій Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Прикладна механіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Даніленко Едуард Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Демченко Володимир Олексійович – старший викладач кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Олександра Юрївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Юрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Будівельні матеріали та хімія» Національного транспортного університету, м. Київ.

Дячук Олег Петрович – системний адміністратор Рахівського районного центру зайнятості України.

Зайцев Володимир Олександрович – кандидат технічних наук, проректор з науково-виробничих питань та перспектив розвитку Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Іванов Вадим Борисович – кандидат технічних наук, доцент Національного транспортного університету.

Ільницька Алла Василівна – аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Іщенко Вадим Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Вагони» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Карпінський Сергій Леонідович – аспірант, асистент кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кириченко Ганна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Ковальчук Вікторія Валентинівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косарчук Валерій Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косенко Віталій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Загальне машинознавство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Крижановська Тетяна Василівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Крюков Микола Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Курган Дмитро Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Куропятник Олексій Сергійович – здобувач, асистент кафедри «Прикладна механіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Лазнюк Михайло Васильович – кандидат технічних наук, головний конструктор ТОВ «ПЕМ Україна» (Zeman Group).

Лобас Леонід Григорович – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Транспортної академії України, дійсний член Нью-Йоркської академії наук.

Лобас Людмила Геннадіївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Ломотько Денис Вікторович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків.

Манько Анатолій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Мацюк В'ячеслав Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Мироненко Віктор Кімович – доктор технічних наук, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Міхно Наталія Леонідівна – інженер-програміст Центру дистанційного навчання Київського національного економічного університету ім. В. Гетьмана.

Моторнюк Руслан Леонідович – інженер Інформаційно-обчислювального центру Південно-Західної залізниці.

Наконечна Світлана В'ячеславівна – здобувач, викладач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Обуховський Володимир Віталійович – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Вагони» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Панов Сергій Львович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Машини та агрегати поліграфічного виробництва» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Родкевич Оксана Григорівна – старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Рудницька Олександра Олександрівна – студентка Вищої школи бізнесу і права ім. Лазарського.

Рудницький Олександр Геннадійович – старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки Національної академії наук України.

Семененко Тетяна Миколаївна – старший викладач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сорока Ольга Олексіївна – аспірантка кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Стрелко Олег Григорович – кандидат історичних наук, декан факультету «Управління залізничним транспортом», доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Табаків Валерій Зіновійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інформаційні системи та технології» Інституту підготовки кадрів державної служби зайнятості України.

Таланов Геннадій Павлович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Тарасюк Василь Миколайович – заступник головного технолога ВАТ «Київський електровагоноремонтний завод».

Твердомед Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Тюнін Віктор Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Загальне машинознавство» Державного економіко-технологічного університету транспорту».

Шилаєв Павло Сергійович – аспірант кафедри «Управління вантажною та комерційною роботою» Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків.

Шляхова Тетяна Євгенівна – здобувач, старший інспектор відділу кадрів Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків.

Яковенко Владислав Сергійович – аспірант, асистент кафедри «Економічна кібернетика» Державного університету інформатики і штучного інтелекту (м. Донецьк).

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 розміщено;
- 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 18

Редактор: Л.В. Пономаренко

Відповідальний за випуск В. І. Данилевський

Комп'ютерна верстка: Н. Г. Книш, В. О. Андрієнко

Підписано до друку 12.04.2011 р. Формат 60х90¹/8.
Папір для тиражувальних апаратів. Гарн. Таймс.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 18,5. Обл.-вид. арк. 14,37.
Наклад 150 прим. Зам. № 35-2/11.

Надруковано в редакційно-видавничому центрі ДЕТУТ
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007 р.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19

Примітка: у збірнику № 17 стор.181 вважати як стор.183, стор. 182 – як стор. 181,
стор. 183 – як стор. 182.