

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

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ДЕРЖАВНОГО
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

СЕРІЯ

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

ВИПУСК 25

Київ·ДЕТУТ·2014

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 25. – К.: ДЕТУТ, 2014. – 196 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 і працівників транспорту та зв'язку.

Редакційна колегія:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Статті збірника рецензували члени редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 1 від 16 вересня 2014 р.).

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

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

© Державний економіко-технологічний університет транспорту, 2014

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М.</i> Взаємозв'язок структури та властивостей бетону для транспортних споруд	5
<i>Гречко А. В., Шелейко Т. В., Водянніков Ю. Я., Єськов Д. І.</i> Розрахунково-експериментальний метод оцінювання ефективності системи протиязного захисту поїзда метро	15
<i>Грицук І. В.</i> Визначення параметрів системи прогріву транспортного двигуна з тепловим акумулятором фазового переходу на основі ексергетичного аналізу	25
<i>Брайковська Н. С., Белевцова Н. Л.</i> Випробування металу при складному навантаженні по дволанкових траєкторіях з проміжним розвантаженням	37
<i>Брайковська Н. С., Белевцова Н. Л.</i> Розрахунок дволанкових процесів активного навантаження із застосуванням теорії процесів малої кривизни	42
<i>Кульбовський І. І., Азарков О. В., Ящук В. І.</i> Метрологічне забезпечення акустичних вимірювань вібраційного впливу від поїздів метрополітену на конструкцію тунелю	46
<i>Єфименко А. М.</i> До моделювання динаміки візка монорейкового вагона	51
<i>Онищенко А. М.</i> Експериментальний метод випробування інтегрального показника стійкості до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону у вигляді колії	56
<i>Велінець В. П.</i> Аналіз робіт по дослідженню горизонтального вигину і кручення рейкової нитки	63
<i>Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., Тицишин О. І.</i> Метод зменшення вищих гармонік в напрузі живлення приводу допоміжних машин електровозів серії ВЛ80 ^{Т,К}	71
<i>Настечик М. П., Маркуль Р. В.</i> Експериментальні дослідження взаємодії рухомого складу та залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5	80

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

<i>Бабанін О. Б., Горобченко О. М.</i> Визначення цільової функції для оптимізації процесу керування в ергатичній системі «Машиніст – СППР – Поїзд» на підставі критерію корисності	92
<i>Андрейцев А. Ю., Клецька Т. С., Кільчинський О. О.</i> Про вдосконалення методики перевірки складних статистичних гіпотез при аналізі своєчасності доставки вантажів	99

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Білан С. М., Колочун О. О.</i> Метод стеганографічного приховування інформації на основі модифікованих контейнерів	107
<i>Колосовський О. І.</i> Метод відеоспостереження за рухомими об'єктами на основі технології паралельного зсуву для матричних дискретних структур	114
<i>Сулим А. А., Сиора А. С., Мельник А. А., Федоров В. В.</i> Программное обеспечение для автоматизации расчетов энергоемкости накопителя при возникновении аварийных режимов в системе энергообеспечения метрополитена	121
<i>Коротун І. А.</i> Проектування мережі зв'язку на основі NGN-технології	131
<i>Статтю вилучено у зв'язку з виявленням плагіату</i>	139
<i>Герцій О. А., Григор'єв А. О.</i> Дослідження безпроводних IP мереж Wi-Fi	146
<i>Гайденок О. С.</i> Методологічні концепції розвитку інформаційних технологій оперативного керування тяговими електромережами.....	153

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

<i>Савельєва І. В., Дрожжін О. Л.</i> Моделювання оптимального маршруту руху фідерних контейнеровозів	162
<i>Родкевич О. Г.</i> Застосування математичного апарату теорії масового обслуговування для моделювання наслідків транспортних подій.....	171
<i>Щербина Р. С.</i> Пріоритетні напрямки розвитку транспортної логістики.....	183
<i>Мироненко В. К., Грушевська Т. М., Родкевич О. Г.</i> Математична модель організації залізничних приміських пасажирських перевезень на конкурентному транспортному ринку.....	189

УДК 666.972.16

О. Ю. Дорошенко, к.т.н., доцент

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

Ю. М. Дорошенко, к.т.н., доцент

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

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

У статті розглянуті питання підвищення стійкості бетону транспортних конструкцій до дії заморожування й відтавання за рахунок зміни його структури з метою створення системи замкнутих пор малого діаметра при одночасному зниженні капілярної пористості. Додаткового підвищення морозостійкості можна домогтися за рахунок дисперсного армування.

Ключові слова: бетон, транспортні конструкції, структура, замкнуті пори, капілярна пористість.

В статье рассмотрены вопросы повышения стойкости бетона транспортных конструкций к действию замораживания и оттаивания за счет изменения его структуры с целью создания системы замкнутых пор малого диаметра при одновременном снижении капиллярной пористости. Дополнительного повышения морозостойкости можно добиться за счет дисперсного армирования.

Ключевые слова: бетон, транспортные конструкции, структура, замкнутые поры, капиллярная пористость.

Довговічність бетону, визначається в основному швидкістю корозійних процесів інтенсивності всіх видів корозії залежить від щільності й проникності бетону [1]. Проблеми підвищення водонепроникності бетонів присвячені роботи В. І. Бабушкіна, В. В. Стольникова й інших вчених. Основним структурним показником, що визначає проникність бетону в умовах напірної дії води, є його порово-капілярна структура. В. М. Москвін [1] розрізняв два типи структур у цементному камені: пори, розділені твердою фазою й ізольовані. Самі пори являють собою канали різного ступеня звивистості. В роботі [2] розрізняються пори гелеві, контракційні й капілярні. А. Е. Шейкін [3] вважає, що пори в цементному камені й бетоні представлені переважно у вигляді з'єднаних тонких каналів капілярів, які на більш пізніх стадіях твердіння бетону роз'єднуються цементним гелем. У гелі теж присутні пори, однак набагато менших розмірів.

© Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., 2014

Відстань між поверхнями твердих фаз цементного гелю, тобто середній розмір гелієвих пор, становить усього $15...30 \times 10^{-8}$ см, однак Т. К. Пауерс [4] вважав, що через них може проникати рідина.

Залежно від розмірів і властивостей води, що заповнює пору, Ф. М. Іванов [1] розрізняв: ультрамікропори з діаметром менш $100 \text{ \AA}$, у яких є проміжки, близькі до розмірів молекул і в яких молекули води знаходяться під впливом дії поверхневих сил твердої фази і мають аномальні властивості; мікропори розміром $100 - 1000 \text{ \AA}$, у яких властивості води значною мірою обумовлюються впливом поверхні твердої фази, особливо з урахуванням неоднорідності перетину пор; макропори діаметром більше $1000 \text{ \AA}$, у яких властивості основної кількості води, крім її сорбційного шару, не відрізняються від властивостей вільної води. При цьому в дійсності пори мають досить складну неправильну форму змінного перетину, простір яких піддається дії молекулярних поверхневих сил.

В. М. Москвин і Г. І. Горчаков [1, 2] вважали основною умовою для непроникувості бетону рідинами створення тонкопористої структури матеріалу з перевагою пор розміром менше 1 мікрона. Про значення розміру пор у керуванні водонепроникністю бетону йде мова у роботах [5], де засвідчено, що при однаковому загальному об'ємі пор проникність може відрізнятися в десятки разів залежно від їхнього розміру.

Ю. В. Чеховський [6] аналогічно стверджував, що по параметрах пористості бетону можна лише приблизно робити висновки про його проникність. Для матеріалу що має з'єднані капіляри змінного перетинання, водонепроникність визначається діаметром каналів, а не середнім розміром більших і малих пор. Оскільки пори з'єднуються саме капілярами, їхня характеристика є визначальною для проникності бетону. Ф. М. Іванов також довів, що проникність бетону залежить не від загальної або диференціальної пористості, а від наскрізної або ефективною [7].

Вплив виду великого заповнювача на морозостійкість вивчено у роботі [8]. Показано, що бетони на щебені за інших рівних умов мають у три рази більшу морозостійкість, ніж бетони на гравії. Це пояснювалося тим, що щебені за рахунок своєї шорсткуватої та кузоватої форми «створює більш щільну структуру заповнювачів», ніж гравій, а також має краще зчеплення із цементним каменем.

В. Б. Ратинів вказував [9], що при прогнозуванні довговічності бетону в сульфатомістких середовищах слід враховувати, з одного боку, кінетику утворення гідросульфоалюмінату кальцію, тобто хімічні аспекти сульфатостійкості, а з другого, умови передачі етрингітом кристалізаційного тиску на стінки пор. Можливості й шляхи зменшення внутрішніх напружень, що виникають при кристалізації гідросульфоалюмінату кальцію залежать від фізичних аспектів корозії.

Заповнювачі бетону можна вважати стійкими (інертними) до хімічних впливів, тобто довговічність у сульфатомістких середовищах забезпечується стійкістю цементного каменю. Серед двох найвідоміших методів підвищення сульфатостійкості бетону – застосування пуцоланових добавок і обмеження вмісту C_3A в клінкері, але пуцоланові добавки можуть негативно позначатися на проникності бетону й на величинах його набухання й усадки. Таким чином, для забезпечення довговічності бетону треба застосовувати сульфатостійкі цементи, у яких обмежений вміст трикальцієвого алюмінату. Крім того, зниження проникності бетону є додатковим чинником, що знижує інтенсивність всіх хімічних впливів. Н. К. Розенталь вказував [10], що з підвищенням водонепроникності бетону з марки W8

до W20 розрахунковий термін служби бетону в сульфатних середовищах збільшується в півтора – три рази.

В. Б. Ратинів і Т. І. Розенберг відзначали аналогію між деструктивними процесами, що проходять у бетоні при морозному руйнуванні або під дією сульфатів [5], при яких руйнування протікає через утворення й розвиток мікротріщин. Опираючись на такі висновки можна також стверджувати, що методи керування структурою, застосовувані з метою підвищення морозостійкості, також сприяють додатковому забезпеченню довговічності бетону в сульфатному середовищі.

У цілому, можна визнати, що для бетону швидкість хімічних реакцій набагато більше швидкості дифузії речовин у пористій структурі, а відповідно вирішальним фактором у більшості випадків є її проникність [10]. Тобто для зниження впливу солей і агресивних хімічних середовищ на структуру бетону необхідно максимально знизити його проникність. Для підвищення довговічності матеріалу в умовах корозії третього виду можна застосовувати методи, аналогічні методам підвищення водонепроникності й зниження капілярного підсмоктування.

Для зниження деструктивних дій усадки й набухання, як свідчать наукові дані, необхідно оптимізувати крупність (зерновий склад), кількість і співвідношення заповнювачів для бетону. Також домогтися значного ефекту в зниженні усадки матеріалу і його технологічного пошкодження дозволяє застосування тонкодисперсних наповнювачів. Бажано мінімізувати витрати цементу в бетоні, як основного джерела гелевої складової [11], однак дорожні бетони вимагають досить значних дозувань цементу для забезпечення потрібних властивостей, тобто даний метод практично не застосовуваний.

Основним показником якості, що визначає довговічність матеріалу в умовах динамічних впливів, є його ударостійкість. Для підвищення ударостійкості треба максимально знизити крихкість матриці матеріалу. Одним з відомих методів зниження крихкості є застосування часток, що демпфірують, [12] – керамзитового піску тощо

Розглядаючи дрібнозернистий бетон (МЗБ), можна зробити висновок про доцільність його застосування в дорожніх цементобетонних покриттях замість звичайного бетону. Це підтверджується численними дослідженнями в цьому напрямі [13]. При цьому встановлено, що властивості МЗБ визначаються тими самими факторами, що й звичайного бетону. Однак, МЗБ має деякі особливості, обумовлені його структурою, для якої характерні більша однорідність і дрібнозернистість, високий зміст цементного каменю, відсутність твердого кам'яного кістяка, підвищена пористість і питома поверхня твердої фази.

У роботі [14], показано, що міцність пористих матеріалів визначається кількістю числа контактів на одиницю поверхні й середньої міцності індивідуального контакту. При переході до МЗБ, зменшення розмірів часток і ущільнення їхнього упакування приводить до збільшення числа контактів. У цьому випадку збільшується й сумарна сила зчеплення між цементним каменем і заповнювачем, що відіграє важливу роль у сприйнятті напруг. Отже, відповідно до структурної теорії міцності бетону, це має впливати на якість МЗБ.

Вивчаючи механізм руйнування бетонів різної структури, автор [15] дійшов висновку про те, що для бетону дорожнього покриття, що сприймає більші змінні розтяжні навантаження, оптимальна крупність заповнювача не повинна бути більше 10 мм. У роботах [30 і ін.] відзначається можливість одержання бетону більш високої міцності на розтягування при зменшенні розміру міжзернових прошарків

цементного каменю й збільшенні до максимально можливої товщини прошарків розчинної складової. На думку [16], це пояснюється тим, що в МЗБ первинні активні тріщини зароджуються при більш високих середніх напругах, ніж у грубозернистого бетону. Крім того, коли активні тріщини зустрічають міцні зерна заповнювача, то вони припиняють свій розвиток і поруч утворюються нові тріщини, тобто має місце ефективне гальмування росту активних тріщин структурним кістяком. У зв'язку із цим, МЗБ відрізняються підвищеною міцністю на розтягання, більшою деформативністю й витривалістю. Це підтверджується й дослідженнями, наведеними в [17], де показано, що при підвищенні коефіцієнта розсунення зерен щебенів розчинної складової з 1,7 до 2,5, тобто при переході до більш дрібнозернистої структури з більшою контактною поверхнею міцність бетону на розтягання при вигині збільшується на 5...10%.

МЗБ краще сприяє напрузі розтягування [18]. Відношення $R_{\text{виг}}/R_{\text{ст}}$ у піщаного бетону дорівнює 0,15...0,25, а у звичайного бетону – 0,10...0,15. Міцність МЗБ на розтягання в порівнянні з рівномічним по стиску звичайним, важким бетоном може бути на 20...30% вище. Це пояснюється зниженням зі зменшенням крупності заповнювача ймовірності появи мікродфектів, обумовлених усадкою й седиментаційними явищами при твердінні цементного клею, а також збільшенням однорідності бетону. Підвищена міцність МЗБ на розтягування повинна вплинути на забезпечення довговічної роботи цементобетону в дорожніх покриттях.

Встановлено, що МЗБ більш деформативний, ніж бетон з великим заповнювачем [19]. За даними вказаних дослідників граничні деформації при руйнуванні МЗБ трохи перевершують аналогічні деформації звичайного бетону. Модуль пружності МЗБ на 30...50% нижче, ніж у рівномічних звичайних бетонів. Відсутність у МЗБ твердого каркаса (відсутність великого заповнювача) і більш високий зміст цементного каменю є причиною його підвищеної деформативності, що на 20...25% більше, ніж у звичайного бетону. У роботі [19] при вивченні закономірності зміни міцності МЗБ в армоцементних конструкціях було виявлено також, що при $V/C = 0,30$ залежність міцності від витрати цементу прямолінійна. Зменшення витрати цементу призводить до різкого зниження міцності бетону. А при $V/C = 0,40$ і вище найвища міцність бетону досягається при оптимальному співвідношенні між цементом і піском, при якому досягається максимальна щільність бетонної суміші. Отже, шляхом регулювання співвідношення між цементом і піском, а також V/C , можна одержати МЗБ із заданою міцністю. Ці особливості можна пояснити, розглядаючи структуру МЗБ при різних значеннях C/P і V/C .

Витрати цементу й V/C визначають якість і консистенцію цементного тіста й якість цементного каменю. Цементне тісто в бетоні витрачається на обмазку зерен заповнювача й заповнення міжзернових порожнеч. При недостатній кількості цементного тіста, його вистачає тільки на обмазку зерен і тому міжзернові порожнечі залишаються незаповненими, а при надлишку цементного тіста, воно заповнює всі міжзернові порожнечі й розсовує зерна заповнювача на певну відстань. Це значить, що за інших рівних умов відносний вміст піску (C/P) буде визначати структуру МЗБ.

У зв'язку із цим у роботах [20], виділяється два типи конгломератної структури МЗБ. Перший тип структури – це щільні МЗБ із мінімальним змістом затисненого повітря ($V_v < 3...5\%$). У них значна концентрація цементного каменю стосовно міжзернового обсягу порожнеч забезпечує поряд з обмазкою поверхні заповнювача й повне заповнення цього обсягу; структура бетону характеризується підви-

щеною умовною товщиною шару цементного каменю на одиницю поверхні заповнювача, що становить більше 20...25 мкм. Для цієї структури залежність $R_6 = f(V/\Omega)$ практично не пов'язана з концентрацією цементного каменю.

Другий тип структури характеризується підвищеним змістом затисненого повітря ($V_B > 3...5\%$); менш значною концентрацією цементного каменю, що забезпечує обмазку зерен заповнювача, але неможливістю повністю заповнити міжзерновий обсяг; у цій структурі величина умовної товщини шару цементного каменю на одиницю поверхні заповнювача становить 16...19 мкм.

При переході до другого типу структури відзначається більше стабільна залежність міцності на розтягання при вигині від параметрів складу через підвищену роль цементного каменю як мінерального клею. На залежність $R_6 = f(V/\Omega)$ впливають такі фактори, як концентрація цементного каменю, обсяг затисненого повітря в бетоні й т.п. При зближенні зерен заповнювача, тобто зменшенні товщини прошарків цементного каменю, структура цементного каменю значно зміцнюється за рахунок взаємного переплетення контактних шарів. У цьому випадку зростає структуроутворююча роль заповнювача й відносна частка зусилля, що припадає на нього при навантаженні. Вона виражається не тільки в зниженні вмісту цементного каменю й зменшенні усадочних деформацій, але й у фізико-хімічній взаємодії з новоутвореннями рідкої фази на різних етапах твердіння бетону, що приводить до утворення дифузійних структурованих оболонок у цементному камені навколо зерен заповнювача.

Перехід до структури другого типу викликає збільшення обсягу затисненого повітря, але при цьому характер пористості бетону теж змінюється. Зниження ступеня заповнення пор водою до $K_{\text{нас}} = 0,50...0,60$ (у структурі першого типу $K_{\text{нас}} = 0,70...0,75$) свідчить про утворення в бетоні систем умовно-зачинених пор [21]. Підвищений обсяг повітря в бетоні при його умовно-зачиненому характері в кількості 5...6 і навіть до 1% забезпечує бетону високу морозостійкість і довговічність. Однак, розмір повітряних пор повинен перебувати в певних межах, які вважаються найефективнішими. По даних певних дослідників, ефективний розмір пор коливається від 10 до 500 мкм [42], від 1...2 до 300... 500 мкм [15], від 50 до 250 мкм [1], від 25...350 мкм до 300 мкм [4]. А на думку [23], неефективними є повітряні пухирці діаметром більше 100 мкм, які знижують міцність бетону. Причини зниження міцностних показників автор пояснює як наявністю пухирців розміром 250...300 мкм, так і злиттям або утворенням скупчення маленьких пухирців навколо більших. Оптимальним вважається рівномірний розподіл залученого повітря в розчинній частині навколо зерен піску.

Крім вмісту повітряних пор і їхніх розмірів низці досліджень вказується й на перевагу середньої відстані між порами [22], або фактора відстані [4]. Воно в бетонах високої морозостійкості, якими повинні бути дорожні бетони не повинне перевищувати 0,20 і 0,25 мм [9, 42].

Структура МЗБ являє собою агрегати піску, усередині яких відсутнє цементне тісто. При цьому, розміри й кількість агрегатів залежать від витрати цементу. Міцностні властивості бетону залежать від міцності цементного каменю й критеріїв структури (розміру агрегату й ступеня агрегування). Тоді фізико-механічні властивості МЗБ будуть тим краще, чим більше в структурі бетону окремих зерен піску й агрегатів [44].

Останнім часом як загальну кількісну характеристику будови МЗБ автори роботи [25] використовують умовний критерій L , що являє собою відношення

об'ємної концентрації цементного каменю в бетоні при заданому значенні істинного водоцементного відношення до сумарної пористості бетону, що складається з пористості цементного каменю, пористості заповнювача й пористості, утвореної залученим повітрям:

$$L = C/P_0 = [C/\rho_u + (B/C)_{ict} C] / [B - 0,21 \alpha C + P_3 + P_{3n}] \quad (1.1)$$

де C – об'ємна концентрація цементного тіста в бетонній суміші наприкінці періоду формування структури, %;

C, B – витрати цементу й води, кг/м^3 ;

ρ_u – густина цементу, кг/м^3 ;

$(B/C)_{ict}$ – істинне водоцементне відношення;

P_0, P_3, P_{3n} – пористість сумарна, заповнювача й утворена залученим повітрям, %;

α – ступінь гідратації цементу.

У цій роботі важливе значення надається структурно-технологічним характеристикам C і $(B/C)_{ict}$. На думку авторів, використання їх дозволяє одержати уточнені залежності властивості бетонної суміші й бетону при значних коливаннях складу бетону й властивостей вихідних матеріалів.

До основних недоліків МЗБ належать: підвищена водопотреба і витрата цементу в порівнянні зі звичайним важким бетоном. У першу чергу – це негативний вплив на структурну пористість, деформативність, а також довговічність бетону, особливо, в агресивних середовищах. Таким чином, зниження витрати цементу не суперечить принципу створення оптимальної структури МЗБ і є найважливішим напрямком удосконалювання й розвитку технології МЗБ, що обумовлює його широке застосування, зокрема, у транспортному будівництві. На це ж спрямоване й зниження повітровтягування [26], що може бути забезпечено й іншими більше прогресивними методами.

Таким чином, МЗБ по своїй структурі й будівельно-технічним властивостям можуть бути ефективним матеріалом для будівництва транспортних споруджень.

У той же час аналіз експлуатаційної стійкості бетону, у т.ч. і МЗБ, показує на передчасне руйнування дорожніх цементобетонних покриттів [1].

Вимоги до бетонів для транспортного будівництва, у тому числі й дорожніх цементобетонних покриттів і специфіка виробництва бетонних робіт викликає необхідність застосування цілої низки заходів, що враховують вплив як матеріалознавських, так і технологічних факторів. При цьому одним з основних вимог пропонованих нормативно-технічною документацією до бетонів транспортних споруджень, включаючи й дорожні цементобетонні покриття, є забезпечення високої морозостійкості, у тому числі в розчинах антиожедних солей і водонепроникності (марка по морозостійкості – не нижче F150 у солях, марка по водонепроникності W10...W16).

Це досягається за рахунок максимального зниження витрати води й утворення в бетонних сумішах диспергированої повітряної фази (5...7% по об'єму для дорожніх і аеродромних покриттів; фактор розшарування – 100...250 мкм) бажано при застосуванні бездобавочного портландцементу зі змістом C_3A не більше 7...8%, що важливо при бетонуванні конструкцій з більшим модулем поверхні, якими є дорожні покриття ($M > 5$). Це має сприяти підвищенню експлуатаційних властивостей бетонів, зокрема й МЗБ.

У цей час для підвищення експлуатаційних властивостей МЗБ використовують різні способи. Широке застосування одержало модифікування бетону й бе-

тонної суміші різними добавками, хімічними й мінеральними (зокрема й комплексними) [5].

За кордоном, починаючи з 1986 р., у світовій будівельній практиці намітилося широке застосування бетону, що одержав назву High Performance Concrete (HPC), «високоякісний бетон». Поява бетону HPC викликано прагненням усунути недостатню довговічність, що виявилася в ряді випадків, будинків і споруджень, у тому числі й транспортних, з бетону й залізобетону.

За даними журналу «International Construction» дорожнє будівництво в докризовий період нарощувалося в багатьох закордонних країнах (у США – ріст на 7...10 %, що потребує фінансування в 30 млрд доларів).

Все це вказує на те, що повинні проводитися прискореними темпами дослідження з одержання HPC для дорожнього будівництва. Дотепер ці дослідження в основному проводилися на звичайних важких бетонах і значно менше – на дрібнозернисті.

МЗБ по своїй структурі й будівельно-технічних властивостях можуть стати ефективним матеріалом для дорожнього будівництва. Недостатні дослідження з одержання HPC на МЗБ, показують, що дослідження в цьому напрямку є винятково актуальними.

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

Це можна забезпечити створенням спеціальної структури бетону, наприклад, шляхом модифікування різними шляхами, що дозволяє:

- створити систему повітряних умовно-зачинених пор, що виконують функції резервних, у які під впливом гідравлічного тиску віджимається льодом рідка фаза при дії морозу; у результаті будуть зменшені сумарні внутрішні напруги, що розтягують; обсяг таких умовно-замкнених пор повинен бути в межах 3...7%, і вони створюються за допомогою, наприклад, повітровтягуючих хімічних добавок;

- зменшити концентрацію великого заповнювача в бетоні, оскільки поверхня контакту щебенів з розчином є зоною виникнення внутрішніх напружень в умовах заморожування-відтавання; зі зменшенням вмісту щебенів (або його виключення) зростає позитивна роль контактних шарів цементного каменю, що володіють підвищеними щільністю й міцністю; збільшується інтегральна сила внутрішнього зчеплення; найбільший ступінь зчеплення модифікації відповідає повному виключенню щебенів зі складу бетону й переходу на дрібнозернисті структури;

- мінімізувати обсяг капілярних пор у бетоні, оскільки саме в цих порах при заморожуванні вода переходить у лід, руйнуючи міжпорові перегородки цементного каменю й бетону в цілому; обсяг капілярних пор прагне до нуля при В/Ц = 0,30...0,35 (ступінь гідратації цементу близько 0,6), що характерно для високоміцних бетонів; водопотребу бетонної суміші можна зменшити шляхом застосування найбільш ефективних пластифікуючих добавок, наприклад, суперпластифікаторів;

- збільшити обсяг низькоосновних гідросилікатів кальцію, від яких залежать міцність і довговічність цементного каменю, за рахунок взаємодії менш довговічних гідрооксидів кальцію з активним тонкодисперсним кремнеземом з питомою площею поверхні 10...30 м²/г;

- підвищити однорідність структурних елементів і знизити їхній розмір за

рахунок зменшення крупності зерен заповнювача при переході від грубозернистих до дрібнозернистих бетонів з відповідним підвищенням міцності на розтяг при вигині, граничній розтяжності і деформативності.

Таким чином, головним методом підвищення стійкості бетону транспортних конструкцій до дії заморожування й відтавання можна визнати цілеспрямовану зміну його структури з метою створення системи замкнутих пор малого діаметра при одночасному зниженні капілярної (наскрізний) пористості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 213 с.
2. Горчаков Г. И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г. И. Горчаков, М. М. Капкин, Б. Г. Скрамтаев. – М.: Из – во литературы по строительству, 1965. – 195 с.
3. Шейкин А. Е. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М. Стройиздат, 1979. – 344 с.
4. Пауэрс Т. К. Физические свойства цементного теста и камня / 4-й Международный конгресс по химии цемента. – М. Стройиздат, 1964. – С. 174 – 189.
5. Добролюбов Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.
6. Чеховский Ю. В. Железобетонные сооружения для хранения и транспортирования газов / Ю. В. Чеховский, А. Г. Грейфер. – М.: Стройиздат, 1979. – 97 с.
7. Иванов Ф. М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. – М.: Транспорт, 1968. – 207 с.
8. Мишутич В. А. Исследование судостроительных бетонов / В. А. Мишутич. – Л.: Судостроение, 1967. – 180 с.
9. Структурообразование и разрушение цементных бетонов // [В. В. Бабков, В. Н. Мохов, С. М. Капитовов, П. Г. Комохов.] – Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
10. Розенталь Н. К. Проблемы коррозии бетона / Н. К. Розенталь // Мат-лы I Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия», кн. 3. – М: Ассоциация «Железобетон», 2001. – С. 1419 – 1430.
11. Creep and drying shrinkage of calcium silicate pastes. Effects of accelerated curing / [A. Bentur, N. B. Milestone, J. F. Young, S. Mindess] // Cem. and Concr. Res. –1979. – №2. – P.161–170.
12. Стружанов В. В. Определение усадочных напряжений в компонентах стохастически армированных композитов / В. В. Стружанов // М: Прикладная механика. – 1982. – №5. – С. 62 – 66.
13. Баженов Ю. М. Высококачественный тонкозернистый бетон // М: Строительные материалы. – 2000. – №2. – С. 10 – 11.
14. Ребиндер П. А., Щукин Е. А., Марголис Л. Я. О механической прочности пористых дисперсных тел. – Т. 154. – М: 1964. – 695 с.
15. Решетняк И. А. Исследование дорожных мелкозернистых цементных бетонов: Диссертация кандидата технических наук. – Харьков, 1968. – 290 с.
16. Полак А. Ф., Бабков В. В. К теории прочности пористых тел. – М.: Наука, 1966. – С. 67.
17. Соломатов В. И. Интенсивная технология бетонов – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.
18. Алтунов В. Д. Исследование процесса усталостного разрушения цементных бетонов при растяжении: Диссертация кандидата технических наук – Харьков, 1973. – 156 с.
19. Баженов Ю. М. Высокопрочный бетон для армоцементных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1963. – 56 с.
20. Шейнин А. М. Особенности структуры и свойства песчаного цементного бетона для дорожного и аэродромного строительства // СоюздорНИИ. – М., 1966. – 145 с.

21. Зоткин А. Т. Защемление воздуха в цементно-песчаных смесях // Мелкозернистые бетоны и конструкции из них. — М., 1985. — 45 с.
22. Кунцевич О. В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. — Л.: Стройиздат, 1983. — 131 с.
23. Венюа М. Цементы в строительстве / Под ред. Б. А. Крылова. — М.: Стройиздат, 1980. — 415 с.
24. Брынзин В. А., Грибова Т. Е., Гарашин В. Р. Структурные характеристики песчаных бетонов и их связь с техническими свойствами // «Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов». — Харьков, 1989. — С. 143–144.
25. Мелкозернистые бетоны / Ю. М. Баженов, У. Х. Магдеев, Л. А. Алимов, В. В. Воронин, Л. Б. Гольденберг. — М., 1998. — 148 с.
26. Шейнин А. М. Исследование свойств и технологии мелкозернистого цементного бетона для строительства автомобильных дорог: Автореферат диссертации кандидата технических наук — М., 1970. — 21 с.

***Oleksandra Yu. Doroshenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Building Constructions and Structures Chair,
State University for Transport Economy and Technologies)***

***Yuriy M. Doroshenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Professor of Construction Materials and Chemistry Chair, National
Transport University)***

The article deals with the issue of increasing the stability of concrete structures for transport to the action of freezing and thawing by changing its structure to create a system of closed pores of small diameter while reducing capillary porosity. Additional increase frost resistance can be achieved by particulate reinforcement.

Keywords: concrete, transportation design, structure, closed pores, capillary porosity.

REFERENCES

1. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseev S. N., Guzeev E. A. Korozija betona i zhelezobetona, metody ikh zaschity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. — Moscow: Stroyizdat, 1980. — 213 p.
2. Gorchakov G. I. Povyshenie morozostojkosti betona v konstruktziyakh promyshlennykh i gidrotekhnicheskikh sooruzhenij [Increased frost resistance of concrete in the construction of industrial and hydraulic structures] G. I. Gorchakov, M. M. Kapkin, B. G. Skramtaev. — Moscow: Because in the literature for the construction, 1965. — 195 p.
3. Shejkin A. E. Struktura i svojstva tsementnykh betonov [Structure and properties of cement concrete] A. E. Shejkin, JU. V. Chekhovskij, M. I. Brusser. — Moscow, Stroyizdat, 1979. — 344 p.
4. Pauhrs T. K. Fizicheskie svojstva tsementnogo testa i kamnja [Physical properties of cement paste and stone] 4th International Congress on the Chemistry of Cement. — Moscow, Stroyizdat, 1964. — P. 174–189.
5. Dobroljubov G. Prognozirovanie dolgovechnosti betona s dobavkami [Predicting the durability of concrete with additives] / G. Dobroljubov, V. B. Ratinov, T. I. Rozenberg. — M.: Stroyizdat, 1983. — 212 p.
6. Chekhovskij JU. V. Zhelezobetonnye sooruzhenija dlja khraneniya i transportirovaniya gazov [Reinforced concrete structures for the storage and transportation of gas] / JU. V. Chekhovskij, A. G. Grejfer. Moscow Stroyizdat, 1979. — 97 p.
7. Ivanov F. M. Zashchita zhelezobetonnykh transportnykh sooruzhenij ot korrozii [Protection of concrete transportation structures from corrosion]. — Moscow: Transport, 1968. — 207 p.
8. Mishutin V. A. Issledovanie sudostroitel'nykh betonov [Research shipbuilding concrete] / V. A. Mishutin. Leningrad: Shipbuilding, 1967. — 180 p.

9. *Strukturoobrazovanie i razrushenie tsementnykh betonov* [Pattern formation and destruction of cement concrete] // [V. V. Babkov, V. N. Mokhov, S. M. Kapitovov, P. G. Komokhov.] Ufa: SUE «Ufa Polygraph», 2002. – 376 p.
10. *Rozental N. K. Problemy korrozii betona* [Problems of corrosion of concrete] / N. K. Rozental // Materials of the 1st All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete «Concrete at the turn of the third millennium», book 3 – Moscow: Association «reinforced concrete», 2001. – pp 1419-1430.
11. *Creep and drying shrinkage of calcium silicate pastes. Effects of accelerated curing* [Creep and drying shrinkage of calcium silicate pastes. Effects of accelerated curing] / [A. Bentur, N. B. Milestone, J. F. Young, S. Mindess] // Cem. and Concr. Res. –1979. – № 2. – P. 161-170.
12. *Struzhanov V. V. Opredelenie usadochnykh naprjazhenij v komponentakh stokhasticheski armirovannykh kompozitov* [Determination of shrinkage stresses in the components of stochastically reinforced composites] / V. V. Struzhanov // – Moscow: Journal of Applied Mechanics. – 1982. – № 5. – P. 62-66.
13. *Bazhenov JU. M. Vysokokachestvennyj tonkozernistyj beton* [High-quality fine-grained concrete] // – Moscow: Building Materials. – 2000. – №2. – P. 10 – 11.
14. *Rebinder P. A., Schukin E. A., Margolis L. J. O mekhanicheskoy prochnosti poristykh dispersnykh tel* [On the mechanical strength of the porous dispersed bodies]. – V. 154. – Moscow, 1964. – 695 p.
15. *Reshetnjak I. A. Issledovanie dorozhnykh melkozernistykh tsementnykh betonov* [Investigation of fine cement concrete road]: Dissertation of the candidate of technical sciences. – Kharkov, 1968. – 290 p.
16. *Polak A. F., Babkov V. V. K teorii prochnosti poristykh tel* [On the theory of strength of porous bodies]. – Moscow: Nauka, 1966 p.
17. *Solomatov V. I. Intensivnaja tekhnologija betonov* [Intensive Concrete Technology] – Moscow: Sroizdat, 1989. – 264 p.
18. *Altunov V. D. Issledovanie protzessa ustalostnogo razrushenija tsementnykh betonov pri rastjazhenii* [Investigation of the process of fatigue failure of cement concrete in tension]: Dissertation of the candidate of technical sciences. – Kharkov, 1973. – 156 p.
19. *Bazhenov JU. M. Vysokoprochnyj beton dlja armotsementnykh konstruktzij* [High-strength concrete for armotsementnyh designs] – Moscow: Gosstroyizdat, 1963. – 56 p.
20. *Shejnin A. M. Osobennosti struktury i svojstva peschanogo tsementnogo betona dlja dorozhnogo i aehrodromnogo stroitel'stva* [Structure and properties of sand cement concrete for road and airfield construction] // Sojuzdornii. – Moscow, 1966. – 145 p.
21. *Zotkin A. T. Zaschemlenie vozdukh v tsementnojopeschanykh smesjakh* [Entrapment of air in the cement-sand mixture] // Melkozernistye betony i konstruktzii iz nikh. – Moscow, 1985. – 45 p.
22. *Kuntzevich O. V. Betony vysokoj morozostojkosti dlja sooruzhenij Krajnego Severa* [Concrete structures for high frost resistance of the Far North] Leningrad: Shipbuilding, 1983. – 131 p.
23. *Venjua M. Tzementy v stroitel'stve* [Cement in construction] / B.A.Krylova. – Moscow: Sroizdat, 1980. – 415 p.
24. *Brynzin V. A., Gribkova T.E., Garashin V.R. Strukturnye kharakteristiki peschanykh betonov i ikh svjaz' s tekhnicheskimi svojstvami* [Structural characteristics of sandy concrete and their relationship with the technical properties] // Resource-saving technologies, the structure and properties of concrete road. – Kharkov, 1989. – P. 143 –144.
25. *Melkozernistye betony* [Fine concrete] / JU. M. Bazhenov, U. KH. Magdeev, L. A. Alimov, V. V. Voronin, L. B. Gol'denberg. – Moscow, 1998. – 148 p.
26. *Shejnin A. M. Issledovanie svojstv i tekhnologii melkozernistogo tsementnogo betona dlja stroitel'stva avtomobil'nykh dorog* [Study of the properties and technology of fine cement concrete for road construction]: Author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences – Moscow, 1970. – 21 p.

А. В. Гречко

(завідувач науково-дослідної лабораторії, ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

Т. В. Шелейко, к.т.н.

(старший науковий співробітник, ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

Ю. Я. Водянніков, к.т.н., с.н.с.

(провідний науковий співробітник, ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

Д. І. Єськов

(інженер II кат., ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПРОТИЮЗНОГО ЗАХИСТУ ПОЇЗДА МЕТРО

Запропонований розрахунково-експериментальний метод оцінювання ефективності системи протиюзного захисту поїзда метро базований на математичному моделюванні руху поїзда як єдиної маси і використанні фактичних гальмівних коефіцієнтів, попередньо отриманих в процесі ходових гальмівних випробувань.

***Ключові слова:** коефіцієнт зчеплення коліс з рейками, ефективність гальмівної системи, система протиюзного захисту.*

Представлен расчетно-экспериментальный метод оценки эффективности системы противоюзной защиты поезда метро базирующийся на математическом моделировании движения поезда как единой массы и использовании фактических тормозных коэффициентов, полученных в процессе ходовых тормозных испытаний.

***Ключевые слова:** коэффициент сцепления колес с рельсами, эффективность тормозной системы, система противоюзной защиты.*

Постановка проблеми. Тенденції розвитку комунального транспорту, зокрема метрополітену, у напрямку покращення транспортного обслуговування, підвищення комфортності, а також збільшення обсягу пасажирських перевезень шляхом підвищення швидкостей руху поїздів, висувають як одну з актуальних задач забезпечення безпечності руху, що неможливо без застосування ефективних та надійних гальмівних систем. Та якщо ефективність останніх передбачає необхідність у більш повному використанні допустимого у кожному конкретному випадку сили зчеплення коліс з рейками, то їх надійність і безпечність руху вимагають недопущення в експлуатації проковзування (юз) колісних пар рухомого складу, коли гальмівна сила перевищує цю саму силу зчеплення коліс.

© Гречко А. В., Шелейко Т. В., Водянніков Ю. Я., Єськов Д. І., 2014

З експлуатації відомо, що юз колісних пар в умовах метрополітену з'являється на відкритих ділянках колії, частка яких, наприклад, на Святошино-Броварській лінії Київського метрополітену складає 34,3 %, а також під час руху одиниці рухомого складу в кривих або спільного використання електричного і пневматичного гальм для зупинки складу поїзда на станціях [1, 2]. Крім того, застосування дискової гальмівної системи, як більш ефективної у порівнянні з колодковою, призводить до того, що в процесі експлуатації пасажирського вагона не відбувається очищення поверхні катання коліс, коефіцієнт зчеплення їх з рейками знижується, а разом з цим збільшується й імовірність юза колісних пар [3]. Недопущення останнього зумовлюють необхідність в регулюванні гальмівної сили, що у випадку з пасажирським вагоном (вагоном метро) передбачає застосування систем протियозного захисту.

Системи протियозного захисту (протियозні пристрої), що застосовуються в конструкціях гальмівних систем вітчизняного рухомого складу, мають електронне мікропроцесорне керування. На кожній осі візків вагона встановлюються безконтактні датчики швидкості (датчики обертів), а кожен кліщовий механізм дискового гальма оснащується електропневматичним клапаном протиковзання, встановленим на магістралі підводу повітря до гальмівних циліндрів. Блок управління системи протियозного захисту зчитує показання кожного датчика швидкості і, якщо швидкість обертів однієї або декількох колісних пар візків відрізняється від базової швидкості вагона приблизно на 10 – 15 %, ідентифікує це, як початок заклинювання (юза) колісної пари, впливає на відповідний клапан протиковзання, перекриваючи тим самим подачу стисненого повітря у гальмівний циліндр і сполучаючи останній з атмосферою. Випуск стисненого повітря в атмосферу відбувається доти, доки завдяки зниженню тиску повітря (гальмівної сили), швидкість обертання колісної пари, що заклинила, не вирівнюється з базовою швидкістю руху вагона (рис. 1), після чого клапан протиковзання розриває сполучення з атмосферою і відновлює подачу стисненого повітря у порожнину гальмівного циліндра (рис. 2).

Беручи до уваги те, що крім зниження безпеки руху, юз колісних пар також негативно впливає на поверхню кочення вагонних коліс [4, 5], збільшуючи кількість їх позапланових обточок (за даними українських метрополітенів – до 20 %) [2], стає зрозумілою актуальність застосування ефективного протियозного захисту та зниження експлуатаційних витрат хоча б за рахунок міжремонтних пробігів.

Найбільш повна і достовірна інформація стосовно технічних гальмівних характеристик і властивостей вагона, зокрема ефективності його системи протियозного захисту, може бути отримана в процесі ходових гальмівних випробувань натурного зразка одиниці рухомого складу в умовах максимально наближених до реальних в експлуатації. Для вагона метро такими необхідними умовами, які б дозволяли здійснювати перевірку протियозної системи у повному діапазоні швидкостей, є проведення випробувань на відкритих ділянках колії за відповідних погодних умов (дощ, сніг тощо), що сприяють зниженню коефіцієнта зчеплення коліс з рейками. Однак, досить часто часові межі проведення випробувань в умовах метрополітену і брак належних погодних умов, їх неплановість і випадковість, не дозволяють знизити до потрібного рівня коефіцієнт зчеплення коліс з рейкою аби відтворити юзову ситуацію для поїзда метро. Це спонукає випробувачів до пошуку експериментально-розрахункових методів перевірки ефективності систем протियозного захисту дослідних зразків одиниць рухомого складу.

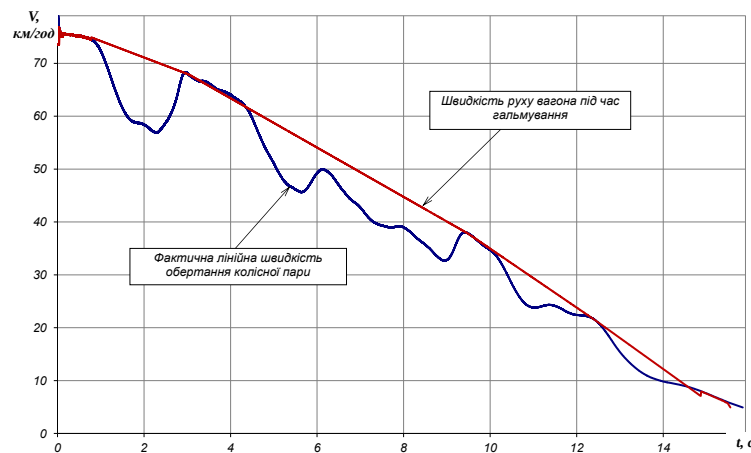


Рис. 1. Кінематика руху колісної пари за юзової ситуації

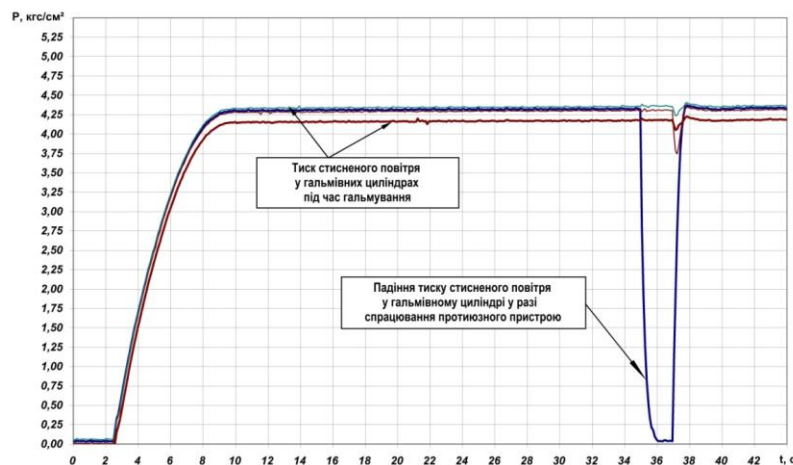


Рис. 2. Розгальмовування колісної пари у разі спрацювання протиюзного пристрою

Метою роботи є математичне моделювання руху поїзда метро за недостатнього коефіцієнта зчеплення коліс з рейками, що дозволяло б з необхідною точністю оцінювати ефективність системи протиюзного захисту поїзда метро.

Виклад основного матеріалу. Не дивлячись на те, що критерієм гальмівної ефективності прийнятий гальмівний коефіцієнт, остаточною оцінкою ефективності гальмівної системи поїзда метро слугує гальмівний шлях за допустимих швидкостей руху, оскільки зупинка поїзда має відбуватися строго у межах станційної платформи для посадки і висадки пасажирів.

Відомо, що процес гальмування характеризується трьома періодами (рис. 3): перший – відсутність сили натиснення під час наповнення гальмівного циліндра стисненим повітрям; другий – наростання сили натиснення до величини, що відповідає сталому тиску у гальмівному циліндрі; третій – стала величина сили натиснення.

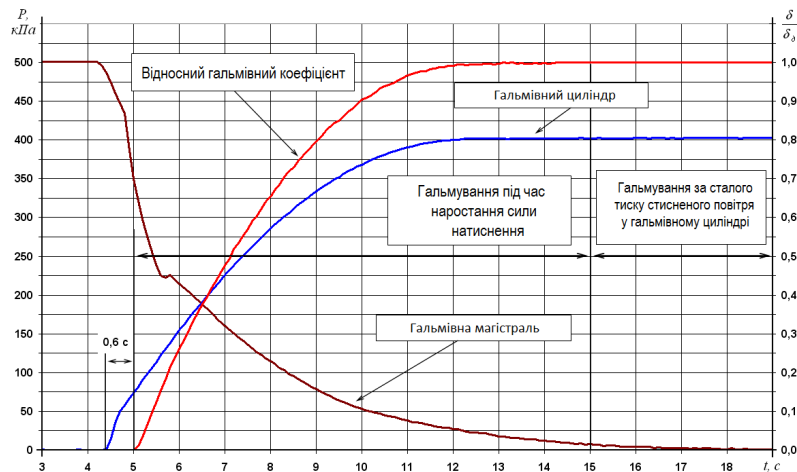


Рис. 3. Діаграма наповнення гальмівного циліндра пасажирського вагона з дисковим гальмом під час гальмування

Експериментальними дослідженнями встановлено, що час затримки сили натиснення від початку підвищення тиску повітря у гальмівному циліндрі для дискового гальма складає 0,6 с [6]. Диференціальне рівняння поїзда як єдиної маси за несталого гальмування у загальному випадку має вид [7, 8]:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{b_{\delta}(t, v) + w_{ox}(v) \pm i\}, \quad (1)$$

де S – гальмівний шлях поїзда;

t – час гальмування;

v – швидкість руху під час гальмування;

ζ – питоме уповільнення поїзда;

$w_{ox}(v)$ – питомий основний опір руху поїзда;

$\pm i$ – величина ухилу шляху;

$b_{\delta}(t, v)$ – питома гальмівна сила, визначається за формулою:

$$b_T(t, v) = 1000 \cdot \delta_a(t) \cdot \varphi_{\delta\delta}(v), \quad (2)$$

$\delta_a(t)$ – дійсний коефіцієнт сили натиснення накладок, залежний від зміни тиску в гальмівному циліндрі в процесі гальмуванні;

$\varphi_{\delta\delta}(v)$ – коефіцієнт тертя накладок.

Дійсний коефіцієнт сили натиснення накладок, приведений до поверхні кочення колеса за сталого тиску у гальмівному циліндрі визначається за формулою:

$$\delta_a = \frac{r_{\delta\delta}}{R_k} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \hat{E}_{ai}}{Q + T} \quad (3)$$

де K_{oi} – дійсна сила натиснення накладки на диск, визначається в процесі стаціонарних гальмівних випробувань; Q – корисне навантаження; T – тара вагона;

r_{mp} – радіус тертя гальмівного диска;

R_k – розрахунковий радіус колеса по колу катання коліс;

n – число гальмівних накладок.

Нелінійне диференціальне рівняння руху (1) є звичайним диференціальним рівнянням, що відноситься до класу задач Коші, тому для його вирішення може бути використаний один з методів обчислювальної математики. З усього різноманіття чисельного рішення задачі Коші найбільше поширення отримав метод Рунге-Кутти [9], ґрунтований на обчисленні наближеного рішення y_{i+1} у вузлі $x_{i+1} = x_i + h$ у вигляді лінійної комбінації з постійними коефіцієнтами:

$$y_{i+1} = y_i + p_{q1} \cdot k_1(h) + p_{q2} \cdot k_2(h) + \dots + p_{qq} \cdot k_q(h) \quad (4)$$

Диференціальне рівняння в методі Рунге-Кутти наводиться до системи диференціальних рівнянь першого порядку, при цьому класичним варіантом запису методу Рунге-Кутти 4-го порядку є така схема:

$$k_{1i} = h \cdot f(x_i, y_{1i}, \dot{o}_{2i}, \dots, y_{ni}) \quad (5)$$

$$k_{2i} = h \cdot f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_{1i} + \frac{k_{1i}}{2}, \dots, y_{ni} + \frac{k_{1n}}{2}\right) \quad (6)$$

$$k_{3i} = h \cdot f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_{1i} + \frac{k_{2i}}{2}, \dots, y_{ni} + \frac{k_{2n}}{2}\right) \quad (7)$$

$$k_{4i} = h \cdot f(x_i + h, y_{1i} + k_{3i}, \dots, y_{ni} + k_{3n}) \quad (8)$$

$$y_{ji+1} = y_{ji} + \frac{1}{6} \cdot (k_{1i} + 2 \cdot k_{2i} + 2 \cdot k_{3i} + k_{4i}) \quad (9)$$

$$x_{i+1} = x_i + h \quad (10)$$

Відповідно до особливості зміни сили натиснення накладок, математична модель руху пасажирського вагона з урахуванням зміни гальмівної сили у часі від нульового значення до того, що встановився може бути представлена диференціальним рівнянням:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{b_{\dot{o}} \cdot U(t) \cdot H(t - t_1) \cdot H(t_2 - t) + b_{\dot{o}} \cdot H(t - t_2) + w_{ox}(v) \pm i\} \quad (11)$$

де $U(t)$ – функція, що враховує нестале гальмування, зумовлене наростанням гальмівної сили (тиску у гальмівному циліндрі);

$H(x)$ – функція Хевисайда – кусково-постійна функція, яка визначається за формулою:

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } \tilde{o} < 0 \\ 1 & \text{якщо } \tilde{o} \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

t_1 – час від початку гальмування до початку притиснення гальмівних накладок до диска, зумовлений подоланням сили відпускнуї пружини;

t_2 – час від початку гальмування до сталого тиску у гальмівному циліндрі.

Приведення диференційного рівняння (11) другого порядку до системи диференціальних рівнянь першого у методі Рунге-Кутти виконується шляхом введення додаткових аргументів:

$$\begin{cases} \frac{d\phi_1}{dt} = y_2 \\ \frac{dy_2}{dt} = F(t, y_1, y_2) \end{cases} \quad (13)$$

Початковими умовами для вирішення системи рівнянь є:

$$y_1(t=0) = 0; \quad \frac{dy_1}{dt}(t=0) = V_0, \text{ де } V_0 - \text{швидкість руху на початку гальмування.}$$

Юзова ситуація моделювалася трьома періодами входження колісних пар в юз тривалістю 1 с (рис. 4). При цьому приймалося, що 50 % з 10 колісних пар поїзда входять в юзовий стан.

Результати розрахункових досліджень з використанням математичної моделі і методу рішення диференціального рівняння з урахуванням фактичних гальмівних коефіцієнтів поїзда метро на площадці за екстреного пневматичного гальмування (рис. 5), отриманих в процесі ходових гальмівних випробувань, показали гарний збіг значень експериментальних і розрахункових гальмівних шляхів (рис. 6) та підтвердили адекватність і життєздатність математичної моделі.

Експериментальні і розрахункові дослідження гальмівної ефективності поїзда метро у разі спрацювання протизножного пристрою показали, що гальмівні шляхи із зростанням швидкості на початку гальмування збільшуються. При цьому максимальне збільшення гальмівного шляху не перевищує 9 % для швидкості 90 км/год (рис. 7)

Гальмівні шляхи дослідного поїзда метро за екстреного пневматичного гальмування на площадці у разі спрацювання протизножного пристрою, визначені представленим розрахунково-експериментальним методом, не перевищують допустимі значення гальмівних шляхів (рис. 8) [10] і відповідають нормативним вимогам.

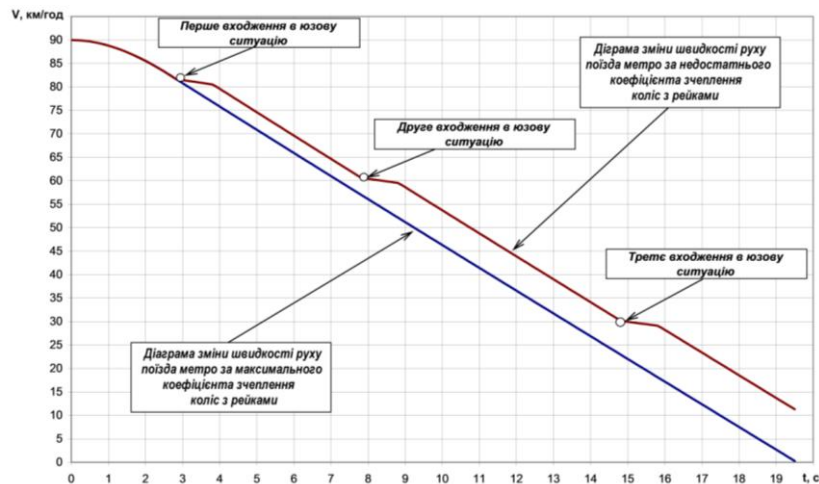


Рис. 4. Моделювання юзової ситуації

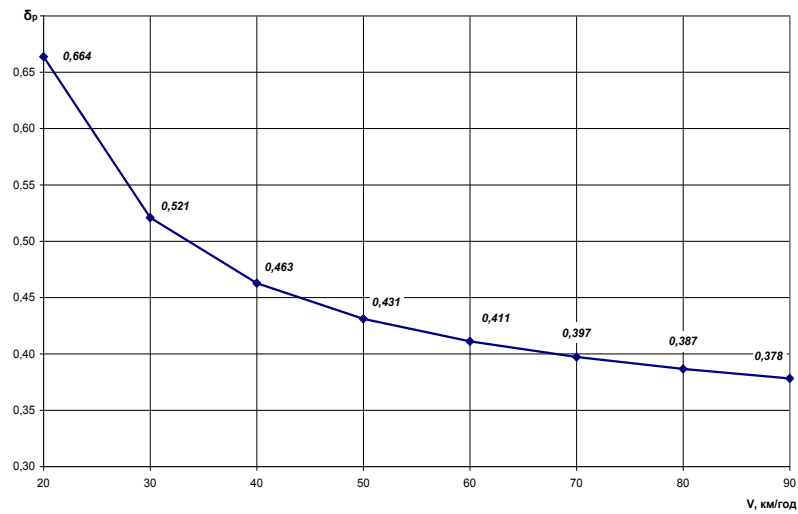


Рис. 5. Фактичні гальмівні коефіцієнти поїзда метро на площадці за екстреного пневматичного гальмування

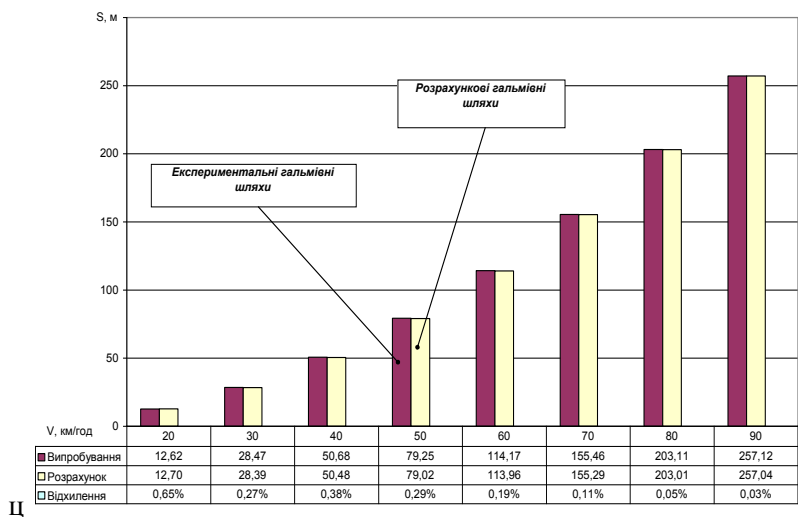


Рис. 6. Розрахункові й експериментальні значення гальмівних шляхів потяга метро на площадці за екстреного пневматичного гальмування

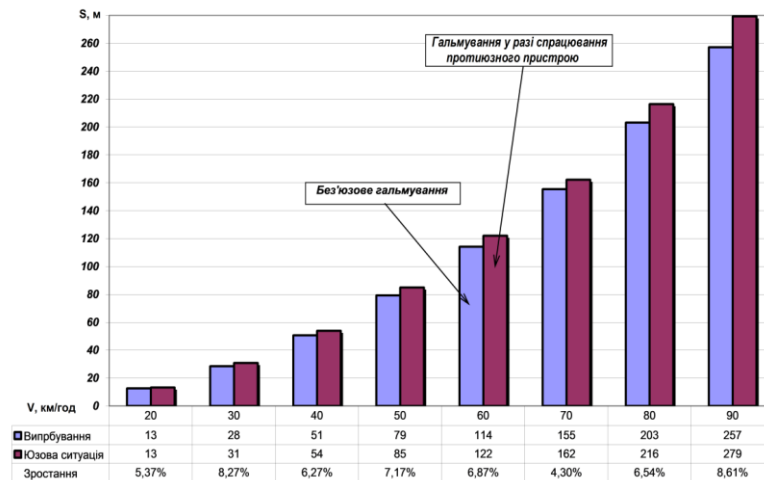


Рис. 7. Порівняльний аналіз гальмівних шляхів поїзда метро на площадці

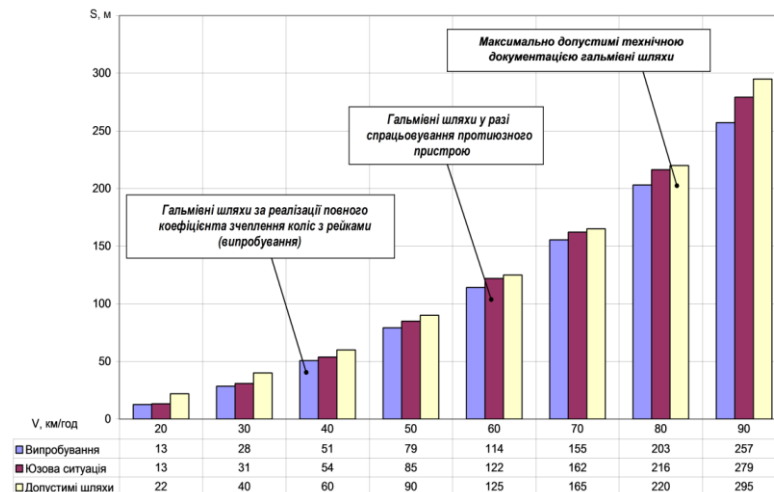


Рис. 8. Допустимі значення гальмівних шляхів поїзда метро при екстреному пневматичному гальмуванні на площадці

Висновки. Пропонований розрахунково-експериментальний метод визначення ефективності гальмівної системи поїзда метро, базований на математичному моделюванні руху поїзда за недостатнього коефіцієнта зчеплення коліс з рейками і використанні фактичних гальмівних коефіцієнтів, попередньо отриманих в процесі ходових гальмівних випробувань, дозволяє з необхідною точністю оцінювати ефективність системи протизножного захисту поїзда метро.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Гайдуков В. Е. Влияние кривых малого радиуса на силу сцепления / В. Е. Гайдуков, Н. В. Хворост, А. Н. Задорожный // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. Серия: Технические науки. – Харків, 2003. – № 47. – С. 198 – 201.

- 2 Гайдюков В. Е. Противоюзовая защита / В. Е. Гайдюков, Н. В. Хворост, А. Н. Задорожный // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. Серия: Технические науки. – Х., 2003. – № 49. – С. 198 – 201.
- 3 Водяников Ю. Я. Особенности кинематики движения колесной пары по рельсовому пути при торможении пассажирского вагона с дисковым тормозом / Ю. Я. Водяников, Т. В. Шелейко, С. М. Свистун // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 14 – 19.
- 4 Шелейко Т. В. Проведення досліджень з утворення пошкоджень поверхні кочення вагонних коліс термомеханічного пошкодження / Т. В. Шелейко, А. В. Гречко, С. М. Свистун // III International Partnership Conference «The Problems of Rolling Stock: Solutions through Public and Private Sector Cooperation». – Yalta, 2012. – P. 45.
- 5 Водяников Ю. Я. Проковзування колісних пар під час гальмування пасажирського вагона / Ю. Я. Водяников, Т. В. Шелейко, С. М. Свистун // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 73 Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 23 – 24 мая 2013 г.) – Днепропетровск: ДИИТ, 2013. – С. 36 – 37.
- 6 Водяников Ю. Я. Сравнительный анализ методов определения тормозного пути единиц подвижного состава железных дорог / Ю. Я. Водяников, Т. В. Шелейко, С. М. Свистун // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 1. – С. 52 – 58.
- 7 Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов / П. Т. Гребенюк // Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2004. – 112 с.
- 8 Иноземцев В. Г. Нормы и методы расчета автотормозов / В. Г. Иноземцев, П. Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971. – 56 с.
- 9 Копченкова Н. В. Вычислительная математика в примерах и задачах / Н. В. Копченкова, И. А. Марон. – М.: Из-во «Наука», 1972. – 367 с.
- 10 ЦМетро/4232 Правила технической эксплуатации метрополитенов Союза ССР, 1984. – 160 с.

Andriy V. Grechko

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

Tetiana V. Sheleiko, PhD (Technical Sciences)

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

Yuri Ya. Vodiannikov, PhD (Technical Sciences), Senior Research Associate

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

Dmitry I. Yes'kov

(Engineer II category, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)

CALCULATION-RESEARCH METHOD FOR DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF THE METRO TRAIN ANTISKID PROTECTION SYSTEM

Trends in the development of public transport, including metro, towards the improvement of transport services, improve comfort and increase passenger traffic by increasing train speed nominate task of ensuring traffic safety as one of the important, which is impossible without the use of effective and reliable braking systems. And if their efficiency involves the need to more fully exploit the valid in each case the strength of the wheel-rail adhesion, their reliability and safety requires

avoiding operation slippage wheel set of the rolling stock, when the braking force exceeds the force of wheel-rail adhesion. Calculation-research method for determination of the efficiency of the antiskid protection system by using mathematical model with running brake tests results used as input data. The testing method was implemented for example a subway car with disc brake system. Its adequacy is confirmed by the good coincidence of the results of theoretical and experimental studies. The method can be used for determination of the efficiency of the passenger trains brake system when the low coefficient of wheel-rail adhesion.

Keywords: coefficient of wheel-rail adhesion, the efficiency of the braking system, the antiskid protection system.

REFERENCES

1. Gajdukov V. E. Vlijanie krivyh malogo radiusa na silu sčeplenija / V. E. Gajdukov, N. V. Hvorost, A. N. Zadorozhnyj // Kommunal'noe hozjajstvo gorodov: nauchno-tehnicheskij sbornik. Serija: Tehnicheskie nauki. – H., 2003. – № 47. – S. 198 – 201.
2. Gajdukov V. E. Protivojuzovaja zashhita / V. E. Gajdukov, N. V. Hvorost, A. N. Zadorozhnyj // Kommunal'noe hozjajstvo gorodov: nauchno-tehnicheskij sbornik. Serija: Tehnicheskie nauki. – H., 2003. – № 49. – S. 198 – 201.
3. Vodjannikov Ju. Ja. Osobennosti kinematiki dvizhenija kolesnoj pary po rel'sovomu puti pri tormozhenii passazhirskogo vagona s diskovym tormozom / Ju. Ja. Vodjanikov, T. V. Shelejko, S. M. Svistun // Zbirnik naukovih prac' Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu Ministerstva osviti i nauki, molodi ta sportu Ukraïni: Serija «Transportni sistemi i tehnologii». – Vip. 20. – K.: DETUT, 2012. – S. 14 – 19.
4. Shelejko T. V. Provedennja doslidzhen' z utvorennja poshkodzhen' poverhni katannja vagonnih kolis termomehanichnogo poshkodzhenja / T. V. Shelejko, A. V. Grechko, S. M. Svistun // III International Partnership Conference «The Problems of Rolling Stock: Solutions through Public and Private Sector Cooperation». – Yalta, 2012. – P. 45.
5. Vodjannikov Ju. Ja. Prokovzuvannja kolisnih par pid chas gal'muvannja pasazhirs'kogo vagona / Ju. Ja. Vodjannikov, T. V. Shelejko, S. M. Svistun // Problemy i perspektivy razvitija zheleznodorozhnogo transporta: Tezisy 73 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Dnepropetrovsk, 23-24 maja 2013 g.) – D.: DIIT, 2013. – S. 36 – 37.
6. Vodjannikov Ju. Ja. Sravnitel'nyj analiz metodov opredelenija tormoznogo puti edinic podvizhnogo sostava zheleznyh dorog / Ju. Ja. Vodjanikov, T. V. Shelejko, S. M. Svistun // Zaliznichnij transport Ukraïni. – 2014. – № 1. – S. 52 – 58.
7. Grebenjuk P. T. Pravila tormoznyh raschetov / P. T. Grebenjuk // Trudy VNIIZhT. – M.: Intekst, 2004. – 112 s.
8. Inozemcev V. G. Normy i metody rascheta avtotormozov / V. G. Inozemcev, P. T. Grebenjuk. – M.: Transport, 1971. – 56 s.
9. Kopchenova N. V. Vychislitel'naja matematika v primerah i zadachah / N. V. Kopchenova, I. A. Maron. – M.: Iz-vo «Nauka», 1972. – 367 s.
10. CMetro/4232 Pravila tehnicheckoj jekspluatacii metropolitenov Sojuza SSR, 1984. – 160 s.

І. В. Грицук, к.т.н., доцент

(докторант кафедри «Технічна експлуатація і сервіс автомобілів» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету)

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ПРОГРІВУ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГУНА З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ НА ОСНОВІ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ

Розроблено метод розрахунку та оптимізації параметрів систем прогріву двигунів внутрішнього згоряння з тепловими акумуляторами фазового переходу на основі ексергетичного аналізу. Проведено співставлення результатів розрахунків на розробленій математичній моделі для різних варіантів експлуатації системи прогріву двигуна з тепловим акумулятором.

Ключові слова: система прогріву, двигун внутрішнього згоряння, автотранспортний засіб, тепловий акумулятор фазового переходу, термодинамічна система, теплоакumuлюючий матеріал, ексергетичний аналіз, коефіцієнт корисної дії.

Разработан метод расчета и оптимизации параметров систем прогрева двигателей внутреннего сгорания с тепловыми аккумуляторами фазового перехода на основе эксергетического анализа. Проведено сопоставление результатов расчетов на разработанной математической модели для различных вариантов эксплуатации системы прогрева двигателя с тепловым аккумулятором.

Ключевые слова: система прогрева, двигатель внутреннего сгорания, автотранспортное средство, тепловой аккумулятор фазового перехода, термодинамическая система, теплоаккумулирующий материал, эксергетический анализ, коэффициент полезного действия.

Постановка проблеми. Експлуатація автотранспортних засобів (АТЗ) і стаціонарних енергетичних установок (СЕУ) з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) характеризується великим обсягом робіт в холодну пору року. Низькі температури ускладнюють процес пуску і прогріву ДВЗ, негативно позначаються на функціонуванні основних вузлів машин, підвищуючи знос деталей. Вирішенням проблеми передпускового розігріву двигуна і полегшення умов праці може бути досягнуто застосуванням систем прогріву (СП) у складі різних типів підігрівачів [1], в тому числі теплових акумуляторів (ТА) з фазовим переходом [2 – 4]. Важливим питанням при розробці і формуванні СП для АТЗ і СЕУ є оцінка їх ефективності ще в процесі конструювання, як для всієї системи, так і для складових (в першу чергу стосується ТА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені дослідження щодо встановлення і використання систем прогріву у складі ТА з фазовим переходом [4 – 6] на двигунах СЕУ при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву в різних

© Грицук І. В., 2014

температурних умовах експлуатації показали скорочення часу прогріву на 16 – 36% для охолоджуючої рідини (ОР) і на 20 – 44% для моторної оливи (МО), зниження викидів для NO_x на 93-98%, а для твердих часток K – на 88 – 94% [7 – 9]. Економія палива при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву може досягати 62 – 75% для дизельних і газових двигунів [7 – 9]. Застосування ТА з фазовим переходом у системі прогріву охолоджуючої рідини двигуна АТЗ дозволяє зменшити час прогріву на 17,8 – 68,4 %, а витрату палива на 19,5 – 56,25 % [10 – 12] при аналогічному здійсненні передпускового і післяпускового прогріву.

Розроблений автором програмний комплекс [13] дає можливість проводити проектування і дослідження системи прогріву двигуна у складі ТА з фазовим переходом як для ТЗ, так і для СЕУ.

Як свідчать дослідження багатьох вчених [14], чисто енергетичний підхід не дозволяє врахувати низку аспектів, пов'язаних із зовнішньою і внутрішньою необоротністю процесів, що реально протікають в ТА [15]. Актуальним для розрахунку і дослідження параметрів системи прогріву двигуна з ТА фазового переходу є використання методу на основі ексергетичного аналізу [15 – 16]. Універсальність ексергетичного методу пов'язана з тим, що використання ексергії як критерію ефективності дозволяє оцінювати запаси і потоки енергії всіх видів, що входять в баланс будь-якої енерготехнологічної системи, за допомогою єдиного критерію ефективності [16]. Цьому методу властива також простота і наочність способів аналізу і розрахунку. При використанні ексергетичного методу аналізу враховується не тільки кількість, але і якість потоків ексергії, що входять в енергетичний баланс будь-якої енерготехнологічної системи, що ставить цей метод на ведуче місце за своєю об'єктивністю в порівнянні з іншими методами термодинамічного аналізу [16]. Ексергією теплоти називається частина енергії, яка може бути перетворена в корисну роботу при теплообміні у відповідних умовах [15].

Посадження в одній методиці і, відповідно, в програмному комплексі єдиного підходу щодо енергетичних і ексергетичних властивостей систем прогріву ДВЗ у складі ТА з фазовим переходом, як для ТЗ, так і для СЕУ, дозволяє проводити проектування і дослідження параметрів таких систем методом замкнутої оптимізації [17].

Мета статті – розробка методу розрахунку і оцінки параметрів системи прогріву двигуна у складі ТА з фазовим переходом на основі ексергетичного аналізу. Це дає можливість, як свідчать порівняння з результатами експериментальних досліджень, отримувати більш достовірні дані про їхні параметри, ніж при розрахунках на базі енергетичного підходу. Отримані результати є ефективною основою для проектування систем прогріву двигунів з ТА фазового переходу, а також коригування їх параметрів у процесі експериментальних досліджень і оптимізації елементів конструкції. Кінцева мета розрахунку і оцінювання параметрів системи прогріву двигуна у складі ТА з фазовим переходом – визначення таких значень варійованих параметрів, які дозволяють отримати екстремальне значення параметра, що оптимізується. Саме вибраний параметр оптимізації, що є цільовою функцією ряду змінних, розраховується шляхом пошуку його екстремуму із застосуванням сучасної обчислювальної техніки і відповідних програм.

Виклад основного матеріалу дослідження. Блок-схема процесу оптимізації і розрахунку параметрів систем прогріву двигунів у складі ТА з фазовим переходом подана на рис. 1.

Процес оптимізації за розробленим процесом можливо розділити на два основні етапи: оптимізація параметрів системи прогріву двигуна у складі теплового акуму-

лятора з фазовим переходом за енергетичними параметрами в процесі виконання ТА своїх основних функцій (зарядка, зберігання теплоти і розрядка) [18, 19] і оптимізація параметрів теплового акумулятора з фазовим переходом за ексергетичними параметрами [2, 15] з виконанням загальної оптимізації системи прогріву.

Як параметр, що оптимізується, може виступати, наприклад, теплова енергія, що утилізується теплообмінною частиною утилізаційного теплообмінника; фізичні властивості і маса теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ); зміни температури та тепловіддача ТАМ в процесах роботи; потужність ТА фазового переходу в процесі накопичення, зберігання і віддачі теплоти СП; час зарядки, зберігання та розрядки ТА; кількість ТАМ, що бере участь в процесах ТА, коефіцієнт використання маси ТАМ, енергетичний і ексергетичний ККД теплового акумулятора СП тощо. Складовими процесу оптимізації можуть також виступати основні технологічні і конструктивні параметри складових і елементів системи прогріву. Принципово кількість цих параметрів не обмежена, але, як свідчить практика – не перевищує 8 – 10 параметрів. При проведенні розрахунків процесів роботи СП розглядається як складна термодинамічна система, що включає низку більш простих підсистем. Для кожної з цих підсистем складені рівняння, що відображають характерні особливості протікання в ній теплових і газодинамічних процесів [18, 19].

Розрахунок на першому етапі, як і для всієї системи, в блоці 1 на рис. 1 починається з визначення і введення основних вхідних параметрів та даних щодо умов експлуатації ТЗ, і параметрів оточуючого середовища. Головними вихідними параметрами при розрахунку СП у складі ТА з фазовим переходом є маса двигуна, об'єм систем охолодження і мащення, максимально низька температура навколишнього середовища при якій має бути забезпечена працездатність системи та час зберігання теплової енергії ТА (залежить від інтервалів між сталою роботою ДВЗ, та ґрунтується на моніторингу процесу охолодження ДВЗ). На цьому етапі приймається модифікація і конструктивні особливості транспортного двигуна, складові елементи системи прогріву, вибираються робочі тіла (теплоносії) підсистем утилізації теплової енергії і самої системи прогріву, місця передпускового і післяпускового прогріву. Крім того, встановлюють початкові значення щодо нагрівачів, теплообмінників, насосів СП, ряд конструктивних співвідношень. Це необхідно для початкового орієнтовного визначення обсягів системи прогріву в частинах систем охолодження і мащення, що дозволить в подальшому, в першому наближенні, визначити масу ТАМ, кількість робочих і експлуатаційних матеріалів, розміри та інші геометричні параметри теплообмінників тощо. Перераховані величини надалі безперервно уточнюються в процесі оптимізації. Вихідним параметром в блоці 1 для подальшої роботи ексергетичної частини процесу оптимізації виступає температура оточуючого середовища T_c .

У блоці 2 для формування бази вихідних даних можуть бути використані експериментальні дані робочого процесу ДВЗ, або розраховані вихідні дані робочого процесу ДВЗ, для чого може бути використаний будь-який сучасний програмний комплекс, в нашому випадку був використаний програмний комплекс (програма) *Dizel-RK* [18, 19]. Для цього визначається розподіл основних робочих параметрів двигуна АТЗ в процесі прогріву у відповідних умовах експлуатації в кожен момент часу за кутом повороту колінчастого валу. В першу чергу це теплові параметри випуску ВГ двигуна, ОР і МО в часі.

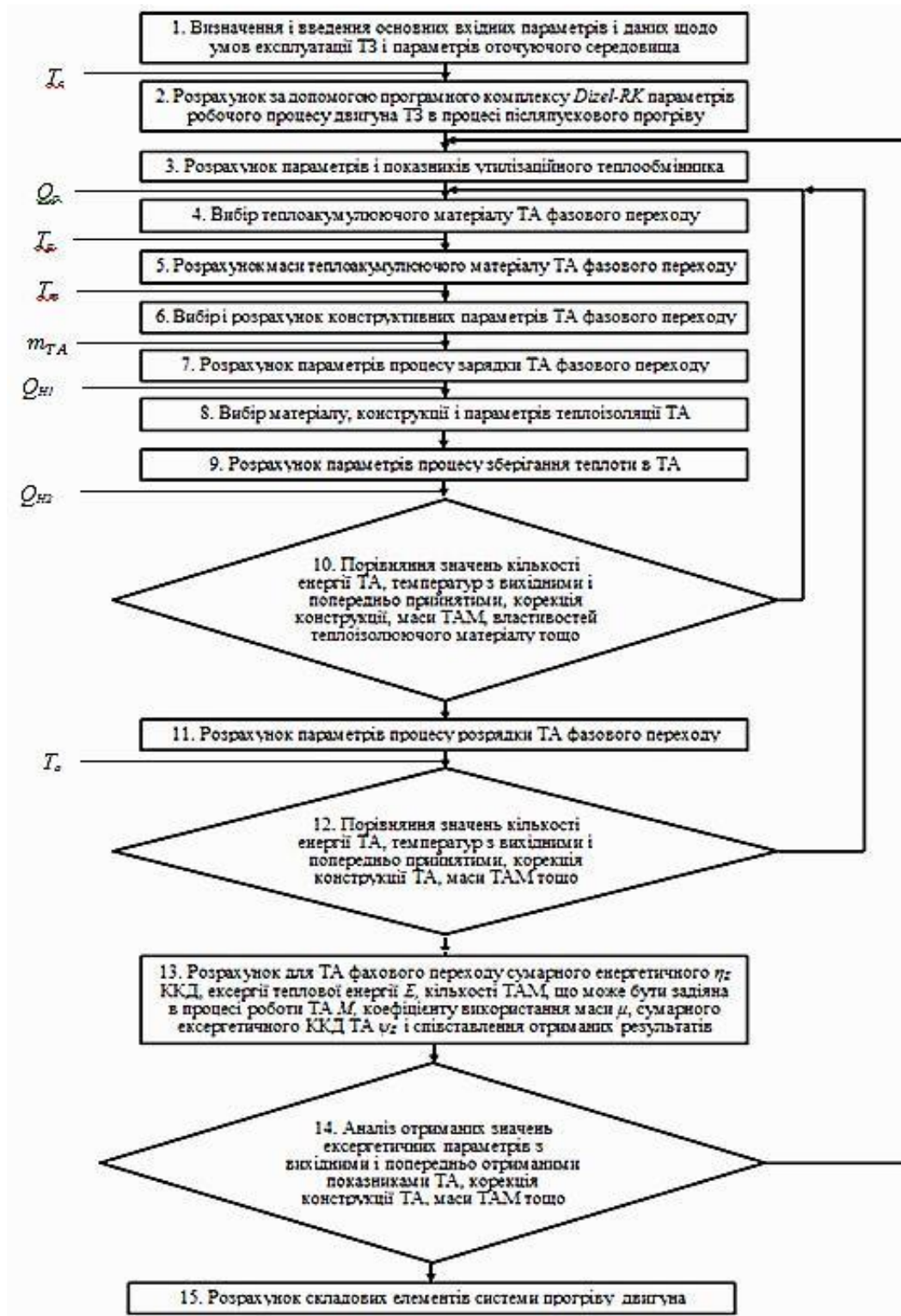


Рис. 1. Блок-схема розрахунку параметрів систем прогріву двигунів у складі теплового акумулятора з фазовим переходом

За отриманими в блоці 2 вихідними даними в блоці 3 розраховуються параметри і показники утилізаційного теплообмінника, як для відпрацьованих газів (ВГ), ОР, так і для МО. При цьому вихідним параметром виступає кількість теплової енергії Q_p з теплообмінника відповідно, що підводиться до ТА фазового переходу при заряді.

Вибір теплоакумуючого фазоперехідного матеріалу (ТАМ) для ТА проводиться в блоці 4 на основі положень [18, 21, 22]. Вихідним параметром виступає температура T_p теплопідводу в ТА, К. У блоці 5 проводиться попередній розрахунок маси ТАМ для ТА фазового переходу за положеннями [15, 18, 22, 23]. При цьому потрібно враховувати, що положення методик [22, 23] в питанні визначення маси ТАМ не враховують зміну стану фазоперехідного матеріалу в ТА, крім цього не враховуються особливості подальшого після фазового переходу прогріву в ТАМ теплового акумулятора СП. Крім цього, в роботах [23, 24] додатково вводяться коефіцієнти, які, на думку автора, в результаті розрахунків необґрунтовано збільшують масу ТАМ без урахування його фактичного фізичного стану (твердий або рідкий стан), а також не коректно враховується кількість енергії (Дж) в ТА після періоду зберігання. Враховуючи вище викладені недоліки методик, маса ТАМ визначалась з урахуванням положень [15, 18, 22, 23, 24] і особливостей роботи ТА в умовах СП двигуна внутрішнього згорання. Також, на цьому етапі слід враховувати, що нагрівання ТАМ в ТА фазового переходу складається з декількох складових: нагрівання ТАМ до температури фазового переходу, подальший нагрів ТАМ в процесі здійснення ним фазового переходу, після здійснення фазового переходу в ТАМ подальший фізичний прогрів рідкого ТАМ до встановленого алгоритмом роботи СП [19] кінцевого значення температури його нагрівання, а саме:

$$m_{TA} = \frac{Q_{H_2}}{L + (c_{TA,me} \cdot \Delta T_{me}) + (c_{TA,me-p} \cdot \Delta T_{me-p}) + (c_{TA,p} \cdot \Delta T_p)} = \frac{Q_{H_2}}{L + c_p^3}, \quad (1)$$

де m_{TA} – маса ТАМ, (кг); c_{TA} – теплоємність ТАМ, відповідно в твердій і рідкій фазах, Дж / (кг·К); L – питома тепла енергія фазового переходу ТАМ, Дж / кг; ΔT – зміна температури (підвищення температури ТАМ при заряджанні ТА),

К; c_p^3 – ефективна теплоємність ТАМ, що визначається: або за положеннями [21], або за формулою (247) з урахуванням (99) за положеннями методики [22], або за формулою (1.5 – 1.6) за положеннями методики [24]. При цьому вихідним параметром виступає температура T_m плавлення ТАМ, К.

У блоці 6 проводиться вибір і розрахунок конструктивних параметрів ТА фазового переходу і корекція розрахованих параметрів в блоці 5. Після закінчення розрахунків і оптимізації параметрів вихідним параметром буде виступати маса m_{TA} ТАМ.

Після виконання формування параметрів ТА фазового переходу в блоці 7 проводиться розрахунок параметрів процесу зарядки ТА фазового переходу за положеннями [18, 19]. Вихідним параметром при цьому буде виступати кількість накопиченої теплової енергії Q_{H_1} при заряді ТА фазового переходу, кДж.

Для оптимізації процесу зберігання теплової енергії в ТА в блоці 8 проводиться вибір матеріалу, конструкції і параметрів теплоізоляції ТА, а в блоці 9 проводиться розрахунок параметрів процесу зберігання теплової енергії в ТА за по-

ложеннями [18, 19]. Вихідним параметром при цьому буде виступати кількість теплової енергії Q_{H_2} в ТА фазового переходу після періоду зберігання, кДж.

У блоці 10 проводиться порівняння значень кількості енергії ТА, температур з вихідними і попередньо прийнятими параметрами, а після цього проводиться корекція конструкції, маси ТАМ, властивостей теплоізолюючого матеріалу тощо. Для чого процес оптимізації повертається в блок 4.

Розрахунок параметрів процесу розрядки ТА фазового переходу за положеннями [18, 19] проводиться в блоці 11, а після цього в блоці 12 проводиться порівняння значень кількості енергії ТА і температур з вихідними і попередньо прийнятими параметрами, а після цього проводиться корекція конструкції ТА, маси ТАМ тощо. Для чого процес оптимізації повертається в блок 4. Вихідним параметром в блоці 11 буде виступати температура T_o , °С, відводу теплоти з ТА фазового переходу.

Для виконання оптимізації параметрів ТА з фазовим переходом за ексергетичними параметрами [2, 15, 23] з виконанням загальної оптимізації системи прогріву в блоці 13 послідовно проводиться розрахунок для ТА фахового переходу сумарного енергетичного η_Σ ККД, ексергії теплової енергії E , маси ТАМ, яка може бути задіяна в процесі роботи ТА M , коефіцієнта використання маси μ , сумарного ексергетичного ККД ТА ψ_Σ та співставлення отриманих результатів в цілому і для складових процесів за наступними залежностями [15, 23]. Так сумарний енергетичний ККД η_Σ дорівнює відношенню кількості енергії Q_o , Дж, що відводиться при розряді ТА до енергії, що підводиться при заряді Q_p , Дж, а саме $\eta_\Sigma = Q_o / Q_p$. Ексергію (тобто максимальну працездатність) теплової енергії визначаємо за положеннями [15, 23, 25], а саме $E = Q \cdot (T - T_c) / T$, де E – ексергія, що підводиться (відводиться), Дж; Q – енергія, що підводиться (відводиться), Дж; T температура тіла, до якого теплота підводиться (відводиться), К; T_c – температура навколишнього середовища, К. Кількість ТАМ, яка може бути задіяна за даних умов в конструкції ТА в його процесах роботи визначаємо за положеннями [15, 23, 25], а саме $M = E_p / L$. Для порівняльного аналізу спроектованої або існуючої конструкції ТА використовуємо коефіцієнт використання маси ТАМ що визначений за положеннями [15, 23, 25], а саме $\mu = M_p / M = 1 - T_c / T_p$. Чим вище коефіцієнт використання маси μ , тим ефективніше використовується маса ТА. Сумарний ексергетичний ККД ТА визначаємо за положеннями [15, 23, 25], а саме $\psi_\Sigma = E_o / E_p = M_o / M_p = \mu_o / \mu_p = \eta_\Sigma (1 - T_c / T_o) / (1 - T_c / T_p)$. Після цього, в блоці 14 виконується аналіз отриманих значень ексергетичних параметрів з вихідними і попередньо отриманими показниками ТА фазового переходу, а після цього проводиться корекція конструкції ТА, маси ТАМ тощо. Для чого процес оптимізації повертається в блок 3. Після проведення оптимізації параметрів проводимо в блоці 15 розрахунок складових елементів системи прогріву двигуна.

У ході проведення розрахунків за розробленими програмами для кожного поєднання незалежних змінних параметрів визначається значення параметра системи прогріву двигуна, що оптимізується і порівнюється з кращим з раніше розрахованих. В кінці процесу розрахунку для найкращого варіанта визначаються оптимальні параметри складових і СП двигуна. Отримані значення величин на практиці обмежуються вимогами міцності, надійності, можливостями технології

виготовлення та умовами і вимогами експлуатації. Ці обмеження у вигляді зворотніх зв'язків і обмежень вводяться в програму розрахунку, які визначаються конструктивною схемою і складом СП двигуна.

Для прикладу, на рис. 2 подані результати проведення оптимізації для ексергетичних показників ТА фазового переходу СП транспортного двигуна [3, 7 – 12] з масою ТАМ, що не перевищує 18,5 кг, для двох варіантів: а) при максимальному терміні зберігання теплоти; б) при максимальній тепловіддачі з ТА. На рис. 2 використовуються такі позначення: енергетичні ККД: сумарний η_{Σ} , періоду заряду η_1 , зберігання накопиченої енергії η_2 і розряду η_3 ; підведена ексергія при заряді E_p , накопичена ексергія при заряді E_{H_1} , ексергія після періоду зберігання енергії E_{H_2} , відведена з ТА ексергія при розряді E_o ; маса ТАМ, яка може бути задіяна за даних умов теплопідводу M_p , маса ТАМ, що забезпечує накопичення ексергії при заряді M_{H1} , маса ТАМ, що забезпечує накопичення ексергії після періоду зберігання ТАМ M_{H2} , маса ТАМ, яка забезпечує задіяння ексергії при розряді M_o ; коефіцієнти використання маси ТАМ: при підводі заряду μ_p , при накопиченні ексергії під час заряду μ_{H_1} , після періоду зберігання енергії μ_{H_2} , при відводі з ТА ексергії при розряді μ_o ; ексергетичний ККД ТА: сумарний ψ_{Σ} , періоду заряду ψ_1 , зберігання накопиченої енергії ψ_2 і розряду ψ_3 .

Проведений розрахунок доводить, що з точки зору корисного використання маси, як в першому, так і в другому варіанті кількість ТАМ, яка може бути задіяна за даних умов в конструкції ТА в його процесах роботи $M_{p2} = M_{p1}$, $M_{H12} = M_{H11}$, $M_{H22} = M_{H21}$, але в другому варіанті вона працює ефективніше $M_{O2} > M_{O1}$ завдяки зміні конструкції ТА в частині теплопідводу. Змінити умови підводу теплової енергії в ТА набагато складніше, виходячи з особливостей роботи ДВЗ ТА в режимі прогріву і відповідно температур ВГ. Це ж підтверджується і отриманим коефіцієнтом використання маси при розряді $\mu_{O2} > \mu_{O1}$, $\psi_{32} > \psi_{31}$. Описаний процес роботи ТА відбувається при рівності потенційних можливостей обох варіантів ($\mu_{p2} \approx \mu_{p1}$). В той же час при рівності ексергетичних ККД ТА обох варіантів при заряді і зберіганні накопиченої енергії ($\psi_{12} = \psi_{11}$, $\psi_{22} = \psi_{21}$), ексергетичний ККД ТА в режимі розряду у другого варіанта набагато вищий ($\psi_{32} > \psi_{31}$) і відповідно сумарний ексергетичний ККД ТА отримуємо також вище у другому варіанті ($\psi_{\Sigma 2} > \psi_{\Sigma 1}$). Таким чином, в обох варіантах необхідно покращувати умови при заряді, для другого ж варіанту необхідно вживати заходів для покращення як теплопідводу, так і зберігання теплової енергії. Про це свідчать отримані показники ексергетичного аналізу. Для обох варіантів отримані показники підтверджують доцільність використання ТА і відповідно СП в першу чергу при низьких температурах оточуючого середовища.

Висновки та пропозиції. Метод замкнутої оптимізації дозволяє приймати для оптимізації практично будь-який параметр системи прогріву з ТА – ККД, режим роботи двигуна з ТА при здійсненні його прогріву (зарядки ТА), конструкційні параметри ТА фазового переходу тощо. Це в результаті дає можливість оцінювати досконалість систем прогріву двигуна з ТА фазового переходу при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву АТЗ. Так, наприклад, за допомогою розробленого методу та відповідного програмного забезпечення проведемо аналіз параметрів СП транспортного двигуна G4GC (4Ч 7,72/8,45) автомобіля KIA CEE'D 2.0 5MT2 [10 – 12]. Отримані значення ексергетичних

показників (рис. 2, б) підтвердили доцільність використання ТА з фазовим переходом в СП АТЗ і показали перспективи удосконалення ТА.

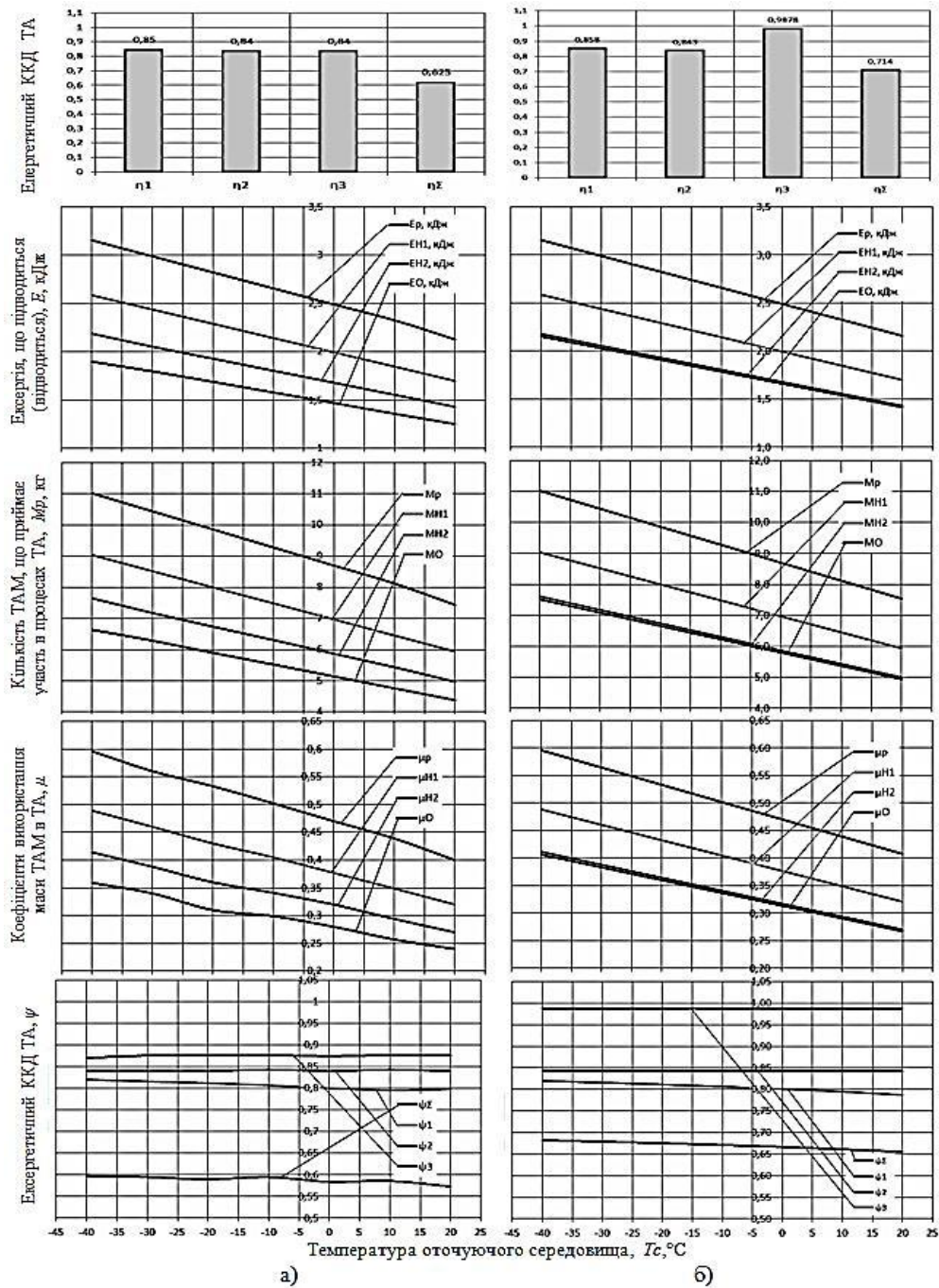


Рис. 2. Ексергетичні показники ТА фазового переходу системи прогріву транспортного двигуна: а) при максимальному терміні зберігання теплоти; б) при максимальній тепловіддачі з ТА

Застосування ексергетичного аналізу при проектуванні ТА СП двигунів АТЗ дозволяє виявити напрямки конструктивного удосконалення елементів СП при реальних умовах функціонування шляхом оцінки ефективності використання маси ТАМ. Порівняння отриманих результатів розрахунку з експериментальними даними дають підставу зробити висновок, що запропонований метод замкнутої оптимізації зручний для практики і дозволяє здійснювати як пошукові дослідження СП двигунів АТЗ з ТА фазового переходу, так і отримувати результати в процесі їх проектування. Виконані дослідження для СП з ТА фазового переходу дозволяють вибирати оптимальні параметри ТА з урахуванням особливостей їх конструкції і технології використання в умовах експлуатації. Розроблені автором програми дають можливість визначати вплив окремих параметрів ТА фазового переходу на ефективність СП АТЗ в реальних умовах експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Матюхин Л. М. Теплотехнические устройства автомобилей: учеб. пособие / Л. М. Матюхин / М.: МАДИ, 2009. – 89 с.
2. Кривов В. Г. Проблема запуска двигателей строительных и дорожных машин в условиях низких температур и перспективы ее решения / В. Г. Кривов, С. Д. Гулин, Н. В. Глушенко, А. А. Сорокин, В. У. Стоянов // Двигателестроение. – 1991. – №4. – С. 55 – 60.
3. Адров Д. С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д. С. Адров, І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський, В. І. Дорошко // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – №27. – С. 117–126.
4. Schatz D. Latentwärmespeicher für Kaltstartverbesserung von Kraftfahrzeugen / D. Schatz // Brennst.- Wärme-Kraft, 1991. – №6. – р. 333 – 340.
5. Umweltschutz dank Wärmespeicher // Automob. Rev. – 1991. – № 37. – S. 43.
6. Woschni G. Nutzung gespeicherter Wärme in der Start und Warmlaufphase bei Fahrzeugmotoren / G. Woschni, M. Stein, W. Spindler // MTZ:Motortech. Z. – 1995. – №6. – р. 364 – 369.
7. Грицук І. В. Результати розрахунку паливної економічності та екологічних показників двигуна внутрішнього згорання за циклом передпускового прогріву і пуску при застосуванні системи комбінованого прогріву / І. В. Грицук, Д. С. Адров, З. І. Краснокутська, В. С. Вербовський // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – № 27. – С. 225–232.
8. Вербовський В. С. Дослідження системи передпускового розігріву газового двигуна на основі використання теплового акумулятора з теплоакуюлюючим матеріалом, що має фазовий перехід / В. С. Вербовський, І. В. Грицук, Д. С. Адров, З. І. Краснокутська // Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013. – №1. – С. 110–116.
9. Вербовський, В. С. Особливості передпускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / В. С. Вербовський, І. В. Грицук, Д. С. Адров, З. І. Краснокутська // Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2014. – №2. – С. 85–90.
10. Гутаревич Ю. Ф. Дослідження системи комбінованого прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук // Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2014. – №1. – С. 67–73.
11. Грицук І. В. Особливості дослідження системи прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / І. В. Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ – Донецьк: ДонІЗТ, 2014. – Випуск № 38. – С. 117 – 133.
12. Гутаревич Ю. Ф. Вплив системи прогріву з тепловим акумулятором фазового переходу на показники пуску і прогріву транспортного двигуна / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr.5. Seria:Transport. – Rzeszow. – 2014. – р. 155 – 160.
13. Грицук І. В. Системний підхід до проектування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву ДВЗ / І. В. Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ – Донецьк: ДонІЗТ, 2012 – №30. – С. 106 – 117.
14. Rosen M. Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems / M. Rosen, F. Hooper, L. Barbaris // J. of Solar Energy Engineering, 1988. – Nov. V. 110. – P. 255 – 262.

15. Куколев М. И. Оценка эффективности использования массы теплового аккумулятора / М. И. Куколев // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 1. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1996. – С. 40–42.
16. Кириченко А. С. Анализ солнечной теплонасосной энергетической системы с эксергоэкономической точки зрения / А. С. Кириченко // Научный журнал КубГАУ, №97(03). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – С. 1–15.
17. Горожанкин С. А. Определение параметров действительных циклов двигателей Стирлинга на основе их адиабатной модели / С. А. Горожанкин // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Мажіівка: ДонНАБА. – Т. 2. – №4. – 2006. – С. 187–194.
18. Адров Д. С. Математичні моделі функціонування теплового акумулятора фазового переходу системи комбінованого прогріву ДВЗ / Д. С. Адров, І. В. Грицук, В. А. Постников // Збірник наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Випуск №133. – С. 270 – 277.
19. Грицук І. В. Математична модель розрахунку показників двигуна внутрішнього згорання з системою комбінованого прогріву при здійсненні пуску і прогріву / І. В. Грицук, Д. С. Адров // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – Випуск №36. – С. 68 –72.
20. Куколев, М. И. Определение технического совершенства теплового накопителя мобильной машины на ранних стадиях проектирования / М. И. Куколев, Ю. К. Кукелев // Научные и практические вопросы совершенствования эксплуатации мобильных машин в современных условиях: Сб науч. трудов ВИТУ. – Вып. 3. – Санкт-Петербург, 2003. – С. 106 – 112.
21. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів: монографія / В. Д. Александров, Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський и др. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2014. – 230 с.
22. Шульгин В. В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В. В. Шульгин / СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. – 268 с.
23. Куколев М. И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 240 с.
24. Россихин Н. А. Методические указания по проектированию аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа) / Н. А. Россихин // Кафедра Э-6, «Теплофизика», МГТУ им. Баумана. – М, 2007. – С. 33.
25. Мартыновский В. С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / В. С. Мартыновский // М.: Энергия, 1979. – 285 с.

**Igor V. Gritsuk, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Doctoral Candidate, Technical Operation and Service of Cars Chair,
Kharkov National Automobile and Highway University)**

DEFINING THE PARAMETERS OF THE SYSTEM WARM- VEHICLE ENGINE HEAT STORAGE PHASE TRANSITION BASED ON EXERGY ANALYSIS

The method of calculation and optimization of parameters of a closed heating systems of internal combustion engines with heat accumulators phase transition from exergic analysis. This ultimately makes it possible to assess the excellence of warming up the engine with heat accumulators phase transition in the implementation of pre-heating of starting and vehicle. The scheme of calculating the parameters of the engine warm-based processes occurring in thermal phase transition battery while exergic analysis of these processes. A comparison of the results of calculations on mathematical models of different variants of operating systems with heat engine warm-up battery. The obtained value exergic indicators confirmed the feasibility of using a thermal phase transition of power in heating system of the vehicle and showed improvement prospects heating system of the engine. Application

exergic analysis in the design of the thermal battery heating system engines of vehicles reveals areas of design improvements heating system elements in real terms by assessing the efficiency of heat accumulating mass of material. Comparison of the results and experimental data give reason to conclude that the proposed method is suitable for closed-loop optimization practices and allows, as search engines warming up study of motor vehicles with thermal phase transition batteries and get results in their design. The research for heating systems with thermal phase transition battery let you choose the optimum settings based thermal power characteristics of their design and technology use in actual use.

Keywords: system of warm-combustion engine vehicle, the heat accumulator phase transition, a thermodynamic system, heat storage material, energy analysis, efficiency.

REFERENCES

1. Matyuhin L. M. *Teplotekhnicheskie ustrojstva avtomobilej: ucheb. posobie* [Thermo-technical device cars]. – Moscow, MADI, 2009. – 89 p.
2. Krivov V. G., Gulin S. D., Gluhenko N. V., Sorokin A. A., Stojanov V. U. *Problema zapuska dvigatelej stroitel'nyh i dorozhnyh mashin v uslovijah niz'kih temperatur i perspektivy ee reshenija* [Problem starting the engines of construction and road machines at low temperatures, and the prospects of its solution]. *Dvigatelsestroenie/ Scientific and Technical Journal*, 1991. – issue 4. – pp.55 – 60.
3. Adrov D. S., Gritsuk I. V., Prilepsky Ju. V., Doroshko V. I. *Teplovij akumuljator jak zasib pidvishhennja efektyvnosti pusku stacionarnogo dviguna v umovah niz'kih temperatur* [Heat battery as a means of improving the efficiency of start stationary engine at low temperatures]. *Zbirn. nauk. prac' DonIZT UkrDAZT – Donec'k: DonIZT* [Science. works DonIZT UkrDAZT – Donetsk: DonIZT], 2011. – issue 27. – pp. 117 – 126.
4. Schatz D. Latentwärmespeicher für Kaltstartverbesserung von Kraftfahrzeugen. *Brennst. – Warme-Kraft*, 1991. – №6. – p. 333 – 340.
5. Umweltschutz dank Wärmespeicher // *Automob. Rev.* – 1991. – №37. – S. 43.
6. Woschni G., Stein M., Spindler W. Nutzung gespeicherter Wärme in der Start und Warmlaufphase bei Fahrzeugmotoren. *MTZ:Motortechn. Z.* – 1995. – №6. – p. 364 – 369.
7. Gritsuk I. V., Adrov D. S., Krasnokutskaya Z. I., Verbovskyy V. S. *Rezultati rozrahunku palivnoi ekonomichnosti ta ekologichnih pokaznikiv dviguna vnutrishn'ogo zgorannja za ciklom przedpuskovogo progrivu i pusku pri zastosuvanni sistemi kombinovanogo progrivu* [The results of the calculation of fuel efficiency and environmental performance of the internal combustion engine pre-heating the cycle and start the application system combined heating]. *Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. – Kiev, NTU* [Proceedings of the National Transport University. – Kiev, NTU], 2013, issue 27, pp. 225 – 232.
8. Verbovskyy V. S., Gritsuk I. V., Adrov D. S., Krasnokutskaya Z. I. *Doslidzhennja sistemi przedpuskovogo rozigrivu gazovogo dviguna na osnovi vikoristannja teplovogo akumuljatora z teploakumuljujuchim materialom, shho maє fazovij perehid* [Study of Pre-heating the gas engine through the use of a thermal power of heat accumulating material having a phase transition]. *Dvigateli vnutrennego sgoranija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Har'kov: NTU «HPI»* [Internal combustion engines. Scientific and Technical Journal. Kharkov: NTU «KPI»], 2013 – issue 1 – pp. 110 – 116.
9. Verbovskyy V. S., Gritsuk I. V., Adrov D. S., Krasnokutskaya Z. I. *Osoblivosti przedpuskovogo progrivu stacionarnogo gazovogo dviguna z vikoristannjam teplovogo akumuljatora z fazovim perehodom* [Features pre-heating stationary gas engine using a thermal phase transition of power]. *Dvigateli vnutrennego sgoranija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Har'kov: NTU «HPI»* [Internal combustion engines. Scientific and Technical Journal. Kharkov: NTU «KPI»], 2014. – issue 2. – pp. 85 – 90.
10. Gutarevich Ju. F., Gritsuk I. V. *Doslidzhennja sistemi kombinovanogo progrivu transportnogo dviguna z vikoristannjam teplovogo akumuljatora z fazovim perehodom* [Study of combined transport motor heating using thermal phase transition of power]. *Dvigateli vnutrennego sgoranija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Har'kov: NTU «HPI»* [Internal combustion engines. Scientific and Technical Journal. Kharkov: NTU «KPI»], 2014. – issue 1. – pp. 67 – 73.
11. Gritsuk I. V. *Osoblivosti doslidzhennja sistemi progrivu transportnogo dviguna z vikoristannjam teplovogo akumuljatora z fazovim perehodom* [Particularities of the research heating system of the motor vehicle using a thermal phase transition of power]. *Zbirn. nauk. prac' DonIZT UkrDAZT – Donec'k: DonIZT* [Science. works DonIZT UkrDAZT – Donetsk: DonIZT], 2014. – issue 38. – pp. 117 – 133.

12. Gutarevich Ju. F., Gritsuk I. V. *Vpliv sistemi progrivu z teplovim akumuljatorom fazovogo perehodu na pokazniki pusk i progrivu transportnogo dviguna* [Influence of heating systems with thermal phase transition to battery performance and start warming up vehicle engine] *Sistemy i šrodki transportu samochodovogo. Vybrane zagadnienja. Monografija nr.5. Seria:Transport. – Rzeszow, 2014. – p. 155 – 160.*
13. Gritsuk I. V. *Sistemnij pidhid do proektuvannja i doslidzhennja kompleksnih sistem kombinovanogo progrivu DVZ* [The systems approach to the design and research of complex systems combined heating ICE]. *Zbirn. nauk. prac' DonIZT UkrDAZT – Donec'k: DonIZT* [Science. works DonIZT UkrDAZT – Donetsk: DonIZT], 2012. – issue 30. – pp. 106 – 117.
14. Rosen M., Hooper F., Barbaris L. Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems.// *J. of Solar Energy Engineering.* – 1988. – Nov. V. 110. – P. 255 – 262.
15. Kukolev M. I. *Ocenka jeffektivnosti ispol'zovanija massy teplovogo akumuljatora* [Evaluating the effectiveness of the use of mass storage heater]. *Trudy lesoinzhenerenogo fakul'teta PetrGU. Petrozavodsk. [Proceedings of the Faculty of Forestry PSU. Vol. 1. – Petrozavodsk], 1996. – PP. 40 – 42.*
16. Kirichenko A. S. *Analiz solnechnoj teplonasosnoj jenergeticheskij sistemy s jeksergojekonomicheskij točki zrenija* [Analysis of solar energy heat pump system exergy economic point of view]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU, Krasnodar: KubGAU.* [Scientific Journal KubGAU, Krasnodar: KubGAU], 2014, issue 97(03), pp. 1-15.
17. Gorozhankin S. A. *Opredelenie parametrov dejstvitel'nyh ciklov dvigatelej Stirlinga na osnove ih adiabatnoj modeli* [Defining the parameters of the actual cycle Stirling engines based on their adiabatic model]. *Suchasne promislove ta civil'ne budivnictvo, Makiivka: DonNABA* [Modern industrial and civil construction, Makiyivka: DonNASA], 2006. – Volume 2 – issue 4. – PP. 187 – 194.
18. Adrov D. S., Gritsuk I. V., Postnikov V. A. *Matematichni modeli funkcionuvannja teplovogo akumuljatora fazovogo perehodu sistemi kombinovanogo progrivu DVZ* [Mathematical model of thermal phase transition battery heating system combined ICE]. *Zbirnik nauk. prac' UkrDAZT. – Harkiv: UkrDAZT* [Collection of fasters. UkrDAZT works. – Kharkov: UkrDAZT], 2012. – issue 133. – PP. 270 – 277.
19. Gritsuk I. V., Adrov D. S. *Matematichna model' rozrahunku pokaznikov dviguna vnutrishn'ogo zgorannja z sistemoju kombinovanogo progrivu pri zdijsnenni pusk i progrivu* [Mathematical model of calculation of parameters of the internal combustion engine combined heating system in the implementation and start heating]. *Mizhvuzivs'kij zbirnik «Naukovi notatki» – Luc'k: LNTU* [Interuniversity collection «Scientific Notes» – Lutsk LNTU], 2012, issue 36, pp. 68-72.
20. Kukolev M. I., Kukelev Ju. K. *Opredelenie tehničeskogo sovershenstva teplovogo nakopitelja mobil'noj mashiny na rannih stadijah proektirovanija* [Definition of technical perfection thermal storage mobile machine in the early stages of design]. *Nauchnye i praktičeskie voprosy sovershenstvovanija jekspluatacii mobil'nyh mashin v sovremennyh uslovijah: Sb nauch. trudov VITU, Sankt-Peterburg* [Scientific and practical issues of improving the operation of mobile machines in the implementation and start heating]. *Mizhvuzivs'kij zbirnik «Naukovi notatki» – Luc'k: LNTU* [Interuniversity collection «Scientific Notes» – Lutsk LNTU], 2012, issue 36, pp. 68-72.
21. Aleksandrov V. D., Gritsuk I. V., Prilepsky Ju. V., Postnikov V. A., Gushchin A. M., Adrov D. S., Verbovskyy V. S., Krasnokutskaya Z. I. *Teplovi akumuljatori fazovogo perehodu dlja transportnih zasobiv: parametri robochih procesiv: monografija* [Thermal phase transition batteries for vehicles, workflow options: monograph]. *Donec'k: Vid-vo «Noulidzh» (Donec'ke viddilennja)* [Donetsk: Izd «Noulidzh» (Donetsk branch)], 2014. – 230 p.
22. Shulgin V. V. *Teplovyje akumuljatory avtotransportnyh sredstv* [Heat accumulators vehicles]. – *Sankt-Peterbur*, Publisher Polytechnic. University Press, 2005. – 268 p.
23. Kukolev M. I. *Osnovy proektirovanija teplovyh nakopitelej jenerгии* [Basics of Designing a thermal energy storage]. – *Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2001. – 240 p.*
24. Rossikhin N. A. *Metodicheskie ukazanija po proektirovaniju akumuljatorov teploty na fazovyh perehodah (kapsul'nogo tipa)* [Design guidelines heat accumulators on phase transitions (Capsule)]. – *Moscow, Kafedra JE-6, «Teplofizika», MGTU im. Bauman, 2007. – 33 p.*
25. Martynovsky B. C. *Cikly, shemy i harakteristiki termotransformatorov* [Cycles, diagrams and specifications thermotransformers]. – *Moscow: Energy, 1979. – 285 p.*

*Н. С. Брайковська, к.т.н., професор
(перший проректор Державного економіко-технологічного
університету транспорту, м. Київ)
Н. Л. Белевцова, к.т.н., доцент
(професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного
економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛУ ПРИ СКЛАДНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ПО ДВОЛАНКОВИХ ТРАЄКТОРІЯХ З ПРОМІЖНИМ РОЗВАНТАЖЕННЯМ

У роботі доведено використання однієї функції в рівняннях теорії процесів малої кривизни при навантаженні по дволанкових траєкторіях з проміжним розвантаженням.

Ключові слова: теорія процесів малої кривизни, дволанкова траєкторія, складне навантаження, проміжне розвантаження.

В работе доказано, что возможно использование одной функции в уравнениях теории процессов малой кривизны при нагрузке по двухзвенным траекториям с промежуточной разгрузкой.

Ключевые слова: теория процессов малой кривизны, двухзвенная траектория, сложное нагружение, промежуточная разгрузка.

В [1, 2] для дволанкових процесів навантаження і деформування з проміжним розвантаженням отримані визначальні рівняння, що містять дві універсальні функції, кожна із яких залежить від довжини дуги другої ланки і змінної межі плинності. На відміну від цього покажемо, що в деяких випадках дволанкового навантаження з проміжним розвантаженням можна обмежитися однією універсальною функцією і використовувати рівняння теорії процесів малої кривизни.

З цією метою на трубчастих зразках ізотропного сплаву ЭИ-437 спочатку був здійснений процес складного навантаження по дволанковій ламаній з кутом зламу 142° (рис. 1). Експеримент виконаний за методикою, описаною в [3], при

кімнатній температурі. По заданих компонентах $\sigma_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma_{zz}$ і $\sigma_5 = \sqrt{2} \sigma_{\phi z}$ вектора напружень $\bar{\sigma}$, де σ_{zz} і $\sigma_{\phi z}$ – компоненти тензора напружень в циліндричній системі координат z, r, ϕ , в кожній точці траєкторії навантаження визначали розтягувальну силу P і крутний момент M за формулами:

© Брайковська Н. С., Белевцова Н. Л., 2014

$$P = \sqrt{6\pi R h \sigma_1}, \quad M = \sqrt{2\pi R^2 h \sigma_5},$$

де R і h – відповідно середній радіус і товщина стінки недеформованого зразка.

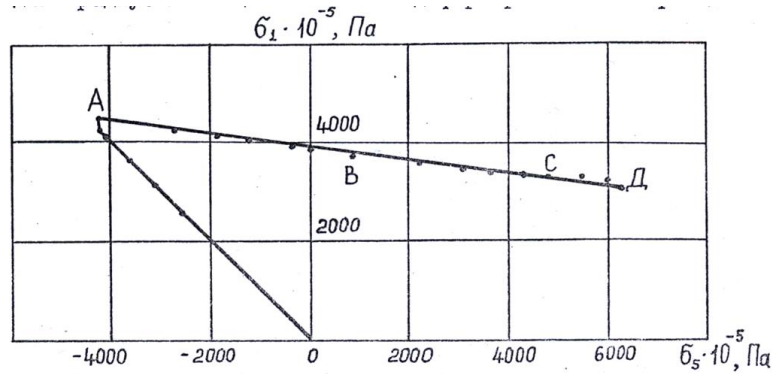


Рис. 1

Швидкість напруження в цьому процесі була постійною і рівною $\dot{S} = \sqrt{\dot{\sigma}_1^2 + \dot{\sigma}_5^2} = 30 \cdot 10^{-5} \text{ Па} / \text{с}$. Компоненти $\mathcal{E}_1$ і $\mathcal{E}_5$ вектора деформації $\vec{\mathcal{E}}$ вираховували за формулами $\mathcal{E}_1 = \sqrt{\frac{2}{3}}(\epsilon_{zz} - \epsilon_{\phi\phi})$ і $\mathcal{E}_5 = \sqrt{2}\epsilon_{\phi z}$, де компоненти тензора деформацій в циліндричній системі координат рівні:

$$\epsilon_{zz} = \frac{\Delta \ell}{\ell} \quad (\Delta \ell - \text{подовження зразка на базі } \ell);$$

$$\epsilon_{\phi\phi} = \epsilon_{rr} = \frac{\Delta D}{D} \quad (D - \text{діаметр зразка до деформації, } \Delta D - \text{зміна діаметра});$$

$$\epsilon_{\phi z} = \frac{R\phi}{2\ell} \quad (\phi - \text{кут повороту одного поперечного перерізу зразка щодо}$$

іншого, розташованих на базі ℓ). Потім були визначені компоненти вектора пружних

$$\mathcal{E}_i^e = \frac{\sigma_i}{2G} \quad (i=1,5; G - \text{модуль зсуву}) \text{ і пластичних } \mathcal{E}_i^p = \mathcal{E}_i - \mathcal{E}_i^e \text{ деформацій.}$$

За знайденими компонентами $\mathcal{E}_i^p$ і компонентами, що задаються σ_i , був побудований образ процесу деформації, який показав, що вектор напруження $\vec{\sigma}$ направлений по дотичній до траєкторії необоротних деформацій на криволінійному відрізку цієї траєкторії, якій відповідає повторному навантаженню. Таким чином, даний процес складного навантаження здійснено за траєкторією малої кривизни. Тому для його розрахунку можна застосувати менш складнішу, ніж в [1, 2], теорію процесів малої кривизни.

Розглянутий процес складного навантаження був розбитий на декілька етапів і проведені розрахунки за такими рівняннями цієї теорії [3]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{zz} &= \frac{(1+\nu)\sigma_{zz} - 3\nu\sigma_0}{E} + \varepsilon_{zz}^p; & \varepsilon_{\phi z} &= \frac{(1+\nu)\sigma_{\phi z}}{E} + \varepsilon_{\phi z}^p; \\ \varepsilon_{zz}^p &= \sum_{K=1}^N \Delta_K \varepsilon_{zz}^p; & \Delta_K \varepsilon_{zz}^p &= \left\langle \frac{s_{zz}}{s} \right\rangle \Delta_K \Gamma p^*; \\ \varepsilon_{\phi z}^p &= \sum_{K=1}^N \Delta_K \varepsilon_{\phi z}^p; & \Delta_K \varepsilon_{\phi z}^p &= \left\langle \frac{s_{\phi z}}{s} \right\rangle \Delta_K \Gamma p^*;\end{aligned}$$

де σ_0 – середнє нормальне напруження, ν – коефіцієнт Пуассона, E – модуль пружності. Кутовими дужками позначені середні значення величин, $\Delta \varepsilon$ – прирости величин на кожному етапі.

За відомими компонентами тензора напружень σ_{zz} і $\sigma_{\phi z}$ були визначені компоненти девіатора напружень $S_{zz} = \sigma_{zz} - \sigma_0$, $S_{\phi z} = \sigma_{\phi z}$, де $\sigma_0 = \frac{1}{3} \sigma_{zz}$; інтенсивність дотичних напружень $S_{\phi z} = \sqrt{\frac{1}{3} \sigma_{zz}^2 + \sigma_{\phi z}^2}$ і напруження при одноосьовому розтягуванні $\sigma = \sqrt{3} S$. Для цих значень на відрізках траєкторії початкового ОА і повторного СД навантаження по вихідній діаграмі $\sigma \sim \varepsilon$ одноосного розтягування даного матеріалу знайдені значення повної деформації ε і потім її пластичної складової $\varepsilon^p = \varepsilon - \frac{\sigma}{E}$. Далі визначені інтенсивність накопиченої пластичної деформації $\tilde{A}_\theta^* = \frac{\sqrt{3}}{2} \varepsilon^p$ та її нарощування на етапах $\Delta_K \Gamma_p^* = \Gamma_{p(K)}^* - \Gamma_{p(K-1)}^*$. Критерієм активного навантаження є нерівність $d\tilde{Y}^\delta > 0$.

При розвантаженні (відрізок АВ) і повторному пружному деформуванню (відрізок ВС), де пластична деформація досягла в точці А величини $\varepsilon^p = 0,74\%$ залишалася постійною, компоненти ε_{zz} і $\varepsilon_{\phi z}$ тензора повних деформацій визначені за законом Гука. Критерієм розвантаження прийнято рівність $d\tilde{\varepsilon}^p = 0$.

При розрахунку процесу повторного навантаження прийнято, що нова межа плинності дорівнює максимальному напруженню, досягнутому при першому активному навантаженні.

Знайдені таким чином залежності між компонентами тензорів напружень і деформацій подані на рис. 2 і 3 суцільними лініями, трикутниками позначені отримані експериментальні дані. Незначна розбіжність розрахункових і дослідних даних пояснюється тим, що у виконаному розрахунку не враховано вплив деформаційної анізотропії на повторне навантаження.

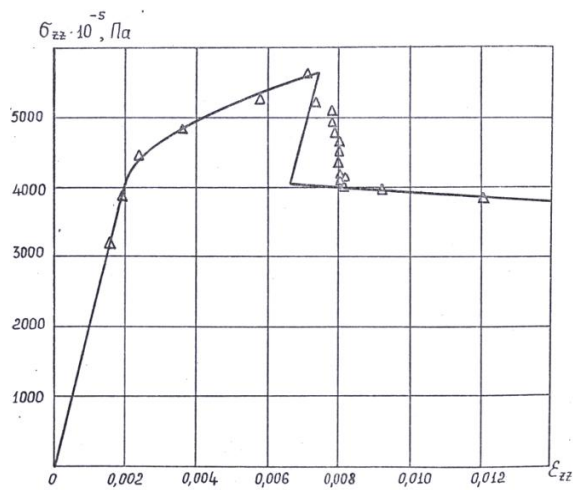


Рис. 2

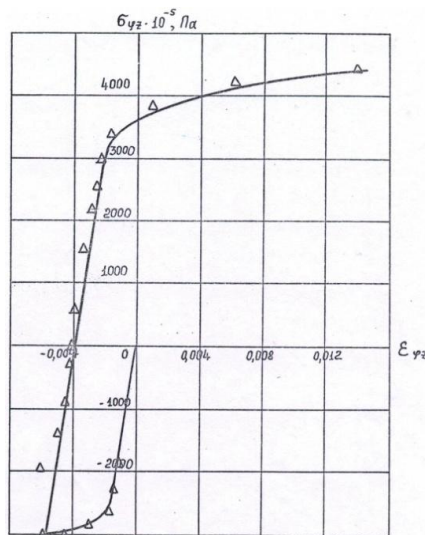


Рис. 3

Проведене дослідження свідчить про те, що теорія процесів малої кривизни задовільно описує розглянуті дволанкові процеси складного навантаження з проміжним розвантаженням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Москвитин В. В. Циклическое нагружение элементов конструкции. – М.: Наука, 1981. – 344 с.
2. Москвитин В. В., Городецкий А. В. К переменному нагружению упруго-пластических тел. // Сб. научн. тр. «Механика деформируемого твердого тела». – Тула, 1983. – С. 106–108.
3. Шевченко Ю. Н., Терехов Р. Г. Физические уравнения термовязкопластичности. – К.: Наук. думка, 1982. – 240 с.

*Nadiia S. Braikovska, PhD (Technical Sciences), Professor
(Vice Rector of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Natalia L. Belevtsova, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University
for Transport Economy and Technologies)*

TESTING OF METAL ALONG TWO-SECTION TRAJECTORIES WITH COMPOUND LOAD USING INTERMEDIATE UNLOAD

Solution equations for two-section processes of loading and deformation with intermediate unloading that have two universal functions each of which depends on the arc length of another section and on variable limit curve were achieved in previous works.

This work, as opposed to previous researches, proves that in some cases of two-section load with intermediate unloading, it is possible to be limited to one universal function using equation from the theory of processes of lesser curvature.

To demonstrate this, tube samples of isotropic alloy ЭИ-437 were subject to compound load along two-section curve with fracture angle of 142°. The experiment was done under room temperature using Shevchenko J.M and Terekhov R.G. procedure, cited in [3].

Given test indicates that the theory of processes of lesser curvature satisfactorily describes two-section processes of compound load with intermediate unloading.

Keywords: *theory of processes of lesser curvature, two-section trajectory, compound load, intermediate unloading.*

REFERENCES

1. Moskvityn V. V. Tsyklycheskoe nahruzhenye elementov konstruksyy. – M.: Nauka, 1981. – 344 p.
2. Moskvityn V. V. Horodetskyi A. B. K peremennomu nahruzheniyu upruho-plastycheskykh tel. // Sb. nauchn. tr. «Mekhanika deformyruemogo tverdogo tela». – Tula, 1983. – p. 106–108.
3. Shevchenko Iu. N., Terekhov R. H. Fizycheskiye uravneniya termoviazkoplastychnosti. – Kiev: Nauk. dumka, 1982. – 240 p.

УДК 539.3

*Н. С. Брайковська, к.т.н., професор
(перший проректор Державного економіко-технологічного
університету транспорту)*

*Н. Л. Белевцова, к.т.н., доцент
(професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Держав-
ного економіко-технологічного університету транспорту)*

РОЗРАХУНОК ДВОЛАНКОВИХ ПРОЦЕСІВ АКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСІВ МАЛОЇ КРИВИЗНИ

*У роботі доведено використання теорії процесів малої кривизни щодо ро-
зрахунку дволанкових процесів активного навантаження залежно від кута
зламу траєкторій.*

Ключові слова: теорія процесів малої кривизни, дволанкові процеси наван-
таження.

*В работе исследовано применение теории процессов малой кривизны к ра-
счету двухзвенный процессов активного нагружения в зависимости от угла
излома траекторий.*

Ключевые слова: теория процессов малой кривизны, двухзвенные процессы
нагружения.

У роботі [1] встановлені співвідношення між напруженнями і деформаціями для процесів деформування по траєкторіях малої кривизни з урахуванням повзучості при підвищеній температурі. Досліджуємо застосовність цих співвідношень до опису дволанкових процесів активного навантаження залежно від кута зламу траєкторії.

З цією метою на трубчастих зразках ізотропного сплаву ЭИ-437 спочатку за методикою [1] були здійснені в площині σ_1, σ_5 векторного простору А. А. Ільющіна процеси складного навантаження, який здійснюється розтягувальною силою P та крутним моментом M по дволанкових траєкторіях з двома характерними кутами зламу $\vartheta = 90^\circ$ і $\vartheta = 120^\circ$ при одній і тій самій пластичній деформації $\varepsilon^p = 1\%$ в точці зламу і постійній температурі $T = 700^\circ \text{C}$ (подані на рис. 1 і 2 відповідно в правому нижньому куті). По заданих компонентах $\sigma_1 = \sqrt{\frac{2}{3}}\sigma_{zz}$ і $\sigma_5 = \sqrt{2}\sigma_{\varphi z}$ вектора напружень $\vec{\sigma}$, де σ_{zz} і $\sigma_{\varphi z}$ – компоненти

© Брайковська Н. С., Белевцова Н. Л., 2014

тензора напружень в циліндричній системі координат z, r, ϕ , в кожній точці траєкторії навантаження визначали розтягувальну силу P і крутний момент M за формулами:

$$P = \sqrt{6}\pi R h \sigma_1, \quad M = \sqrt{2}\pi R^2 h \sigma_5,$$

тут R і h – відповідно середній радіус і товщина стінки недеформованого зразка.

Швидкість напруження в цих процесах дорівнювала:

$$\dot{S} = \sqrt{\dot{\sigma}_1^2 + \dot{\sigma}_5^2} = 30 \cdot 10^{-5} \text{ Па / с}.$$

Компоненти $\mathcal{E}_1$ і $\mathcal{E}_5$ вектора деформації $\vec{\mathcal{E}}$ вираховували за формулами:

$$\mathcal{E}_1 = \sqrt{\frac{2}{3}}(\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{\phi\phi}) \text{ і } \mathcal{E}_5 = \sqrt{2}\varepsilon_{\phi z},$$

де компоненти тензора деформацій в циліндричній системі координат рівні:

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\Delta\ell}{\ell} \quad (\Delta\ell - \text{подовження зразка на базі } \ell);$$

$$\varepsilon_{\phi\phi} = \varepsilon_{rr} = \frac{\Delta D}{D} \quad (D - \text{діаметр зразка до деформації, } \Delta D - \text{зміна діаметра});$$

$$\varepsilon_{\phi z} = \frac{R\phi}{2\ell} \quad (\phi - \text{кут повороту одного поперечного перерізу зразка щодо ін-}$$

шого, розташованих на базі ℓ). Потім були визначені компоненти вектора пружних

$\mathcal{E}_i^e = \frac{\sigma_i}{2G}$ ($i=1,5$; G – модуль зсуву) і пластичних $\mathcal{E}_i^e = \mathcal{E}_i - \mathcal{E}_i^e$ деформацій.

За знайденими компонентам $\mathcal{E}_i^p$ і заданими компонентами σ_i в площині $\mathcal{E}_1^p$ і $\mathcal{E}_5^p$ незворотних деформацій векторного простору були побудовані образи розглянутих процесів навантаження, аналіз яких показав таке: дволанкові траєкторії навантаження з кутами зламу, що змінюються в діапазоні $\vartheta = 0^\circ - 90^\circ$, відповідають траєкторіям деформування малої кривизни, тому що вектор $\vec{\sigma}$ спрямований по дотичній до будь-якої точки цієї траєкторії або близький до неї; дволанкові траєкторії активного навантаження з кутами зламу, що змінюються в діапазоні $\vartheta = 0^\circ - 120^\circ$, близькі до траєкторій деформування зі зломом $\theta = 90^\circ$, для яких напрямок $\vec{\sigma}$ не збігається з дотичною до них на довжині дуги $\Delta\xi$ точки зламу, яка визначається слідом запізнювання для даного матеріалу і зазначеної температури.

Співставлення розрахункових даних з експериментальними (подані на рис. 1 штриховими лініями і трикутниками відповідно) показало, що теорія процесів малої кривизни добре описує відповідні їй в просторі деформацій дволанкові процеси навантаження з кутами зламу, які не перевищують 90° . Для процесів навантажування з великими кутами зламу ($\vartheta = 90^\circ - 120^\circ$) результати розра-

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

хунку значно відрізняються від експериментальних (на рис. 2 – штрихові лінії і трикутники відповідно). У таких випадках слід застосовувати теорію активних процесів навантаження по довільних плоских траєкторіях [1, 2]. Співставлення виконаного з цієї теорії розрахунку (результати подані на рис. 2 суцільною лінією) з експериментальними даними показало не погану їх узгодженість.

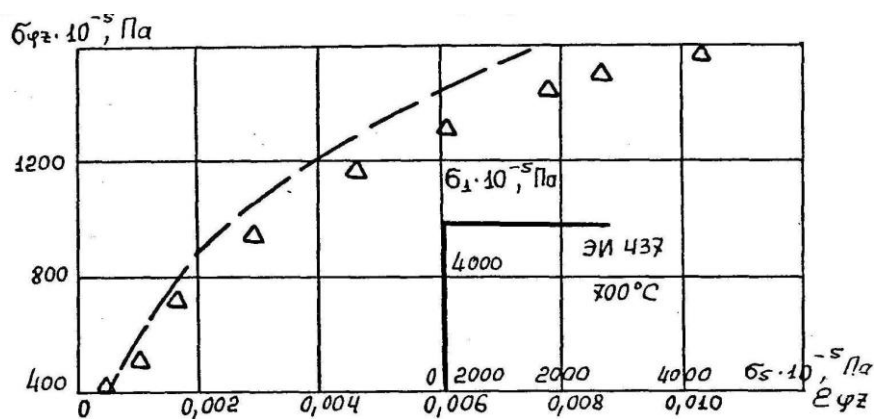


Рис. 1

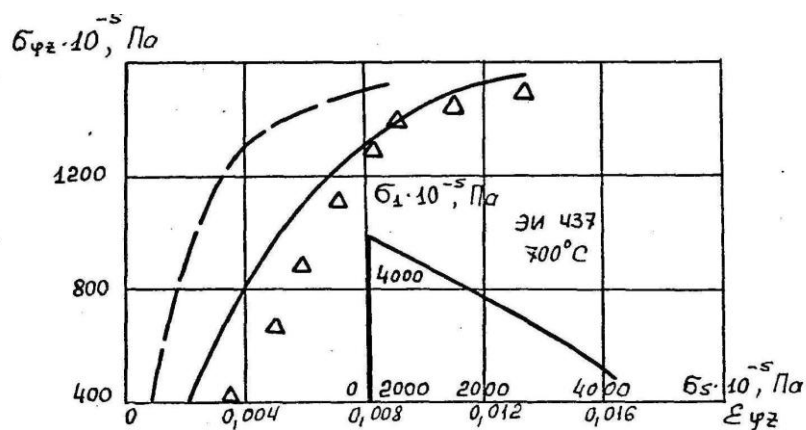


Рис. 2

ЛІТЕРАТУРА

1. Шевченко Ю. Н., Терехов Р. Г. Физические уравнения термовязкопластичности. – К.: Наук. думка, 1982. – 240 с.
2. Шевченко Ю. Н., Бабешко М. Е., Терехов Р. Г. О конкретизации функциональных зависимостей в уравнениях термовязкопластичности при сложном нагружении. // Сб. II Всесоюзного симпозиума «Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напряженном состоянии», 1984. – С. 70.

*Nadiia S. Braikovska, PhD (Technical Sciences), Professor
(Vice Rector of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Natalia L. Belevtsova, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University
for Transport Economy and Technologies)*

**CALCUTATION OF TWO-SECTION PROCESSES UNDER ACTIVE
LOADING USING THEORY OF PROCESSES OF LESSER
CURVATURE**

Application of theory of processes of lesser curvature concerning calculation of two-section processes of active stressing depending on the angle of a trajectory sharp bending was studied in this work.

Purposely, processes of compound stressing, using tensile force and twisting moment along two-section trajectories with two relevant break angles were implemented on tube samples of isotropic alloy ЭИ-437 on the plane of A.A.Iliushin vector space.

Comparison of experimental data and theory are provided also.

Keywords: theory of processes of lesser curvature, two-section processes of stressing.

REFERENCES

1. Shevchenko Iu. N., Terekhov R. H. Fizycheskye uravneniya termoviaz-koplastychnosti. – Kyev: Nauk. dumka, 1982. – 240 p.
2. Shevchenko Iu. N., Babeshko M. E., Terekhov R. H. O konkretyzatsyy funktsyonalnykh zavysymostei v uravneniyakh termoviazkoplastychnosti pry slozhnom nahruzhenyy. // Sb. II Vsesoiuznogo sympozyuma «Prochnost materialov y elementov konstruktsyi pry slozhnom napriazhenom sostoianyy», 1984. – S. 70.

УДК 534.647:625.42

І. І. Кульбовський, к.т.н., доцент

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

О. В. Агарков, к.т.н.

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

В. І. Ящук,

(інженер відділу рейкової дефектоскопії, Український центр механізації колійних робіт, м. Київ)

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ВІД ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА КОНСТРУКЦІЮ ТУНЕЛЮ

Розглянуто метрологічні засоби акустичних вимірювань вібраційного впливу від руху поїздів метрополітену на конструкцію тунелю. Проаналізовано результати вимірювань на коліях КП «Київський метрополітен» для різних конструкцій залізничної колії. Зроблено висновки щодо ефективності гасіння вібрацій конструкціями колії, на яких проводилось вимірювання.

Ключові слова: метрологія, акустичні вимірювання, калібрування, вібрації, рейка, колесо, метрополітен, динаміка взаємодії.

Рассмотрены метрологические средства акустических измерений вибрационного воздействия поездов метрополитена на конструкцию туннеля. Представлены результаты измерений на путях КП «Киевский метрополитен» для различных конструкций железнодорожного пути. Выполнены выводы относительно эффективности гашения вибраций конструкциями пути, на которых проводились измерения.

Ключевые слова: метрология, акустические измерения, калибровка, вибрации, рельс, колесо, метрополитен, динамика взаимодействия.

Вібрація – пружні механічні коливання високої частоти та малої амплітуди. При русі поїздів в метрополітені рухомий склад постійно відчуває коливання, що утворюються в результаті його динамічної взаємодії з рейками залізничної колії. Отримані рейками коливання передаються на всі складові їхніх опор, тобто вібрація передається на шпали, які, в свою чергу, передають їх на елементи оздоблення тунелю та далі поступово передаються в навколишнє середовище.

Причиною утворення вібрацій є працююче електрообладнання вагонів метро, які також через колію передаються в навколишнє середовище.

На рівень вібрацій впливають різні фактори: швидкість рухомого складу, навантаження на вісь, конструкція залізничної колії, матеріали та технології оздоблення тунелів.

© Кульбовський І. І., Агарков О. В., Ящук В. І., 2014

Допустимі рівні вібрацій на коліях метрополітену регламентуються санітарними нормами [1], а отже існуючі конструкції колії та технології оздоблення тунелів мають забезпечувати зниження вібрації до допустимих норм [2,3].

Для оцінки рівня вібрацій можливе застосування методів як натурних, так і математичного моделювання. Метод математичного моделювання утворення вібрацій – це досить складна задача і не отримав значного використання. На даний час більш ефективним є оцінка вібрацій за допомогою натурних вимірювань.

З метою оцінки вібрацій в метрополітені при використанні сучасних конструкцій колії ДП «Інститут «КИЇВГЕО» були проведені акустичні вимірювання [4] вібраційного впливу поїздів метрополітену на конструкції тунелю на перегоні ст. «Васильківська» – ст. «Голосіївська» Куренівсько-Червоноармійської лінії Київського метрополітену.

Найефективнішим методом вимірювання вібрації є спектральний метод, який дозволяє розкласти хвилі, що виникають в різних спектрах. Принцип роботи приладу базується на перетворенні кінематичних параметрів вібрації в електричні, що вимірюються чи фіксуються ним.

При спектральному аналізі як результат вимірювань приймають середнє квадратичне значення контрольованого параметра вібрації в октавних або 1/3 октавних смугах (U_k), що визначається за формулою:

$$U_k = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{ik}^2}$$

де U_{ik}^2 – значення параметра вібрації в k -й октавній або 1/3 октавній смузі при i -му спостереженні;

n – число спостережень.

Як опорну величину для встановлення вібрацій обрано віброшвидкості горизонтальних та вертикальних коливань.

Логарифмічні рівні віброшвидкості L_v визначають за формулою:

$$L_v = 20 \lg V / V_0 \text{ (дБ)},$$

де V – абсолютне значення віброшвидкості, м/с

V_0 – опорне значення віброшвидкості, м/с

Для визначення рівня вібрацій використовувався портативний модульний аналізатор акустичних і вібраційних сигналів в реальному часі, віброперетворювач та портативний калібратор. Перед початком та після проведення вимірювань виконується калібрування вимірювального обладнання. Робота з вимірювання проводилася на конструкціях тунелю і залізничної колії (рис. 1, 2, 3).

Для оцінки рівня вібрацій використані дані вимірювань при проході 20 поїздів. Для кожної ділянки колії визначено вертикальні та горизонтальні рівні віброшвидкості в 1/3 октавних смугах частотами від 2 до 100 Гц.

Кінцевим результатом проведених досліджень розраховано середньоквадратичні значення віброшвидкості на лотку та оздобленні тунелю при русі поїздів метрополітену по віброзахисній колії на лежнях та блоках EBS.

Найбільші вібрації з'являються в місцях контакту рухомого складу з рейками залізничної колії.

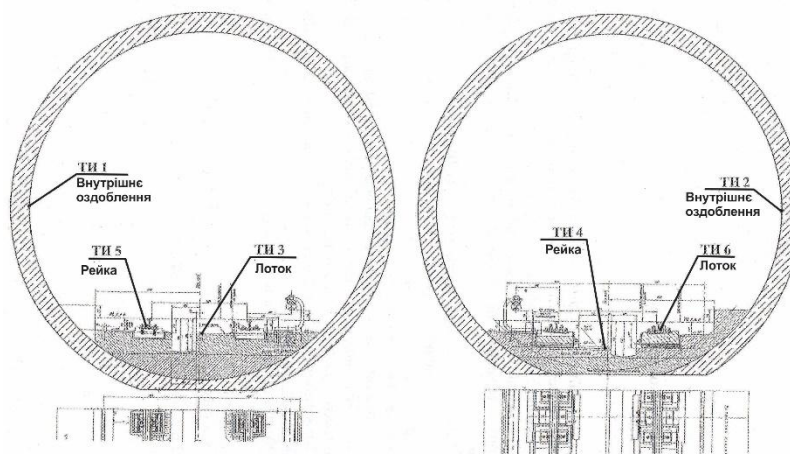


Рис. 1. Схема розташування точок вимірювань віброколивань на конструкціях тунелю і колії

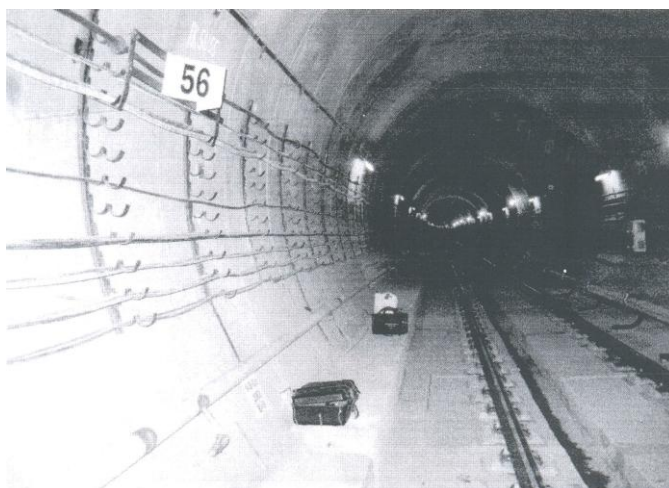


Рис. 2. Вимірювання рівнів вібрацій на внутрішньому оздобленні

В результаті дослідження встановлено, що значення коливань на рейках з лежневою конструкцією колії в діапазоні частот від 2 Гц до 25 Гц вище на 3 – 18 дБ, ніж для колії на блоках EBS, а в діапазоні частот 50 – 100 Гц коливання на блоках EBS вище на 1 – 12 дБ, ніж для колії на лежнях.

Аналіз отриманих в результаті натурних вимірювань рівнів віброшвидкості на лотках конструкцій, що досліджуються, довів їхню ефективність в діапазонах 24 – 61 дБ для колії на блоках EBS та 18 – 78 дБ для лежневої конструкції колії. При цьому в діапазоні до 25 Гц більш ефективно гасить коливання лежнева конструкція колії, в діапазоні 63 – 100 Гц краще гасить коливання колія на блоках EBS. В середньому діапазоні ефективність двох різних конструкцій колії еквівалентна.

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Відповідно виміряні показники вібрації на внутрішньому оздобленні тунелю показали, що на низьких частотах краще гасить коливання лежнева конструкція колії, в діапазоні 60-100 Гц – конструкція колії з блоками EBS, в середньому діапазоні ефективність конструкцій колії, що розглядаються, еквівалентна.

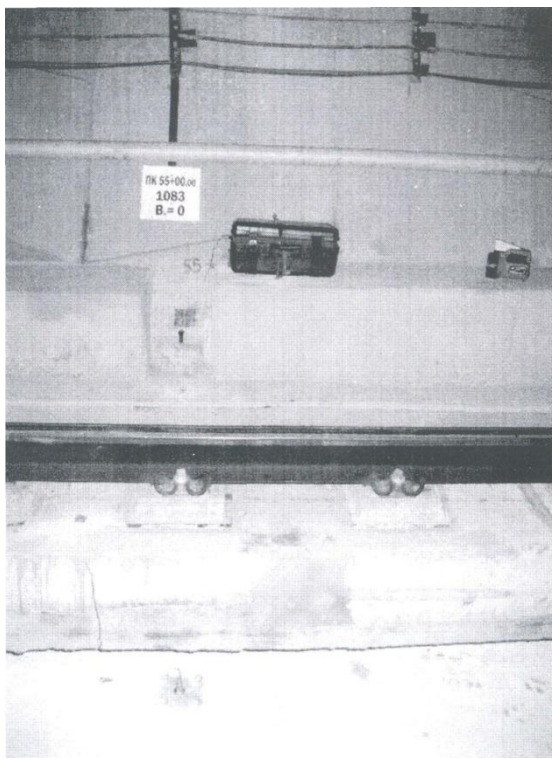


Рис. 3. Вимірювання рівнів вібрацій на лотку

Таким чином, результати проведених досліджень не дають можливості зробити однозначний висновок про те, яка з конструкцій колії краще гасить коливання, що виникають в результаті взаємодії рухомого складу з колією метрополітену. Обидві конструкції колії показали високу ефективність при гасінні вібрацій.

Використання сучасних методів акустичних натурних вимірювань вібраційного впливу, проведених на експериментальних ділянках колії дає можливість оцінити ефективність застосування представлених конструкцій колії за критерієм віброгасіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
2. ДСТУ EN ISO 2631-1:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги.
3. ДСТУ EN ISO 2631-2:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 2. Вібрація в будівлях.
4. Звіт про проведення акустичних вимірювань вібраційного впливу потягів метрополітену на конструкції тунелю на перегоні ст. «Васильківська» – ст. «Голосіївська» Куренівсько-Червоноармійської лінії Київського метрополітену. – Київ, 2011. (Ru)

*Kulbovskiy Ivan I., PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)*

*Agarkov Oleksandr V., PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)*

*Yaschuk Volodumir I.
(Engineer of Rail Flaw Detection Ukrainian Mechanization Center of
Road Works)*

METROLOGICAL SUPPORT OF ACOUSTIC MEASUREMENTS OF VIBRATING INFLUENCE OF THE SUBWAY TRAIN UPON THE TUNNEL CONSTRUCTION

When moving train in subway rolling stock constantly experiencing fluctuations resulting from its dynamic interaction with rails railway track. The resulting vibrations transmitted to the rails all the components of the towers, that vibration is transmitted to the sleepers, which, in turn, pass them on to finish the tunnel elements and then gradually transferred to the environment.

In order to assess vibration in underground structures using modern lines SE «Institute KYIVGEO» were conducted acoustic measurements [4] vibration subway train in tunnel construction on the stretch st. «Vasilkovskaya» – st. «Goloseevskaya» Kiev Metro.

To determine the level of vibration analyzer used portable modular acoustic and vibration signals in real time, vibrator inverters and portable calibrator.

The studies do not allow to make a clear conclusion about which of the designs better way dampens vibrations arising from the interaction of rolling stock subway track.

Keywords: Metrology, acoustic measurements, vibration, calibrator, rails, wheels, subway, dynamic interaction.

REFERENCES

1. SDS 3.3.6.039-99. Public health standards of the production of general and local vibration.(Ukr)
2. DSTU EN ISO 2631-1:2004. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.(Ukr)
3. DSTU EN ISO 2631-2:2004. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings.(Ukr)
4. Report of an acoustic vibration measurements subway trains in the tunnel construction on the stretch between st. «Vasilkovskaya» – st. «Goloseevskaya» KyivMetroBud Kiev Metro. – Kyiv, 2011. (Ru)

А. М. Єфименко

(аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту)

ДО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВІЗКА МОНОРЕЙКОВОГО ВАГОНА

Побудовано модель візка монорейкового вагона з напрямним колісним модулем на основі спрощеної одномасової системи. Отримано попередні раціональні значення коефіцієнта пружності напрямного модуля та оцінено можливі пружні деформації. Подано візуалізацію процесу переходу від прямолінійного руху до руху по колу.

Ключові слова: модель візка монорейкового вагона, напрямний колісний модуль, гіпотеза відведення, коефіцієнт пружності.

Построена модель тележки монорельсового вагона с направляющим колесным модулем на базе упрощенной одномассовой системы. Получены предварительные рациональные значения коэффициента упругости направляющего модуля и дана оценка возможных упругих деформаций. Представлена визуализация процесса перехода от прямолинейного движения к движению по кругу.

Ключевые слова: модель тележки монорельсового вагона, направляющий колесный модуль, гипотеза ввода, коэффициент упругости.

Постановка проблеми. Монорейковий транспорт є одним із різновиду рейкового транспорту. Відмінність його полягає в тому, що він рухається по одній рейці (монорейці), яка установлена на опорах або естакаді на деякій відстані над землею. Цей вид транспорту є найперспективнішим на даний час, тому що здійснює перевезення пасажирів без затримок в часи пік в порівнянні з міським транспортом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує декілька різновидів монорейкового транспорту, які поділяють по способу підвісу вагонів. Практичний інтерес викликає монорейковий потяг з колісним обпиранням [1, 2]. Його технологія використовується в системі «Alweg» (рис. 1), яка має гумові несучі колеса 1 та стабілізуючі колеса 3, котрі переміщуються по монорейці, що відповідає моделі взаємодії колеса з опорною поверхнею і це можна віднести до традиційної моделі відведення І. Рокара [3]. Направний колісний модуль виконує роль стабілізуючого елемента, як в поперечному напрямі (забезпечує малі відхилення траєкторії вагона від програмної траєкторії, що визначається профілем рейкового шляху), так і повздовжньому напрямі (запобігає можливому боковому перекиданню вагона).

Мета статті – побудувати модель візка монорейкового вагона з напрямним колісним модулем на основі спрощеної одномасової моделі. Отримати попередні

© Єфименко А. М., 2014

раціональні значення коефіцієнта пружності напрямного модуля та проаналізувати можливі пружні деформації при переході від прямолінійного руху до руху по колу.

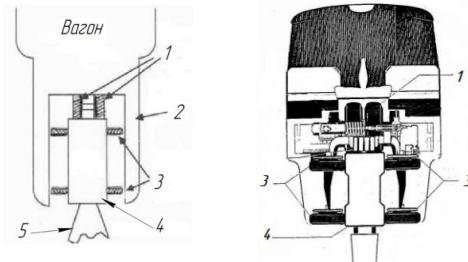


Рис. 1. Принципова схема Alweg:

- 1 – несучі колеса,
- 2 – бічні сторони вагона,
- 3 – стабілізуючі колеса,
- 4 – монорейка,
- 5 – підтримуюча колона

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час руху в кривих ділянках шляху, за рахунок пружної деформації напрямного модуля в поперечному напрямі, може відбуватися схід несучих коліс (вертикальних колісних опор) 1 (рис.1), цьому необхідно запобігти, по-друге, доцентрове прискорення необхідно обмежити на рівні $a_{y\max} = 4 \text{ м/с}^2$.

Оцінимо максимально допустиму кривизну шляхопроводу при швидкості руху 80 км/год – радіус кривизни не менше 120 м (із умови обмеження прискорення $a_{y\max} > V^2/R$). Далі розглянемо рух на перехідній кривій, що об'єднує прямолінійну ділянку та кругову ділянку з радіусом кривизни 120 м.

Для дослідження використовується одномасова модель візка вагона з напрямним колісним модулем [4, 5]. Розрахункову схему представлено на (рис. 2).

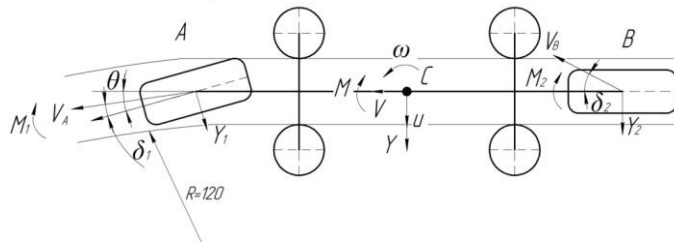


Рис. 2. Розрахункова велосипедна схема візка вагона з напрямним колісним модулем

Математичні рівняння руху одномасової моделі візка з напрямним колісним модулем, що надає курсову стабілізацію вздовж естакади, мають вигляд (1), де в порівнянні з відомими рівняннями «вільного» екіпажа [6, 7] наявні пружна сила Y та пружний момент M , які лінійно залежать від радіального зсуву центру мас візка щодо програмної траєкторії, різниці курсових кутів візка та програмної кривої відповідно.

$$\begin{cases} m(\ddot{u} + v\omega) = Y_1 \cos \theta + Y_2 + Y; \\ J\dot{\omega} = aY_1 - bY_2 - M - M_1 - M_2, \end{cases} \quad (1)$$

де m, J – маса та момент інерції візка;

a, b – відстані, відповідно, від передньої і задньої вісей до центра мас візка;

v, u – подовжня і поперечна проекції вектора швидкості центра мас візка;

$\ddot{u}$ – бічне прискорення візка;

Y_1, Y_2 – сили відведення;

M_1, M_2 – моменти відведення, які визначаються на основі гіпотези відведення;

$\omega, \dot{\omega}$ – кутова швидкість та кутове прискорення візка відносно його центральної вертикальної осі.

Відповідно до гіпотези відведення І. Рокара сила відведення, що діє при коченні колеса з відведенням [3], пропорційна куту відведення. Розподілені сили відведення й пружні сили в плямі контакту утворюють урівноважену систему сил, на підставі закону Гука.

Сила відведення завжди спрямована убік, протилежний поперечному проковзуванню; сила відведення зміщена відносно осі колеса в поздовжньому напрямку, це спонукає до появи стабілізуючого моменту (відведення), котрий прагне повернути колесо так, щоб поздовжня площа колеса співпадала з вектором швидкості його центру.

Сили відведення та моменти відведення визначаються на основі емпіричних залежностей, як функції кутів відведення [8, 9]. В роботі враховані нелінійні залежності сил та моментів відведення, які відображають реальні пружні характеристики пневматичних коліс та дають можливість дослідити механізми втрати стійкості системи при достатньо великих збуреннях фазових змінних.

При дослідженні використовуються залежності сили відведення (2) та моменту відведення (3):

$$Y_i = k_i \cdot \delta_i / \sqrt{1 + (k_i \delta_i / (\psi_i N_i))^2}; \quad (2)$$

$$M_i = A_i \cdot \delta_i / B_i \delta_i^4 + C_i \delta_i^2 + 1; \quad (3)$$

де k_i – коефіцієнт опору відведенню;

δ_i – кут відведення i -го несучого колеса;

ψ_i – коефіцієнт тертя колеса в поперечному напрямі;

N_i – навантаження на приведені колеса;

A_i, B_i, C_i – коефіцієнти, що визначаються емпірично.

Кути відведення на передніх та задніх несучих колесах:

$$\delta_1 = -\arctg \frac{u + a\omega}{v}; \quad \delta_2 = \arctg \frac{-u + b\omega}{v} \quad (4)$$

Для випадку кругової програмної траєкторії пружні сила Y та момент M , що породжуються напрямним колісним модулем, мають вигляд:

$$Y = C_y \left(\Pi^2 K_r / 2 - \left(1 / K_r - \sqrt{(y_c - 1 / K_r)^2 + x_c^2} \right) \right); \quad (5)$$

$$M = C_\psi (\psi - \varphi). \quad (6)$$

де K_r – кривизна кругової траєкторії;

Π – половина бази поперечного напрямного модуля;

x_c, y_c – координати центру мас візка вагона.

Далі наводяться результати чисельного моделювання руху по перехідній кривій в середовищі пакета чисельно-аналітичних розрахунків Maple. Мета якого була в теоретично обґрунтованому виборі певних конструктивних параметрів, наприклад, коефіцієнта пружності напрямного колісного модуля (останній варіювався, щоб досягти необхідних обмежень максимального нормального прискорення та пружних деформацій в поперечному напрямі).

Використано такі числові значення параметрів візка для чисельного моделювання: $m = 1317$ кг; $J = 3050$ кг м²; $a = 1.6$ м; $b = 1.6$ м; $k_1 = 23000$ Н; $k_2 = 23000$ Н; $C_y = 20000$ Н/м; $g = 9,8$ м/с²; $v = 22$ м/с; $R = 120$ м; $\Pi = 1,0$ м.

Для наведеного набору числових значень параметрів побудовано траєкторію центра мас візка вагона (рис. 3)

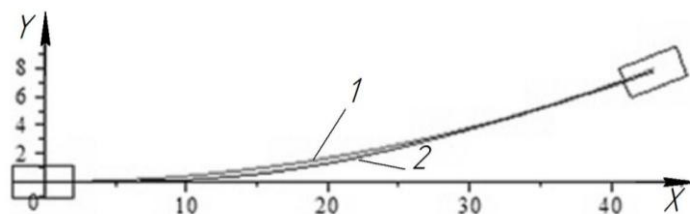


Рис. 3. Програмна крива (1) та траєкторія центра мас візка вагона (2)

Далі подано графіки залежності зміни в часі радіального відхилення центра мас від програмної траєкторії (рис. 4, а) та нормального прискорення центра мас a_y (рис. 4, б).

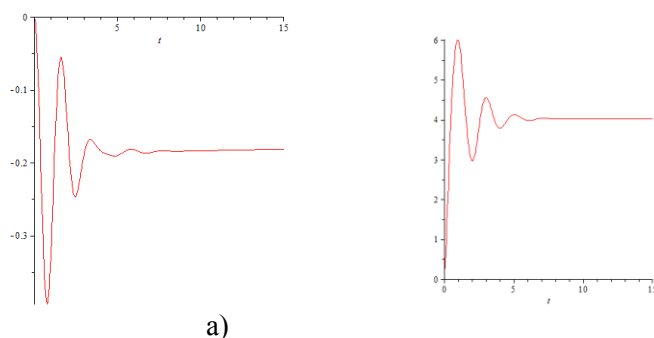


Рис. 4. Графіки радіального відхилення центра мас від програмної траєкторії (а) та нормального прискорення при переході з прямолінійної ділянки до кругової (б)

Висновки та пропозиції. При моделюванні динаміки візка монорейкового вагона було отримано попередні раціональні значення коефіцієнту пружності направляючого модулю та оцінено можливі пружні деформації. За допомогою пакета чисельно-аналітичних розрахунків Maple було виконано візуалізацію траєкторії центра мас візка вагона. Далі буде проведено розрахунок для повної моделі вагона.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ryan R. Kennedy [Electronic resource]: Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities. Available at: <http://www.monorails.org/webpix%202/ryanrkennedy.pdf>
2. www.STC-IN.com & www.skytraincorp.com [Electronic resource]: Monorail History and Technology of Successful Technology. Available at: http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf
3. Рокар И. Неустойчивость в механике / Ива Рокар. – М. : Издательство иностр. лит., 1959. – 288 с.
4. Лобас, Л. Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л. Г. Лобас, В. Г. Вербицкий. – К.: Наук. думка, 1990. – 232 с.
5. Gillespie Thomas D. Fundamentals of Vehicle Dynamics / Thomas D. Gillespie. – Society of Automotive Engineers, Inc, 1992. – 470 p.
6. Сахно В. П. Вплив стабілізуючого моменту шин на курсову стійкість руху автомобіля / В. П. Сахно, В. Г. Вербицкий, А. В. Костенко, Н. Л. Белевцова, А. М. Єфименко // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – Вип. 21. – Ч. 1. – С. 180 – 183.
7. Вербицкий В. Г. Вплив поздовжньої сили на передній осі легкового автомобіля на множини стаціонарних рухів / В. Г. Вербицкий, А. В. Костенко, А. М. Єфименко, Р. А. Кулієв, О. Г. Воловченко, М. М. Макійов // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2011. – №5 (159). – С. 275 – 280.

8. Fiala E. Seitenkrafte am rollenden Luftreifen / E. Fiala . VDI – Zeitschrift. – 1954. – №96. – P. 973–979.
9. Вербицкий В. Г. К определению характеристик силового взаимодействия упругого пневматика с опорной поверхностью при постоянном угле увода (Обобщение на случай продольных сил, действующих в пятне контакта) / В. Г. Вербицкий, В.А. Банников, А.Н. Ефименко, А.Э. Даниленко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 152/2014. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2014. – С. 56 – 59.

Alla M. Yefimenko

(Graduate Student of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

TO MODELLING OF DYNAMICS OF THE CART OF THE MONORAIL CAR

Dynamic qualities of the cart of the monorail car are analyzed. As a basis it was taken the one-mass bicycle scheme, nonlinear forces and the moments of withdrawal according to Yves Rocard's hypothesis are considered and elastic force and the moment which are generated by the directing wheel module. Rational value of coefficient of elasticity of the directing wheel module is defined, which in turn influences the size of the maximum normal acceleration and elastic deformations in the cross direction. The trajectory of the center of mass of the cart of the car is constructed and Dependence of size of a radial deviation of the center of mass of the car on a program trajectory is constructed.

Keywords: model of the cart of the monorail car, the directing wheel module, withdrawal hypothesis, elastic coefficient.

REFERENCES

1. Ryan R. Kennedy [Electronic resource]: Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities. Available at: <http://www.monorails.org/webpdx%202/ryanrkennedy.pdf>
2. www.STC-IN.com & www. skytraincorp.com [Electronic resource]: Monorail History and Technology of Successful Technology. Available at: http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf
3. Rocard I. Neustoiichivost' v mekhanike [Instability in mechanics]. –M.: Izdatel'stvo inostr. lit., 1959. – 288 p.
4. Lobas L. G. Kachestvennye i analiticheskie metody v dinamike kolesnykh mashin [Qualitative and analytical methods in dynamics of wheel cars] / L. G. Lobas, V. G. Verbitskii. – K. : Nauk. Dumka, 1990. – 232 s.
5. Gillespie Thomas D. Fundamentals of Vehicle Dynamics / Thomas D. Gillespie. – Society of Automotive Engineers, Inc, 1992. – 470 p.
6. Saxno V. P. Vplyv stabilizuyuchogo momentu shy`n na kursovu stijkist` ruxu avtomobilya [Influence of the stabilizing moment of tires on course stability of the movement of the car] / V. P. Saxno, V. G. Verbycz`kyj, A. V. Kostenko, N. L. Belevczova, A. M. Yefy`menko // Visnyk Nacional`nogo transportnogo universy`tetu. – 2010. – Vy`p. 21. – Ch. 1. – P. 180 – 183.
7. Verbycz`kyj V. G. Vplyv pozdovzhn`oyi sy`ly` na perednij osi legkovogo avtomobilya na mnozhy`nu stacionarny`x ruxiv [Influence of longitudinal force on a forward axis of the car on a set of stationary movements] / V. G. Verbycz`kyj, A. V. Kostenko, A. M. Yefy`menko, R. A. Kuliyeu, O. G. Volovnenko, M. M. Makijov // Visnyk`k` svidnoukrayins`kogo nacional`nogo universy`tetu imeni Volody`my`ra Dalya. – 2011. – #5 (159). – P. 275 – 280.
8. Fiala E. Seitenkrafte am rollenden Luftreifen / E. Fiala . VDI – Zeitschrift. – 1954. – №96. – P. 973–979.
9. Verbitskii V. G. K opredeleniyu kharakteristik silovogo vzaimodeistviya uprugogo pnevmatika s opornoj poverkhnost'yu pri postoyannom ugle uvoda (Obobshchenie na sluchai prodol'nykh sil, deistvuyushchikh v pyatne kontakta) [To definition of characteristics of power interaction elastic pneumatics with a basic surface at constant coal of withdrawal (Generalization on a case of the longitudinal forces operating in a contact spot)] / V. G. Verbitskii, V.A. Bannikov, A.N. Efimenko, A.E. Danilenko // Visnik SevNTU: zб. nauk. pr. Vip. 152/2014. Seriya: Mashinopriladobuduvannya ta transport. – Sevastopol', 2014. – P. 56 – 59.

А. М. Онищенко, к.т.н.

*(доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії
Національного транспортного університету, м. Київ)*

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ
ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА СТІЙКОСТІ
ДО НАКОПИЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ
АСФАЛЬТОБЕТОНУ У ВИГЛЯДІ КОЛІЇ**

У статті запропоновано експериментальний метод випробування інтегрального показника стійкості до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону у вигляді колії. Встановлені експериментальним шляхом залежності тиску від навантаження металевого, озумленого та пневмоколеса, а також запропонована аналітична залежність для розрахунку максимальної температури в асфальтобетонному покритті.

Ключові слова: залишкові деформації, колія, аналітичні залежності, асфальтобетонне покриття.

В статье предложен экспериментальный метод испытания интегрального показателя устойчивости к накоплению остаточных деформаций асфальтобетона в виде колеи. Установлены экспериментальным путем зависимости давления от нагрузки металлического, озумленного и пневмоколеса, а также предложена аналитическая зависимость для расчета максимальной температуры в асфальтобетонном покрытии.

Ключевые слова: остаточные деформации, колея, аналитические зависимости, асфальтобетонное покрытие.

Вступ. Останнім часом спостерігається тенденція до зростання інтенсивності руху та збільшення питомого навантаження на вісь автомобіля і високої температури, то актуальною стає проблема утворення колій в асфальтобетонних покриттях, які є критичними деформаціями [1 – 4].

У даному випадку є важливим забезпечення вимог до фізико-механічних характеристик окремих матеріалів, а також вимог до стійкості всієї конструкції в цілому. Навіть якщо кожен матеріал має високу якість, це не означає що в конструкції він буде працювати найкращим чином, тому доцільним є випробування і перевірка властивостей всієї композиції, яка складається із шарів асфальтобетону. В зв'язку з цим в багатьох країнах світу проводиться велика кількість різноманітних досліджень, направлених на досягнення таких цілей як підвищення опору асфальтобетону до колієутворення, підвищення точності прогнозування утворення колій, управління властивостями асфальтобетону. Для досягнення цих і ряду інших цілей необхідно застосовувати методи оцінки

© Онищенко А. М., 2014

зсувостійкості асфальтобетону, які дозволяють максимально точно кількісно відобразити чутливість асфальтобетону до накопичення залишкових деформацій.

Аналіз останніх досліджень. Класичні методи випробування асфальтобетонів на зсувостійкість (на стиск при 50 °С, метод Маршалла, кручення стержня, зсув циклічним навантаженням, продавлюванням через отвір, трьохосового стиску та повзучість при тиску штампом), не дають можливість спрогнозувати здатність матеріалу до релаксації і опору накопиченню пластичних деформацій. Тому останнім часом все частіше стали застосовувати методи, які передбачають випробування плити або циліндричної форми колісним навантаженням, що моделює реальну роботу асфальтобетону в покритті. До них належать: французький метод (French Pavement Rutting Tester – FPFT), американський метод прискореного навантаження Accelerated Loading Facility (ALF), метод навантаження колесом штату Джорджія Georgia Loaded – Wheel Tester – GLWT, Гамбурзький метод (HWTG) [1 – 4]. Але навіть за допомогою цих методів ми не можемо повною мірою дослідити і спрогнозувати накопичення пластичних деформацій покриття, оскільки в них передбачається доведення до руйнування зразка, що не відповідає дійсним умовам.

Основна частина. У зв'язку з вище наведеними аргументами, пропонується методика оцінки зсувостійкості асфальтобетонів різної гранулометрії. Цей підхід базується на Гамбурзькому методі з певними вдосконаленнями і полягає у випробуванні на колієутворення зразка при різних підвищених температурах в результаті циклічного прикладання різного навантаження через металеве, огумлене і пневматичне колесо. Тобто при випробуванні визначається глибина колії в зразку при різних температурах і навантаженнях як основна складова параметра опору накопиченню деформації під дією повторювальних навантажень.

За розробленою методикою випробування кількість циклів має бути такою, щоб зразок не вступав в фазу руйнування, тому що в реальних умовах роботи асфальтобетонне покриття працює на накопичення пластичних деформацій. Саме таким умовам відповідає 4000 проходів жорсткого колеса.

Зразки виготовляються на секторному пресі [5, 6] (рис. 1), що відтворює умови ущільнення асфальтобетону середнім та важким котками.

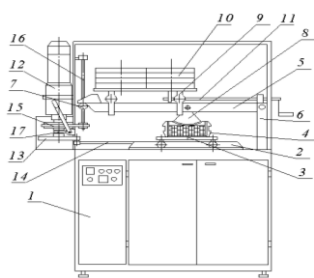


Рис. 1. Схема та загальний вид секторного пресу для виготовлення зразків асфальтобетону

Секторний прес складається із шафи 1, у якій по напрямним 2 рухається візок 3 з встановленою на ньому металевою формою 4, що дозволяє створювати

зразки з розмірами в плані 230x160 і товщиною до 150 мм. Візок приводиться в рух двигуном-редуктором з маховиком за допомогою тяги 14. Ущільнення суміші в металевій формі здійснюється сектором 8, шарнірно прикріпленим у його центрі до балки 5. Протилежний кінець балки шарнірно з'єднаний з кронштейном 6, укріпленим у шафі. Підйом і опускання важеля з сектором здійснюється за допомогою різьбової гайки 7, яка переміщується гвинтовою передачею 16. На балці встановлений рухомий вантаж рухомий 10, вага якого розрахована за умови забезпечення необхідного питомого тиску на контакті між сектором 8 і поверхнею суміші при її ущільненні, що відповідає дорожніх котків. Частота проходів сектора регульована і становить 10, 30 циклів за хвилину при амплітуді, переміщення візка із сумішшю, що дорівнює довжині зразка.

Технологія приготування зразків полягає у такому: для виготовлення зразків-плит використовується асфальтобетонна суміш, що виготовляється в лабораторних умовах, або може бути взята з проб сумішей, які відібрані на змішувальних установках, або отримана розігрівом та перемішуванням у лабораторній мішалці сумішей з зернів чи вирубок, відібраних на об'єктах будівництва.

Форму для виготовлення зразків-плит нагрівають у сушильній шафі при температурі нагріву асфальтобетонної суміші, згідно з ДСТУ Б В.2.7-119, ДСТУ Б В.2.7-135, СОУ 45.2-00018112-057. У нагріту форму засипають необхідну кількість суміші, вага якої визначається залежно від конструктивних особливостей приладу та є постійною для даної конструкції приладу. Температуру суміші, що укладається у форму, визначають за ДСТУ Б В.2.7-119, ДСТУ Б В.2.7-135, СОУ 45.2-00018112-057 залежно від марки в'язучого, використаного для її виготовлення. Суміш рівномірно розподіляють у формі штикуванням нагрітим ножом або іншим пристроєм, знімаючи її надлишок. Форму із засипаною і розрівняною по площі сумішшю встановлюють на візок у робочу камеру секторного пресу.

На поверхню суміші встановлюють укочуючий сектор, на який прикладають необхідне навантаження близьке до навантаження, що діє на асфальтобетон при ущільненні його котком. При цьому лінійний тиск на поверхню укочуваної плити може змінюватися від 28 кН/см до 84 кН/см.

Укочування здійснюється у дві стадії. На першій укочення виконується 20 проходками сектору з лінійним тиском, що дорівнює 28 кН/см. Після цього навантаження збільшується таким чином, щоб лінійний тиск зростав до 84 кН/см і виконується ще 30 проходів секторного котка. Кількість проходів та лінійний тиск можуть змінюватися відповідно до виробничих умов ущільнення – кількістю та лінійним тиском на ущільнюючий шар котків, що використовуються у кожному конкретному випадку. Ущільнення проводять до одержання коефіцієнта ущільнення не менше 0,98.

По закінченні ущільнення форма охолоджується до температури нижче за +60°C, розбирається і виймається зразок, який підлягає випробуванню на колійність не раніше, ніж через добу після приготування, його розташовують на рухомій платформі секторного пресу, на якому додатково встановлюють спеціальний навантажувальний пристрій у вигляді жорсткого, вузького колеса та пристрій для вимірювання глибини колії.

Випробування зразків на стійкість до накопичення залишкових деформацій виконують на секторному пресі [5, 6], переобладнаному таким чином, що замість сектора 8 (рис.1) встановлюють металеве, огумлене чи пневматичне

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

колесо та встановлюється пристрій для вимірювання глибини колії (рис. 2). Технічні дані методу проведення випробування на колієутворення наведені в табл. 1.

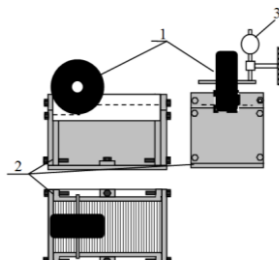


Рис. 2. Схема пристрою для проведення випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій
 1 – металеве, огумлене, пневматичне колесо; 2 – металева форма;
 3 – датчик деформацій

Таблиця 1. Технічні дані методу проведення випробування на колієутворення

Показники (умови)		Технічні дані
1. Металеве колесо		Відповідно ГОСТ 1050
	Розмір колеса: діаметр, мм ширина, мм	203,5 ± 1 47,0 ± 0,02
Огумлене колесо		Відповідно ГОСТ 7338
	Розмір колеса: діаметр, мм ширина, мм	205,0 ± 1 47,0 ± 0,02
Пневматичне колесо		З тиском в колесі 0,3 МПа
	Розмір колеса: діаметр, мм ширина, мм	220,0 ± 1 41,0 ± 0,02
2. Розмір асфальтобетонного зразка: длина, мм ширина, мм		228 ± 2 158 ± 2
3. Товщина зразка, мм		Від 40 до 100
4. Навантаження на колесо Q, Н		400 ± 10; 600 ± 10; 800 ± 10; 1000 ± 10; 1200 ± 10; 1400 ± 10
5. Кількість проходів N _п навантаження за хвилину		10±2; 30±2;
6. Кількість проходів навантаження після, яких знімається залишкова деформація		0; 250; 500; 1000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 20000
7. Температура випробування T _{max} , °C		40 °C (±1 °C); 50 °C (±1 °C); 60 °C (±1 °C)

Тиск від колеса на асфальтобетонний зразок повинен бути постійним і визначається за залежностями:

– для металевого колеса

$$p(Q)_{\text{мет.}} = 0,0103 \cdot Q + 0,2421 ; \quad (1)$$

– для огумленого колеса

$$p(Q)_{\text{огум.}} = 0,008 \cdot Q + 0,2104 ; \quad (2)$$

– для пневматичного колеса

$$p(Q)_{\text{пневм.}} = 0,0037 \cdot Q + 0,0275 . \quad (3)$$

Відповідно до [7, 8] рівень питомого тиску на зразок повинен відповідати конкретній категорії автомобільних доріг [7], на якій буде влаштоване асфальтобетонне покриття даного матеріалу, що досліджується: для доріг I, II категорії – 0,8 МПа; для доріг III, IV категорії – 0,6 МПа.

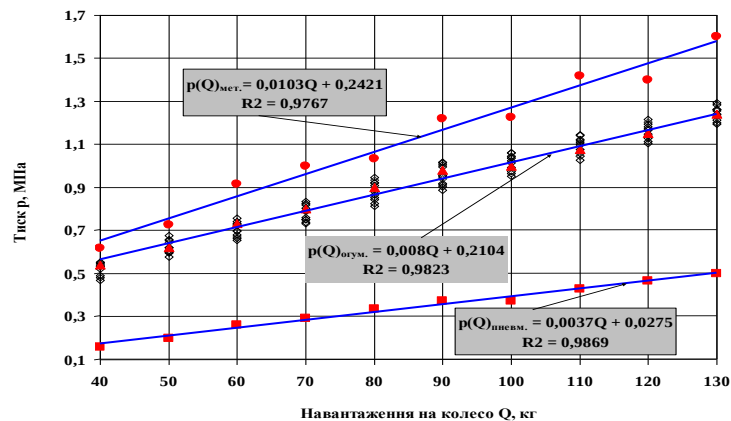


Рис. 3. Номограма залежності тиску від навантаження металевого, огумленого та пневмоколеса

Дані тиски 0,8 МПа, 0,6 МПа будуть еквівалентні навантаженню на колесо розрахункового автомобіля групи $A_1 - Q_{\text{розр}} = 57,5 \text{ кН}$, та $A_2 - Q_{\text{розр}} = 50, \text{ кН}$.

Час дії навантаження на асфальтобетонний зразок залежно від кількості проходів N_n навантаження в хвилину (табл. 1) з достатньою точністю можна визначити за степеневою залежністю:

$$t_n(N_n) = A \cdot N_n^{-B} \quad (4)$$

де $t_n(N_n)$ – час дії навантаження на зразок, с;

A, B – параметри встановлюються експериментально за допомогою тензометрії або теоретично ($A=4,0222, B=0,9252$);

N_n – кількість проходів навантаження в хвилину, що наведено в табл. 1.

Відповідно до табл. 1 запропоновані максимальні T_{max}^n температури, при яких виникає небезпека накопичення залишкових деформацій у вигляді колії. За цими температурами порівнюються експлуатаційні характеристики асфальтобетону,

що характеризують його стійкість до залишкових деформацій при високих температурах $T_{\max}^{a/b}$. Тому пропонується також встановлювати розрахунковим шляхом температури покриття для вибору марки асфальтобетону.

Максимальну температуру $T_{\max}^n$ покриття даного регіону встановлюють за аналітичною залежністю:

$$T_{\max}^n = (T_{\max}^{nos} - a_2 \varphi^2 + a_3 \varphi + a_4)(a_5) - a_6, \quad (5)$$

де φ – географічна широта об'єкта будівництва в градусах;

$T_{\max}^{nos}$ – середня висока температура повітря за сім днів, °C;

a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 – емпіричні коефіцієнти, що встановлюються на основі метеорологічних даних за останні 15 років.

Перед початком випробувань форму разом з асфальтобетонним зразком поміщають у сушильну шафу з відповідною для випробування температурою повітря всередині (згідно з табл. 1 або аналітичного виразу (5)) і витримують у ній протягом 3 год. Температуру повітря у шафі секторного пресу також встановлюють відповідною для випробування згідно з табл. 1 або (5). Після нагрівання у сушильній шафі, зразок разом з формою встановлюють на візок 3 секторного пресу (рис 1).

На поверхню зразка за допомогою гвинтової передачі балки 7 встановлюється металеве, огумлене чи пневматичне колесо (рис. 2) і знімається з датчика деформації 3 початковий відлік на поверхні зразка. За допомогою гвинтової передачі навантаження 11 встановлюється необхідне для випробування навантаження 12 (табл. 1, рис. 3) та відразу вмикається двигун-редуктор, що приводить в зворотно-поступальний рух візок із закріпленою на ньому формою з асфальтобетонним зразком. Таким чином здійснюється циклічне навантаження зразка асфальтобетону даним колесом при заданих навантаженні та температурі. Після виконання встановленої кількості проходів N секторний прес зупиняють і вздовж траєкторії навантаження асфальтобетонного зразка, вимірюється глибина колії w та встановлюється її середнє значення $\hat{w}$. На основі таких вимірювань будується графік функції $\hat{w}=f(N)$.

На основі отриманих результатів визначають інтегральний показник стійкості до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону як суму площ під графічними залежностями $w_{i,j}=f(N)$

$$S_w = \sum_k^{i=1} \sum_n^{j=1} \int_0^{N_k} w_{i,j}(N) dN \leq [S_w^n], \quad (6)$$

де $N_K=4000$ циклів;

i – порядковий номер рівня навантаження;

j – порядковий номер рівня температури випробування;

$[S_w^n] = w_n \cdot N_K$ – нормативне значення;

w_n – граничне значення колії рівне 5 мм.

При виборі асфальтобетону за показником стійкості до накопичення залишкових деформацій, слід віддавати перевагу тому складу, що відповідає умові (6).

Висновок. Таким чином результати, що отримані під час випробування, дадуть можливість більш достовірно вибирати при проектуванні склад асфальтобетону різної гранулометрії підвищеної стійкості до накопичення залишкових деформацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жданюк В. К., Даценко В. М., Зразжевец Е. М., Чугуенко С. А., Воловик А. А. Устойчивость асфальтобетонных различных гранулометрических типов к накоплению пластических деформаций в виде колеи // Материалы юбилейной научно-технической конференции./ 80 лет Белорусской дорожной науке. – Минск, 2008. – С. 105–111.
2. Мозговой В. В. Экспериментальная методика определения колеестойкости асфальтобетонных покрытий на мостах / Мозговой В. В., Онищенко А. Н. // Мир дорог. – Ярославль. – 2011. – С. 57–59.
3. Кирюхин Г. Н. Методы проектирования и испытания асфальтобетона. // Обзорная информация Союздорнии 6. – 2005.
4. Онищенко А. Н. Причины образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов и способы повышения колеестойкости/ Онищенко А.Н. // Дорожная техника. – 2013. – С. 134–145.
5. СОУ 45. 02-00018112- 020:2009 Асфальтобетон дорожний. Метод визначення на стійкість до накопичення залишкових деформацій. – Київ (Укравтодор), 2009. – С.10.
6. Патент на корисну модель № 40965 «Прес для виготовлення контролю зразків асфальтобетону», 27.04.2009 р. (Онищенко А.М., Мозговий В.В., Радовський Б.С.)
7. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
8. СОУ 45.2-00018112-039:2008 Будівельні матеріали. Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань/ Київ (Укравтодор), 2009. – С.12.

Onishchenko Arthur M., PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Road Construction Materials and Chemistry Chair
of the National Transport University)

EXPERIMENTAL METHOD OF TESTING INTEGRAL INDICATOR OF RESISTANCE TO RESIDUAL STRAIN BITUMINOUS ACCUMULATION IN THE FORM OF RUTTING

In the article the experimental test method integral index of resistance to the accumulation of residual deformation of asphalt in a rut. Established experimentally depending on the load pressure of the metal, and coated with rubber stump wheels and proposed analytical dependence for calculating the maximum temperature in the asphalt pavement.

Keywords: residual strain, rutting, analytical dependences, asphalt coating

REFERENCES

1. Zhdanyuk V. K., Datsenko V. M., Zrazhevets E. M., Chuhuenko S. A., Matters A. A. Stability asphalt different granulometry typical for accumulation plastic deformations in rutting // Materials anniversary scientific-technical conference. / 80 years Beloruskiy road science. Minsk 2008. – P. 105–111.
2. Mozgovij V. V. Experimental method for determining stability rutting asphalt coatings on bridges / Mozgovij V.V., Onishchenko A.N. // Peace roads. – Yaroslavl – 2011 – P. 57–59.
3. Kiryukhin G. N. Design and testing methods asphalt concrete. Overview Soyuzdornyy 6.2005.
4. Onishchenko A. N. Reasons for colet education asphalt pavement and bridges road methods increase stability rutting / A.N. Onishchenko // Road Technology. – 2013. – P. 134–145.
5. COU 45. 02-00018112- 020: 2009 Bituminous Road. The method of determining the stability of the accumulation of residual strain / Kyiv. (Ukravtodor). 2009. – p.10.
6. The patent for utility model number 40 965 «Press for manufacturing control samples asphalt», 27.04.2009 p., (Onishchenko A. M., Mozgovij V. V. Radovskyy B. S.)
7. VBN V.2.3-218-186-2004 Transport facilities. Road clothing flexible type.
8. COU 45.2-00018112-039: 2008 Building materials. Ways to assess the stability of asphalt concrete coatings to rutting. Test methods / Kyiv (Ukravtodor). 2009. – P.12.

В. П. Велінець*(асистент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство»,
Державний економіко-технологічний університет транспорту)***АНАЛІЗ РОБІТ ПО ДОСЛІДЖЕННЮ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО
ВИГИНУ І КРУЧЕННЯ РЕЙКОВОЇ НИТКИ**

Розрахунок залізничної колії на міцність є одним із складних розділів загальної проблеми дослідження взаємодії колії і рухомого складу. У статті аналізується робота рейкової нитки на горизонтальний вигин і кручення. Вигин рейки у горизонтальній площині і кручення рейки є найскладнішими видами деформації рейкової нитки, розрахунки яких мають велику складність. У більшості існуючих досліджень ці види деформацій розглядалися окремо від вертикального вигину рейки. У деяких із них горизонтальний вигин і кручення представлені як деформації спільного походження, в інших – окремого. Вивчення горизонтального вигину і кручення рейкової нитки необхідні для вирішення великої кількості завдань, пов'язаних із забезпеченням безпеки руху поїздів в кривих ділянках колії; для розробки методів розрахунку рейок на міцність, що в свою чергу дозволить встановлювати допустимі швидкості руху в кривих; для створення загальної теорії проектування залізничної колії.

Ключові слова: залізнична колія, рейка, бокові сили, горизонтальний вигин рейки, кручення рейки, момент інерції, жорсткість рейки.

Расчет железнодорожного пути на прочность является одним из сложных разделов общей проблемы исследования взаимодействия пути и подвижного состава. В статье анализируется работа рельсовой нити на горизонтальный изгиб и кручение. Изгиб рельса в горизонтальной плоскости и кручение рельсы являются наиболее сложными видами деформации рельсовой нити, расчеты которых имеют большую сложность. В большинстве существующих исследований эти виды деформаций рассматривались отдельно от вертикального изгиба рельса. В некоторых из них горизонтальный изгиб и кручение представлены как деформации общего происхождения, в других – частному. Изучение горизонтального изгиба и кручение рельсовой нити необходимые для решения большого количества задач, связанных с обеспечением безопасности движения поездов в кривых участках пути; для разработки методов расчета рельсов на прочность, что в свою очередь позволит устанавливать допустимые скорости движения в кривых; для создания общей теории проектирования железнодорожного пути.

Ключевые слова: железнодорожный путь, рельс, боковые силы, горизонтальный изгиб рельса, кручение рельса, момент инерции, жесткость рельса.

© Велінець В. П., 2014

Постановка проблеми. Аналіз наукових праць, які виконані вченими в області досліджень роботи рейкової нитки при дії вертикальної і горизонтальної сили, свідчить про те, що в основному дослідження були направлені на вивчення роботи колії під дією лише вертикальних сил. Мало авторів до 50-х років XX ст. розглядали проблему впливу на колію поперечних горизонтальних сил, які в подальшому будуть називатися боковими силами, через надзвичайну складність і відсутність експериментальних даних. Відповідно не розглядався і вигин рейки у горизонтальній площині, що в подальшому називатиметься горизонтальним вигином, і кручення рейки. Ці види деформації є найскладнішими видами деформації рейкової нитки, розрахунки яких дуже складні.

Аналіз досліджень і публікацій. Найвідоміший в спеціальній літературі метод розрахунку рейки при спільному розгляді горизонтального вигину і кручення належить С. П. Тимошенко [1]. Його метод розрахунку викладено у працях [4] і [5]. Практичне застосування цього методу виконано С. А. Стьопкіним [2] і Д. Г. Головановим [3].

Дослідження і розв'язання, що засновані на окремому розгляді горизонтального вигину і кручення рейки, виконані Н. Л. Корольовим і М. І. Кулагіним [6], В. І. Ангелейко [7], К. П. Корольовим [8] і Н. К. Снітко [9].

У свій час Д. Г. Голованов опублікував кілька важливих статей з теорії горизонтального вигину та кручення рейки. В них на багатьох прикладах пояснюється вплив модулів пружності на величину і характер зміни по довжині рейки крутного моменту, прогину рейки, кута закручування й ін.

Також варто відзначити роботу М. В. Алексєєва [10], в якій була вперше отримана емпірична залежність між боковими силами і напруженнями в кромках підшви рейки.

Мета статті – проаналізувати дослідження горизонтального вигину і кручення рейкової нитки у роботах вітчизняних науковців. За основу для аналізу були взяті теорії розрахунків проф. С. П. Тимошенко [1] і С. А. Стьопкіна [2].

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Дослідження проф. С. П. Тимошенко з проблеми роботи рейкової нитки при горизонтальному вигині і крученні

Якщо розглядати рейкову нитку як балку, що лежить на суцільній пружній основі при дії на неї бокової сили H (рис. 1), то диференційні рівняння вигину і кручення можна подати системою (1):

$$\left. \begin{aligned} EI_y \frac{d^4 z}{dx^4} + U_z (z - h_2 \varphi) &= 0 \\ -C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + Dh_Q^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - U_z (z - h_2 \varphi) h_2 + U_\varphi \varphi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де E – модуль пружності рейкової сталі;

I_y – момент інерції рейки відносно вертикальної осі;

U_z – модуль пружності рейкової основи стосовно горизонтального вигину рейки;

U_φ – модуль пружності рейкової основи відносно кручення рейки;

Z – поперечні переміщення центру вигину рейки;

φ – кут закручування рейки;

C – жорсткість рейки під час її кручення, що визначається за формулою:

$$C = \frac{\omega^4 G}{4\pi^2 I_p} \quad (2)$$

де ω – площа поперечного перерізу рейки;

G – модуль пружності при зсуві;

I_p – полярний момент інерції;

x – вісь абсцис, суміщена з центром вигину (кручення) рейкової нитки;

D – приведена жорсткість головки і підшви на вигин, що визначається за

формулою:

$$D = E \frac{I_1 \cdot I_2}{I_1 + I_2} \quad (2,$$

а)

де I_1 і I_2 – моменти інерції відповідно головки і підшви відносно вертикальної осі;

h_2 , h_Q – плечі сил відносно центру кручення (див. рис.).

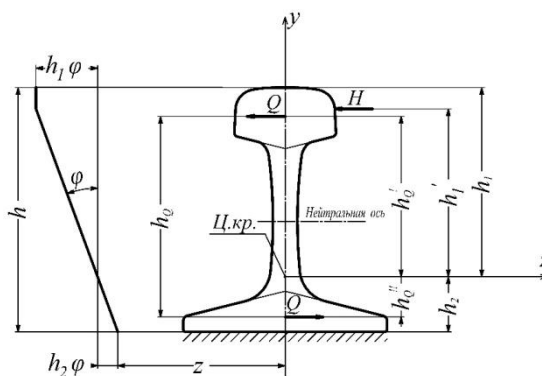


Рис. Схема дії бокової сили на рейку при розгляді рейки як балки на суцільній пружній основі

Бокова сила H викликає поперечне переміщення Z (боковий прогин) рейки, а момент кручення Hh_1' закручування рейки на кут φ .

Складаючи рівняння (1), С. П. Тимошенко виходив з припущення, що повний момент кручення можна розкласти на два, перший з яких викликає лише кручення рейки, другий – вигин головки і підшви рейки.

Поперечна сила Q , що виникає при вигині головки і підшви рейки, дорівнює:

$$Q = EI_1 \frac{d^3 z^{(z)}}{dx^3} = EI_2 \frac{d^3 z^{(n)}}{dx^3}$$

В цих формулах $z^{(z)}$ і $z^{(n)}$ – переміщення головки і підшви рейки визначаються за такими формулами:

$$z^{(z)} = h_Q' \varphi; \quad z^{(n)} = h_Q'' \varphi$$

Припускаючи, що момент інерції шийки рейки можна не враховувати, величини h'_Q і h''_Q можуть бути визначені з виразів:

$$h'_Q = h_Q \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad (3)$$

$$h''_Q = h_Q \frac{I_2}{I_1 + I_2} \quad (4)$$

Послідовним диференціюванням і підстановкою систему (1) можна розділити на два рівняння, у кожному з яких залишиться лише по одній невідомій величині.

Перше рівняння – для визначення горизонтального вигину і має вигляд:

$$EI_y D h_Q^2 \frac{d^8 z}{dx^8} - CEI_y \frac{d^6 z}{dx^6} + (EI_y U_\varphi + EI_y U_z h_2^2 + D h_Q^2 U_z) \frac{d^4 z}{dx^4} - U_z C \frac{d^2 z}{dx^2} + U_z U_\varphi z = 0 \quad (5)$$

Друге рівняння – визначає кут закручування, має вигляд:

$$EI_y D h_Q^2 \frac{d^8 \varphi}{dx^8} - CEI_y \frac{d^6 \varphi}{dx^6} + (EI_y U_\varphi + EI_y U_z h_2^2 + D h_Q^2 U_z) \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - U_z C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + U_z U_\varphi \varphi = 0$$

(6)

Порівнюючи дані, отримані розрахунковим і дослідним шляхом, С. П. Тимошенко прийшов до висновку, що при дослідженні горизонтального вигину рейкової нитки цілком можна розглядати її як балку, що лежить на суцільній пружній основі.

До недоліків розв'язку С. П. Тимошенко належить громіздкість алгебраїчних викладок (знаходження коренів рівняння 8-ї степені) і відсутність врахування сил тертя між рейкою і підрейковою основою.

2. Горизонтальний вигин і кручення рейки в дослідженнях С. А. Стьопкіна

С. А. Стьопкін [2], використовуючи виведені проф. С. П. Тимошенко рівняння, визначив величину напружень, що виникають в рейках при горизонтальному вигині і крученні за умови різного прикладання навантаження до рейки.

Кручення рейки у випадку завантаження лише парою кручення також буде стисненим, тобто буде супроводжуватись вигином головки і підшви рейки. Тому момент кручення може бути поданий як:

$$M_\kappa = M_1 + M_2$$

де M_1 – частина моменту M_κ , що витрачається на чисте кручення і визначається за формулою:

$$\dot{I}_1 = -\tilde{N} \frac{d\varphi}{dx} \quad (7)$$

M_2 – частина моменту M_κ , що витрачається на вигин головки і підшви, що дорівнює моменту пари сил перерізу Q , тобто:

$$M_2 = Q h_Q$$

Оскільки сила перерізу в головці

$$Q^{(z)} = EI_1 \frac{d^3 z}{dx^3} = EI_1 h'_Q \frac{d^3 \varphi}{dx^3}$$

дорівнює силі перерізу в підшві

$$Q^{(n)} = EI_1 \frac{d^3 z}{dx^3} = EI_2 h_Q' \frac{d^3 \varphi}{dx^3},$$

то, використовуючи вирази (2), (3) і (4), отримано

$$M_2 = Dh_Q^2 \frac{d^3 \varphi}{dx^3},$$

а повний момент кручення

$$M_\kappa = -C \frac{d\varphi}{dx} + Dh_Q^2 \frac{d^3 \varphi}{dx^3} \quad (8)$$

Для довгої рейки розв'язок рівняння (8) відносно кута зсуву $\Theta = \frac{d\varphi}{dx}$ матиме такий вигляд:

$$\Theta = \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M_\kappa}{C} (1 - e^{\gamma x}), \quad (9)$$

де

$$\gamma = \sqrt{\frac{C}{Dh_Q^2}} \quad (10)$$

Рівняння (9) дозволяє знайти величину $\frac{d\varphi}{dx}$, а отже і величини M_1 і M_2 .

Кручення рейки, з'єднаної з основою і завантаженої позацентрово прикладеною вертикальною силою, дає крутний момент:

$$M_\kappa = Pe,$$

де e – ексцентриситет прикладання вертикальної сили;

P – вертикальна сила.

Реактивний момент основи пропорційний куту закручування, тобто

$$m = U_\varphi \varphi \quad (10, a)$$

Диференціюючи вираз (8) і враховуючи (10a), отримано таке рівняння:

$$Dh_Q^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + U_\varphi \varphi = 0 \quad (11)$$

Кручення і горизонтальний вигин рейки, з'єднаної з основою і навантаженої боковою силою, досліджувались для рейок типу II, при цьому були прийняті значення модулів пружності $U_z = 1100 \text{ кг/см}^2$ і $U_\varphi = 277000 \text{ кг/рад}$.

Розрахунки показали, що нормальні напруження, що виникають при горизонтальному вигині і крученні, досягають найбільшого значення в місці прикладання сили і по мірі віддалення від нього швидко зменшуються.

Дотичні напруження в місці прикладання сили рівні нулю і досягають найбільшого значення в тих перерізах, де близькі до нуля нормальні напруження. Отже при розрахунку максимальних напружень можна не враховувати дотичні напруження.

Додаткові напруження вигину в рейці створюються головним чином моментом бокової сили. Момент позацентрово прикладеної вертикальної сили малий, оскільки мале плече сили (ексцентриситет e), і напруження, що викликані цим моментом, складають 15 – 20% від повних напружень.

Дослідження, проведене С. А. Стьопкіним, вперше дозволило оцінити вплив бокових сил на міцність колії і відповісти на багато практичних запитань. Однак

те, що всі розрахунки, які були виконані ним за даними досліджень, проведених у США, що не відповідають умовам роботи наших залізниць, знижує цінність цієї праці.

Висновки. При визначенні горизонтального вигину і кручення рейки в останні роки прийнято розглядати рейкову нитку за двома розрахунковими схемами: за першою схемою – як балку, що лежить на суцільній пружній основі, за другою – як балку, що лежить на окремих пружних опорах.

У дослідженнях, проведених за першою схемою, не було дослідних даних про розрахункові характеристики U_z та U_φ (K_1 і K_2), отриманих для наших залізниць.

За другою схемою дослідні дані про розрахункові характеристики A і B були отримані, але не мали настільки великий діапазон коливань, що прийняти їх як розрахункові характеристики було неможливо. Дані дослідів авторів [2, 3, 6, 7, 8, 9, 10] дозволили отримати достатньо повний матеріал про величини розрахункових коефіцієнтів U_z та U_φ , для того, щоб можна було приступати до розробки теорії і практичних прийомів розрахунку рейки на дію поперечних горизонтальних сил.

Складність математичного апарату, використовуваного в обох розрахункових схемах, залежить в основному від способу розгляду деформацій рейкової нитки. Так, наприклад, спільний розгляд горизонтального вигину і кручення в обох схемах призводить до диференційного рівняння восьмого порядку. При окремому розгляді задача значно спрощується, але водночас погіршується точність в розв'язках, а саме – знижується.

Проф. О. П. Єршков у працях [11, 12] виконав теоретичні розробки для визначення горизонтального вигину і кручення рейки, взявши за основу теорію розрахунків проф. С.П. Тимошенко [1].

Під час розв'язку цієї задачі проф. О.П. Єршковым рейкова нитка розглядалась як балка, що лежить на суцільній пружній основі, що здатна створювати опір переміщенню балки не тільки у вертикальному напрямку, а і у поперечному і поздовжньому горизонтальних напрямках.

Хід думок проф. О. П. Єршкова пояснюється тим, що розрахункові коефіцієнти U_z та U_φ є більш загальними та відображають більшу кількість факторів, що характеризують горизонтальний вигин і кручення рейкової нитки, ніж розрахункові характеристики A і B .

Проф. О.П. Єршковым було запропоновано метод так званого напівроздільного розв'язання задачі горизонтального вигину і кручення рейкової нитки і розроблено практичну інструкцію для його використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тимошенко С. П. Метод исследований статических и динамических напряжений в рельсе. В кн. Статистические и динамические проблемы теории упругости. – К.: «Наукова думка», 1975, с. 209 – 220. Перевод с англ. «Method of analysis of Statical and Dinamical stresses in rail. Proccesings of the 2nd International congress for applied Mechanics», Zurich, 1926.
2. Степкин С. А. О местных напряжениях в рельсах при кручении. //Сборник трудов ЛИИЖТ. – вып 127. – М.: Трансжелдориздат, 1937.
3. Голованов Д. Г. Работа рельсов в кривых. : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Библиотека ЛИИЖТ, 1941.

4. Шахунянц Г. М. Устройство железнодорожного пути: учебник для вузов / Г. М. Шахунянц. – 2-е изд., перераб. – М.: Трансжелдориздат, 1944. – 484 с.
5. Годыцкий-Цвирко А. М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог. ОГИЗ. – М.: Гострансиздат, 1931.
6. Королев Н. Л., Кулагин М. И. Горизонтальный изгиб и кручение рельса под действием горизонтальной поперечной силы. // Рукопись. Архив путеиспытательной лаборатории ЦНИИ, 1938.
7. Ангелейко В. И. О предпосылках для разработки наставления по расчету верхнего строения пути. // «Техника железных дорог». – 1949. – №6.
8. Королев К. П. Вписывание паровозов в кривые участки пути. // Труды ЦНИИ. – вып. 37. – М.: Трансжелдориздат, 1950.
9. Снитко Н. К. Расчет рельса на горизонтальные силы с учетом скручивания методом начальных параметров. // Информационный бюллетень Военно-транспортной академии. – 1950. – №25.
10. Алексеев М. В. Опыт исследования воздействий на путь паровозов типа Дека-под.: диссертация. // Архив ЦНИИ, 1947.
11. Ериков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити. // Труды ВНИИЖТ. – вып. 192. – 1960. – С. 59 – 101.
12. Ериков О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых. // Труды ВНИИЖТ. – вып. 192. – 1960. – С. 5 – 59.

Vitalii P. Velinets

**(Assistant of Railroad Track and Track Sector Chair, State University
for Transport Economy and Technologies)**

ANALYSIS OF WORKS IN RESEARCH HORIZONTAL BEND AND TORSION RAIL THREAD

Calculation of railway track on the strength of one of the sections of the general problem of complex study of the interaction track and rolling stock. The article analyzes the work of rail thread on horizontal bending and torsion. Bending rails horizontally and torsion rack is the most difficult types of rail thread deformation calculations which are of great complexity. Most existing research these types of deformations considered separately from the vertical bending rails. Some of these horizontal bending and torsional deformations are as common origin, others – individual. Study horizontal bending and torsion rail thread needed to solve a large number of tasks related to the safety of trains in curved sections track; to develop methods for calculating the strength of rails, which in turn will set the permissible speed of the curves; a general theory for the design of railway track.

Keywords: railway, rail, side force, horizontal bending rails, twisting rails, the moment of inertia, stiffness of the rail.

REFERENCES

1. Timoshenko S. P. Metod issledovaniy statisticheskikh i dinamicheskikh napryazhenij v relse [Method research of statistical and dynamic stresses in the rail]. V kn. Statisticheskie i dinamicheskie problemy teorii uprugosti. – Kiev: «Naukova dumka», 1975. – P. 209 – 220. Perevod s angl. «Method of analysis of Statical and Dinamical stresses in rail. Procesings of the 2nd International congress for applied Mechanics», Zurich, 1926.
2. Stepkin S. A. O mestnykh napryazheniyakh v relsax pri kruchenii [On the local stresses in rails torsional]. // Sbornik trudov LIIZHT. – vyp 127. – M.: Transzheldorizdat, 1937.

3. *Golovanov D. G.* Rabota relsov v krivyykh [Work rails in curves]: Dissertaciya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. // Biblioteka LIIZHT, 1941.
4. *Shakhunyants G. M.* Ustroystvo zheleznodorozhnogo puti [The device of railway track]: uchebnyk dlya vuzov / G. M. Shakhunyanc. – 2-e izd, pererab. – M.: Transzheldorizdat, 1944. – 484 p.
5. *Godyckiy-Tsvirko A. M.* Vzaimodejstvie puti i podvizhnogo sostava zheleznykh dorog [Interaction of track and rolling stock of railways]. OGIZ. – M.: Gostransizdat, 1931.
6. *Korolev N. L., Kulagin M. I.* Gorizontálny izgib i kruchenie relsa pod deystviem gorizontálnoy poperechnoy sily [Horizontal bending and twisting of the rail under the influence of the horizontal shear force]. // Rukopis. Arkhiv puteispytatelnoy laboratorii CNII, 1938.
7. *Angeleyko V. I.* O predposylkakh dlya razrabotki nastavleniya po raschetu verkhnego stroeniya puti [About the prerequisites for the development of guidance on the calculation of the permanent way]. // Tekhnika zheleznykh dorog». – 1949. – №6.
8. *Korolev K. P.* Vpisyvanie parovozov v krivye uchastki puti [Writing locomotives in curves track sections]. // Trudy CNII. – vyp. 37. – M.: Transzheldorizdat, 1950.
9. *Snitko N. K.* Raschet relsa na gorizontálne sily s uchetom skruchivaniya metodom nachalnykh parametrov [Calculation of horizontal forces on the rail with the twist method of initial parameters]. // Informatsionnyy byulleten Voenno-transportnoy akademii. – 1950. – №25.
10. *Alekseev M. V.* Opyt issledovaniya vozdeystviy na put parovozov tipa Dekapod [Research experience influences the way of steam locomotives type Decapod]: Dissertaciya. // Arkhiv CNII, 1947.
11. *Ershkov O. P.* Xarakteristiki prostranstvennoy uprugosti relsovoj niti [Spatial characteristics of elastic rail thread]. // Trudy VNIIZHT. – vyp. 192. – 1960 – P. 59 – 101.
12. *Ershkov O. P.* Raschet relsa na deystvie bokovykh sil v krivyykh [Calculation of the rail to the effect of lateral forces in curves]. // Trudy VNIIZHT. – vyp. 192. – 1960. – P. 5 – 59.

УДК 621.314.2

С. О. Гулак,

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

Е. К. Єрмоленко

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

О. І. Тицишин

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

МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК В НАПРУЗІ ЖИВЛЕННЯ ПРИВОДА ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВОЗІВ СЕРІЇ ВЛ80^{Т,К}

У статті розглянуті та досліджені причини виникнення вищих гармонійних складових струму двигунів допоміжного привода електровозів серії ВЛ80^{Т,К}, вплив вищих гармонік струму на коефіцієнт потужності допоміжного привода. Обґрунтовані заходи щодо підвищення коефіцієнта потужності системи допоміжних машин та доведено доцільність застосування гібридного компенсатора реактивної потужності для підвищення коефіцієнта потужності допоміжного електропривода електровозів серії ВЛ80^{Т,К}.

Ключові слова: модель допоміжного електропривода, LC – фільтр, адаптивна система автоматичного керування, вищі гармонійні складові струму, коефіцієнт потужності, коефіцієнт спотворення.

В статье рассмотрены и исследованы причины возникновения высших гармонических составляющих тока двигателей вспомогательного привода электровозов серии ВЛ80^{Т,К}, влияние высших гармоник тока на коэффициент мощности вспомогательного привода. Обоснованы мероприятия по повышению коэффициента мощности системы вспомогательных машин и доказана целесообразность применения гибридного компенсатора реактивной мощности для повышения коэффициента мощности вспомогательного электропривода электровозов серии ВЛ80^{Т,К}.

Ключевые слова: модель вспомогательного электропривода, LC – фильтр, адаптивная система автоматического управления, высшие гармонические составляющие тока, коэффициент мощности, коэффициент искажения.

© Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., Тицишин О. І., 2014

Постановка проблеми. Згідно з вимогами національної комісії, що здійснює Державне регулювання в області енергетики коефіцієнт потужності споживачів повинен бути не меншим за 0,9 ($\cos \varphi \geq 0.9$). Аналіз спожитої на тягу поїздів активної та реактивної потужностей на Південно-Західній залізниці за 2012 р. свідчить, що сумарний коефіцієнт потужності електрорухомого складу $\cos \varphi = 0.773$. Доцільно розробити заходи щодо підвищення коефіцієнта потужності кожної одиниці електрорухомого складу, що експлуатується на Укрзалізниці.

Розробка силових транзисторів, що здатні працювати при великих значеннях напруги і струму, та впровадження їх на рухомому складі відкриває широкі можливості для створення і реалізації нових конструкцій перетворювачів, а також підвищення енергетичних та експлуатаційних показників електровозів.

Застосування комбінованого компенсатора реактивної потужності дозволить за допомогою LC – фільтра усунути зсув фаз між напругою живлення та струмом, що споживається допоміжними машинами, та за допомогою адаптивної системи керування, яка вводиться в систему допоміжного привода, корегувати форму напруги живлення привода допоміжних машин, компенсуючи вищі гармонійні складові струму привода допоміжних машин.

Моделювання є важливим етапом проектування електропривода допоміжних машин. Побудова реальної моделі з параметрами, які максимально наближені до предмета моделювання, виявляє низку непередбачуваних проблем, котрі можуть з'явитися в процесі експлуатації електропривода допоміжних машин електровоза.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено аналіз факторів, які впливають на зниження коефіцієнта потужності тягового електропривода та розглянуто шляхи підвищення коефіцієнта потужності тягового електропривода на електровозах серії ВЛ80^{Т,К} [1, 2].

Для підвищення коефіцієнта потужності електропривода допоміжних машин на електровозах серії ВЛ80^{Т,К} треба обґрунтувати і розробити структурну схему активної частини гібридного компенсатора.

Мета статті. Розглянути фактори, що впливають на зниження коефіцієнта потужності системи допоміжних машин електровозів серії ВЛ80^{Т,К}. Деталі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів. Обґрунтувати заходи щодо підвищення коефіцієнта потужності допоміжного електропривода електровозів серії ВЛ80^{Т,К}.

Виклад основного матеріалу дослідження. На електровозах серії ВЛ80 як допоміжні машини використовуються трьохфазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які живляться від машинного перетворювача – розчіплювача фаз. Оскільки фазорозчіплювач живиться від обмотки власних потреб, яка магнітнопов'язана з тяговою обмоткою трансформатора, то навантажувальна складова струму тягових обмоток, яка проходить по первинній обмотці, створює вищі гармонійні струми основного магнітного потоку в магнітопроводі, що в свою чергу наводить вищі гармонійні напруги в обмотці власних потреб, які в свою чергу створюють вищі гармонійні струми, що звичайно ж знижує коефіцієнт потужності. В моменти комутації випрямляч «влаштовує» коротке замикання вторинної обмотки трансформатора, що призводить до появи ділянок пониженої напруги в кривій напруги обмотки власних потреб. При роботі асинхронної машини у режимі двигуна, коли напруга обмотки власних потреб миттєво змінюється до нуля, є фактично режимом динамічного гальмування. Такий

режим роботи двигуна звичайно погіршує його технічний стан, оскільки виникають пульсації моменту на валу. Тому є доцільним для усунення зсуву фаз між напругою живлення і струмом, що споживається допоміжними машинами, використовувати компенсатори реактивної потужності (LC – компенсатори) і за допомогою адаптивних систем керування, які вводяться в систему допоміжного привода, корегувати форму напруги живлення привода допоміжних машин, компенсуючи вищі гармонійні складові струму приводу допоміжних машин.

Структура живлення системи допоміжних машин має такий вигляд (рис.1),

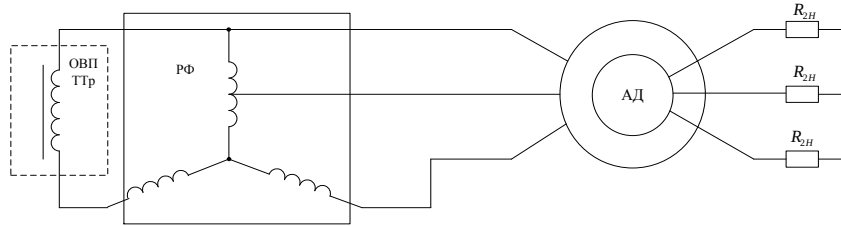


Рис. 1. Схема живлення АД в системі допоміжних машин

де ОВП ТТр – обмотка власних потреб тягового трансформатора; РФ – розчіплювач фаз; АД – асинхронний двигун (мотор – компресора, мотор – вентилятора та мотор – насоса); R_{2H} – фазний опір навантаження.

Для аналізу факторів, що впливають на значення коефіцієнта потужності, слід скористатись еквівалентною Т – подібною схемою заміщення асинхронного двигуна (рис. 2).

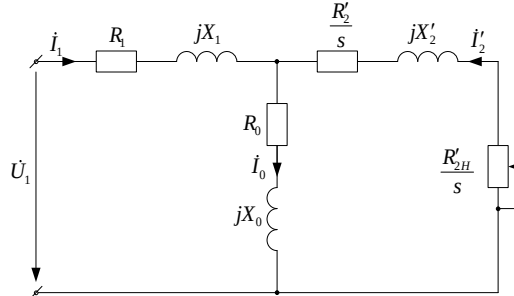


Рис. 2. Еквівалентна Т – подібна схема заміщення

На рис. 2 $\dot{U}_1$ – фазна напруга ротора; $\dot{I}_1$ – фазний струм ланцюга ротора; $\dot{I}_0$ – фазний струм контура намагнічування; $\dot{I}_2$ – фазний струм ланцюга ротора, приведений до обмотки статора; R_1 – активний фазний опір обмотки статора; X_1 – індуктивний фазний опір обмотки статора; R_0 – активний фазний опір контура намагнічування; X_0 – індуктивний фазний опір контура намагнічування; R_2' – активний фазний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора; X_2' – індуктивний фазний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора; R_{2H}' – активний фазний опір навантаження, приведений до обмотки статора;

$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ – ковзання; ω_0 – кутова швидкість поля двигуна; ω – кутова швид-

кість двигуна.

Як видно з рис. 2, фазні опори ланцюгів ротора і статора та контура намагнічування мають активно-індуктивний характер. Це означає, що між фазними напругами і струмами в цих ланцюгах буде існувати фазовий зсув, який впливає на величину коефіцієнта потужності привода допоміжних машин. Крім того, такі явища в асинхронних двигунах як поверхневий ефект, викликаний полями розсіювання і насичення магнітопровода призводять до виникнення вищих гармонік фазних струмів, що також призводить до зменшення коефіцієнта потужності. Шляхи підвищення коефіцієнта потужності в системі допоміжного електропривода такі самі як і в тяговому: зсув фаз між фазними напругами і струмами буде компенсуватись за допомогою блоку конденсаторів, вищі гармоніки – за допомогою адаптивної системи керування формою кривою напруги на вторинній обмотці власних потреб тягового трансформатора.

Для побудови структурної схеми асинхронного двигуна складається система рівнянь:

$$\begin{aligned} p\dot{\psi}_1 &= \dot{U}_1 - \frac{1}{\sigma \cdot T_1} \cdot (\dot{\psi}_1 - K_2 \cdot \dot{\psi}_2) - j\omega_{0EP} \cdot \dot{\psi}_1; \\ p\dot{\psi}_2 &= -\frac{1}{\sigma \cdot T_2} \cdot (\dot{\psi}_2 - K_1 \cdot \dot{\psi}_1) - j\omega_s \cdot \dot{\psi}_2; \\ \dot{I}_1 &= \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot (\dot{\psi}_1 - K_2 \cdot \dot{\psi}_2); \\ \dot{I}_2 &= \frac{1}{\sigma \cdot L_2} \cdot (\dot{\psi}_2 - K_1 \cdot \dot{\psi}_1); \\ M_o &= \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot \frac{K_1}{\sigma \cdot L_2} \cdot \text{Im}[\dot{\psi}_1 \cdot \tilde{\psi}_2] \end{aligned} \quad) \quad (1)$$

де $T_1 = \frac{L_1}{R_1}$ – постійна часу обмотки статора; R_1 – активний опір обмотки статора; L_1 – індуктивність обмотки статора; $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$ – постійна часу обмотки ротора; R_2 – активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора; L_2 – індуктивність обмотки ротора, приведена до обмотки статора; J – момент інерції двигуна; M_c – момент навантаження; $K_1 = \frac{L_m}{L_1}$; $K_2 = \frac{L_m}{L_2}$; L_m – індуктивність розсіювання; $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}$ – коефіцієнт розсіювання машини; $p_n \cdot \omega$ – кутова швидкість ротора; ω_p – кутова швидкість роторної ЕРС; p_n – число пар полюсів; ω_{0EP} – частота статорної напруги; M_o – момент двигуна; $p = \frac{d}{dt}$ – похідна.

На основі виразів (1) будується структурна схема асинхронного двигуна (рис. 3).

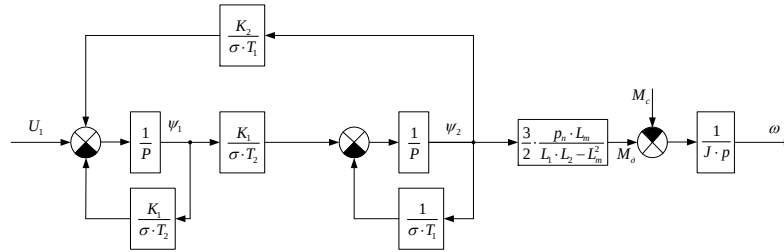


Рис. 3. Структурна схема асинхронного двигуна для аналізу привода з розімкненою системою, в якій при зміні частоти змінюється тільки модуль напруги

Виконавши перетворення, можна передатну функцію розімкненої структурної схеми асинхронного двигуна (2):

$$W_{роз}(p) = W_4(p) \cdot \frac{1}{J \cdot p} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{p_n \cdot L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2} =$$

$$= \frac{\sigma \cdot T_1 \cdot K_1 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{p_n \cdot L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2}}{J \cdot p \cdot [(\sigma \cdot T_2 \cdot p + K_1) \cdot (\sigma \cdot T_1 \cdot p + 1) - K_1 \cdot K_2]} = \frac{K_{роз}}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p} \quad (2)$$

$$\text{де } K_{роз} = \frac{1}{J} \cdot \sigma \cdot T_1 \cdot K_1 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{p_n \cdot L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2}; \quad a_3 = \sigma^2 \cdot T_1 \cdot T_2; \quad a_2 = \sigma \cdot (T_2 + K_1 \cdot T_1);$$

$$a_1 = K_1 \cdot (1 - K_2).$$

Якщо повернутись до рис. 1, то передатна функція розімкненої системи – розчіплювач фаз – асинхронний двигун – буде визначатись добутком передатних функцій цих елементів. Передатна функція асинхронного двигуна визначається виразом (2). Передатна функція розчіплювача фаз визначається з таких міркувань. Розчіплювач фаз виконує роль перетворювача однофазної системи живлення в трифазну. Причому, він працює в установленому режимі. Тобто, інерційність перетворення відсутня. Вхідною напругою служить фазна напруга однофазної системи живлення з амплітудою $U_{\text{вх}} = 380, \text{В}$. Обмотки споживача (в даному випадку це асинхронний двигун) з'єднані зіркою. Тобто, вхідна фазна напруга розчіплювача фаз є для асинхронного двигуна лінійною, а вихідна напруга розчіплювача фаз є фазною напругою асинхронного двигуна ($U_{\text{вих}} = 220, \text{В}$). Тобто, коефіцієнт передачі фазорозчіплювача буде рівним:

$$K_{\text{рф}}(p) = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{220}{380} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Тоді передатна характеристика розімкненої системи «розчіплювач фаз – асинхронний двигун»:

$$W'_{роз}(p) = W_{\text{рф}}(p) \cdot W_{роз}(p) = \frac{K'_{роз}}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p} \quad (4)$$

$$\text{де } K'_{роз} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{J} \cdot \sigma \cdot T_1 \cdot K_1 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{p_n \cdot L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2}.$$

Адаптивна система, що проектується, має вигляд (рис. 4).

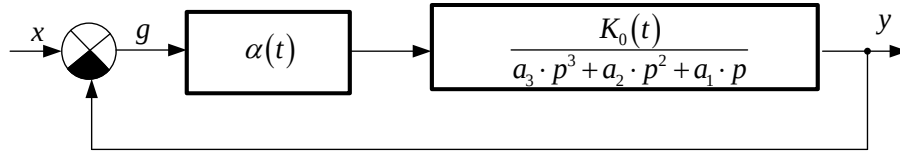


Рис. 4. Спрощена структурна схема приводу допоміжних машин, де коефіцієнт передачі об'єкта $K_0(t)$ змінюється в часі

В даній схемі (рис. 4) коефіцієнт передачі об'єкта $K_0(t)$ (асинхронного двигуна) змінюється в часі ($K_0(t) = K_0 + \Delta K_0(t)$). Для цієї схеми треба синтезувати блок адаптації (БА) і побудувати адаптивну систему з еталонною моделлю, в якій процес адаптації здійснювався б методом піднастроювання коефіцієнта передачі регулятора (розчіплювача фаз):

$$\alpha(t) = \alpha + \Delta\alpha(t) \quad (5)$$

Передаточні функції розімкненої системи в оптимальному режимі настроювання $w_1(p)$ і зміненому режимі $w_2(p)$ описуються виразами:

$$w_1(p) = \frac{K_0 \cdot \alpha}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p} \quad (6)$$

$$w_2(p) = \frac{K_0 \cdot \alpha + c(t)}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p} \quad (7)$$

де $c(t) = \alpha \cdot \Delta K_0 + \Delta\alpha \cdot K_0 + \Delta\alpha \cdot \Delta K_0$.

Діапазоном $\Delta\alpha \cdot \Delta K_0$ можна знехтувати через його мінімальність.

За еталонну модель приймають ланку відповідну передатній функції розімкненої системи в номінальному режимі настроювання за первинним критерієм оптимізації:

$$W_M(p) = \frac{K_M}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p} \quad (8)$$

де $K_M = K_0 \cdot \alpha$.

Диференційні рівняння моделі та розімкненої системи (7) та (8) можна записати як:

$$a_3 \cdot \ddot{y}_M + a_2 \cdot \dot{y}_M + a_1 \cdot y_M = K_M \cdot g \quad (9)$$

$$a_3 \cdot \ddot{y} + a_2 \cdot \dot{y} + a_1 \cdot y = (K_0 \cdot \alpha + c) \cdot g \quad (10)$$

За критерій адаптації приймається похибка неузгодження вихідних величин моделі та системи $\varepsilon = y_M - y$, для чого віднімемо рівняння (10) від рівняння (9):

$$a_3 \cdot \ddot{\varepsilon} + a_2 \cdot \dot{\varepsilon} + a_1 \cdot \varepsilon = c \cdot g$$

або

$$\begin{cases} \varepsilon = \varepsilon_1; \\ \dot{\varepsilon}_1 = \varepsilon_2; \\ \dot{\varepsilon}_2 = \varepsilon_3; \\ \dot{\varepsilon}_3 = -a'_1 \cdot \varepsilon_2 - a'_2 \cdot \varepsilon_3 - c' \cdot g \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{де } a'_1 = \frac{a_1}{a_3}; \quad a'_2 = \frac{a_2}{a_3}; \quad c' = \frac{c}{a_3}$$

Для забезпечення стійкості процесу адаптації алгоритм зміни коефіцієнта настроювання $\Delta\alpha(t)$ визначається за методом функції Ляпунова. Вибирається як функцію Ляпунова додатно визначену функцію:

$$V = \beta_1 \cdot \varepsilon_1^2 + \beta_2 \cdot \varepsilon_2^2 + \beta_3 \cdot \varepsilon_3^2 + \beta_4 \cdot c^2 \quad (13)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – додатні числа.

Знаходиться її похідна:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= 2 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \dot{\varepsilon}_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dot{\varepsilon}_2 + 2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dot{\varepsilon}_3 + 2 \cdot \beta_4 \cdot c \cdot \dot{c} = \\ &= 2 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + 2 \cdot \beta_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 + 2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_3 \cdot (-a'_1 \cdot \varepsilon_2 - a'_2 \cdot \varepsilon_3 - c' \cdot g) + \\ &+ 2 \cdot \beta_4 \cdot c \cdot \dot{c} = 2 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + 2 \cdot \beta_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 - \\ &- 2 \cdot \beta_3 \cdot a'_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 - 2 \cdot \beta_4 \cdot a'_2 \cdot \varepsilon_3^2 - 2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_3 \cdot c' \cdot g + 2 \cdot \beta_4 \cdot c \cdot \dot{c} = \\ &= 2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_2 + 2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot (\beta_2 - \beta_3 \cdot a'_1) - 2 \cdot \beta_4 \cdot a'_2 \cdot \varepsilon_3^2 + \\ &+ 2 \cdot c \cdot (\beta_4 \cdot \dot{c} - \beta_3 \cdot g \cdot \varepsilon_3) \end{aligned} \quad (14)$$

Процес адаптації буде асимптотично стійким, якщо функція (14) буде від'ємно визначеною. Ця вимога досягається при виконанні таких умов:

$$\begin{cases} \beta_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_1 = 0; \\ \beta_2 - \beta_3 \cdot a'_1 = 0; \\ \beta_4 \cdot \dot{c} - \beta_3 \cdot g \cdot \varepsilon_3 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Поклавши $\beta_4 = 1$ розраховуються значення коефіцієнтів β_i :

$$\begin{cases} \beta_2 = \beta_3 \cdot a'_1; \\ \beta_3 = \frac{\dot{c}}{g \cdot \varepsilon_3} \end{cases} \quad (16)$$

З третього рівняння (15) легко отримати алгоритм самонастроювання коефіцієнта $\alpha(t)$.

Нехай зміна коефіцієнта передачі об'єкта $\Delta k = \text{const}$ є некерованим збуренням, тобто $\Delta \dot{c} = k \cdot \Delta \dot{\alpha}$, тоді алгоритм адаптації матиме вигляд:

$$k \cdot \Delta \dot{\alpha} = \beta_3 \cdot g \cdot \varepsilon_3 \quad (17)$$

або

$$\Delta \dot{\alpha} = \frac{\beta_3}{k} \cdot \int g(\tau) \cdot \varepsilon_3(\tau) \cdot d\tau \quad (18)$$

Структурна схема отриманої адаптивної системи наведена на рис. 5.

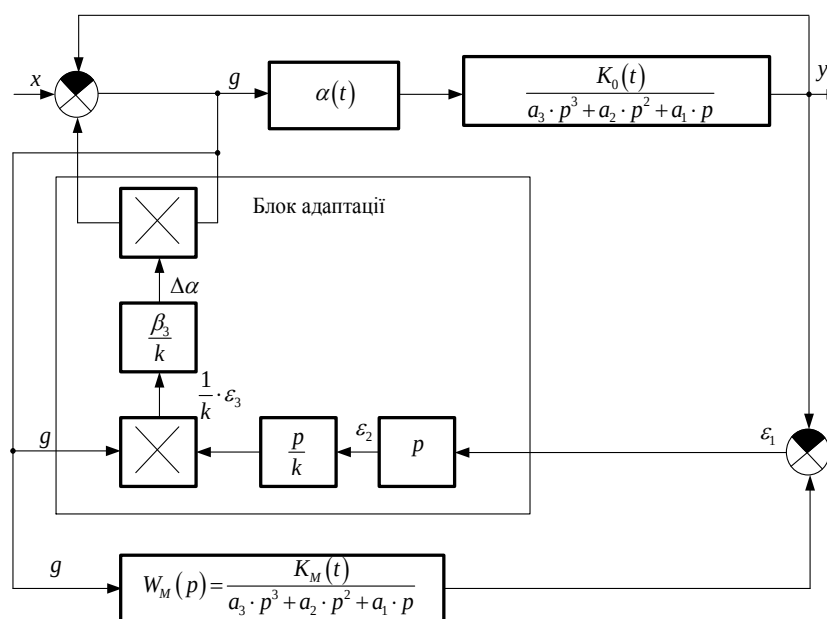


Рис. 5. Структурна схема отриманої адаптивної системи

Висновки та пропозиції

1. Розглянуто вплив вищих гармонійних складових струму на зниження коефіцієнта потужності системи допоміжних машин електровозів серії ВЛ80^{Т, К}.
2. Обґрунтовані заходи щодо підвищення коефіцієнта потужності допоміжного привода.
3. Запропоновано алгоритм роботи та структурна схема активної частини гібридного компенсатора потужності в системі допоміжного привода електровозів серії ВЛ80^{Т, К}. При застосуванні гібридного компенсатора реактивної потужності в системі допоміжного привода електровоза очікується збільшення коефіцієнта потужності допоміжного електропривода за рахунок компенсації пасивною частиною компенсатора зсуву фаз між напругою живлення та струмом, що споживається двигунами допоміжних машин та зменшення вищих гармонійних складових споживаного струму активною частиною компенсатора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гулак С. Обґрунтування застосування активних методів компенсації реактивної енергії на електровозах змінного струму серії ВЛ80^{к.т.с}. //Збірник тез науково-практичної конференції «Розвиток науки і техніки на залізничному транспорті». – К.: ДЕТУТ, 2014. – С. 39 – 40.
2. Гулак С. А., Слепухин А. Ю., Черных Ю. М., Ермоленко Э. К. Метод уменьшения высших гармоник в напряжении питания тягового привода электровозов переменного тока с коллекторными двигателями // «Вестник БелГУТ: Наука и транспорт». Научно-практический журнал №1 (28), 2014 г. – г. Гомель. – С. 11 – 12.
3. М. Г. Чиликин и др. Основы автоматизированного электропривода.: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
4. Тютюнник А. Г. Оптимальні і адаптивні системи автоматичного керування.: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 1998. – 512 с.

Sergey O. Goolak

(Senior Lecturer Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Edward K. Yermolenko

(Master Student of State University for Transport Economy and Technologies)

Oleg I. Tischishin

(Student of State University for Transport Economy and Technologies)

METHODS OF REDUCING HARMONIC VOLTAGE ELECTRIC LOCOMOTIVE AUXILIARY MACHINERY DRIVE SERIES VL80^{T, K}

The paper analyzed and studied the causes of higher harmonic components of current engine auxiliary electric drive series VL80^{T, K}, the influence of higher harmonic current on the power factor of the auxiliary drive. Reasonable steps to improve the power factor of the system auxiliary machinery and proved the feasibility of hybrid reactive power compensator to improve the power factor of the auxiliary electric locomotives series VL80^{T, K}.

Keywords: Model auxiliary electric – filter, adaptive automatic control system, the higher harmonic components of current, power factor, distortion factor.

REFERENCES

1. Goolak S. Obgruntuvannya zastosuvannya aktyvnyh metodiv kompensatsiyi reaktyvnoyi energii na elektrovozah zminnogo strumu seriyi VL80^{k, t, s}. //Zbirnyk tez naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Rozvytok nauky i tehniki na zaliznychnomu transporti». – K.: DETUT. – P. 39 – 40.
2. Goolak S. A., Slyepuchin A. U., Chernyh U. M., Yarmolenko E. K. Metod umensheniya vysshych darmonik v napryazhenii pitaniya tyagovogo privoda elektrovozov peremennogo toka s kolektornymi kollornymi dvigatyalyami. // «Vyesnik ByelGUTa: Nauka I transport», Nauchno-pratichesu zhurnal №1(28), 2014. – Gomel. – P. 11 – 12.
3. M. G. Chilikin i dr. Osnovy avtomatizirovannogo elektroprivoda.: Uchebnoye posobie dlya vuzov. –M.: Energia, 1974. – 568 p.
4. Tyutyunnik A.G. Optimalny i adaptivny systemy avtomatychnogo keruvannya.: Navchalnyy posibnyk. – Zhitomyr: ZhITI, 1998. – 512 p.

УДК 625.143.5

М. П. Настечик, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна)

Р. В. Маркуль

(асистент кафедри «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ ПРОМІЖНИМ РЕЙКОВИМ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5

При впровадженні швидкісного та високошвидкісного руху поїздів на залізницях України підвищились пред'явлені до проміжних рейкових скріплень вимоги. В основі експериментального дослідження роботи залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 виникає необхідність у виборі дослідної ділянки колії, замірюванні параметрів утримання колії, обґрунтування місць установки вимірювальних приладів. З допомогою проведених експериментальних досліджень взаємодії залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 були визначені та обґрунтовані такі значення: бокових сил, вертикальних сил, напружень в рейках вертикальні прогини та горизонтальні віджимання рейкових ниток. На сьогоднішній день в даній роботі вперше були отримані положення та експериментальні результати роботи залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. О триманні в даній роботі експериментальні результати дозволили практично в повній мірі дослідити роботу залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5, особливо дослідити роботу пружних клем типу КП-5, як основних елементів у вузлі скріплення.

Ключові слова: проміжне скріплення типу КПП-5, пружна клема, експериментальні дослідження, напружений стан.

При внедрении скоростного и высокоскоростного движения поездов на железных дорогах Украины повысились предъявлены к промежуточным рельсовым скреплениям требования.. В основе экспериментального исследования работы железнодорожного пути с промежуточным рельсовым скреплением типа КПП-5 возникает необходимость в выборе опытного участка пути, замеры параметров содержания пути, обоснование мест установки измерительных приборов. С помощью проведенных экспериментальных исследований взаимодействия железнодорожного пути со связыванием типа КПП-5 были определены и обоснованы следующие значения: боковых сил, вертикальных сил, напряжений в рельсах вертикальные прогибы и горизонтальные отжима рельсовых нитей. На сегодняшний день в данной работе впервые были получены положения и экспериментальные результаты работы железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5.

© Настечик М. П., Маркуль Р. В., 2014

Полученные в данной работе экспериментальные результаты позволили практически в полной мере исследовать работу железнодорожного пути с промежуточным рельсовым скреплением типа КПП-5, особенно исследовать работу упругих клемм типа КП-5, в качестве основных элементов в узле крепления.

Ключевые слова: промежуточное скрепление типа КПП-5, упругая клемма, экспериментальные исследования, напряженное состояние.

Вступ. Відповідно до наказу начальника Придніпровської залізниці від 19.02.2013 р. за № 87/Н [8], та наказу служби колії Придніпровської залізниці [16] були проведені експериментальні дослідження взаємодії залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 і рухомого складу. Підставою для проведення експериментальних досліджень є відсутність чітких науково-обґрунтованих результатів роботи проміжних елементів вузла скріплення типу КПП-5 підчас експлуатації [6, 9, 11].

Характеристика дослідної ділянки, методика проведення випробувань та обробки даних. Експериментальні дослідження проводились галузевою Колієвипробувальною науково-дослідною лабораторією Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, (КГНДЛ ДНУЗТу) при участі авторів з кафедри – «Колія та колійне господарство».

Дослідження проводились на ділянці Нижньодніпровськ вузол – Самарівка в кривій, радіусом 400 м, Придніпровської залізниці. Дослідна ділянка розміщувалась в зоні кругової кривої.

Ділянка: план лінії: крива, радіусом 400 м; конструкція колії – ланкова колія із рейками типу Р65, шпали залізобетонні, баласт двошаровий, товщиною 35/20 см; епюра шпал 2000 шт/км; скріплення типу КБ-65.

На ділянці виконується оборот в основному вантажних поїздів. Вантажонапруженість на ділянці становить 50 млн. т. км. брутто / км. за рік.

По показникам стрічки вагона колієвимірювача, колія на даній ділянці утримується згідно з [15] в стані – «відмінно».

Для проведення експериментальних досліджень, відповідно до наказу [16], було укладено в колію партію із 10 залізобетонних шпал типу СБ-3 під проміжне рейкове скріплення типу КПП-5 в межах кругової кривої, з'єднувальної гілки Нижньодніпровськ вузол – Самарівка (195 км. ПК8) Придніпровської залізниці.

Для проведення експерименту був попередньо сформований дослідний рухомий склад із двох електровозів типу ЧС7, двох піввагонів та двох вагонів для зерна.

Поїздки виконувались із швидкістю руху 5, 40, 90 км/год.

В процесі виконання експерименту на дослідній ділянці колії замірялись такі параметри як:

- напруження в рейках;
- вертикальні та горизонтальні сили, що діють на рейки;
- горизонтальні віджимання головки рейки;
- вертикальні осьові прогини рейок;
- напруження у верхній та нижній частинах прутка клеми першої гілки;
- напруження у верхній та нижній частинах прутка клеми другої гілки;

Допустимі величини сил, деформацій та напружень в колії згідно [14] становлять:

1. Напруження в кромках, МПа:

- підшви рейки..... 240

2. Горизонтальні сили взаємодії колеса та рейки з умов міцності роздільних рейкових скріплень на перегонах та стрілочних переходах, кН:

для локомотива.....150

для вагона.....

вертикальні.....10

горизонтальні (рекомендований показник, який визначається з випробувань) 6

Місця встановлення приладів на дослідній ділянці визначались на підставі натурних обмірів колії та математичного моделювання взаємодії рухомого складу із колією.

Вибір місць наклейки тензодатчиків на клеми типу КП-5 за умови появи по всій довжині її прутка максимальних напружень, здійснювалось за допомогою математичного моделювання в основі якого лежить теорія метода кінцевих елементів (МКЕ) [12, 13, 17].

Схема розташування тензометричних датчиків на клемі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 зображена на рис. 1.

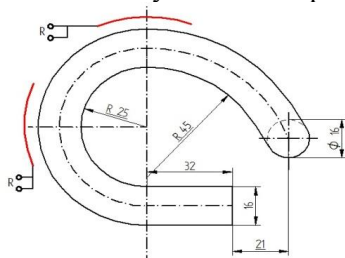


Рис. 1. Схема встановлення датчиків на клему типу КП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

Схема дослідної ділянки із пристроями приведена на рис. 2.

Для реєстрації напружень в рейках, в елементах скріплень, вертикальних сил та бічних сил використовувалися тензорезистори КФ5П1 прямокутні з базою 20 мм опором $200,0 \pm 0,5 \text{ Ом}$.

Для вимірювання просторових деформацій рейкових ниток використовувалися прогиноміри конструкції ЦНИ МПС.

Експериментальні дані оброблялися по показниках кожного датчика, при заданій швидкості руху дослідного рухомого складу. Створювалась первинна вибірка, на основі якої виконувалась статистична обробка експериментальних даних.

Бокові динамічні сили, що діють від коліс на рейки в залежності від значень напружень, отриманих експериментально в кромках підшви рейки та головки рейок, розраховувались за методикою О. П. Єршкова [4]. Кінцевим виразом для визначення бокових сил по даній методиці є:

$$H = B \cdot \sigma_n^n \quad (1)$$

де H – бокові сили, що виникають в колії, в кН ;

B – коефіцієнт для визначення сил, в см^2 ;

σ_n^n – напруження в зовнішній кромці підшви рейки в МПа .

Виникаючі в колії бічні та вертикальні сили від дослідного рухомого складу зображені на рис. 3 – 4.

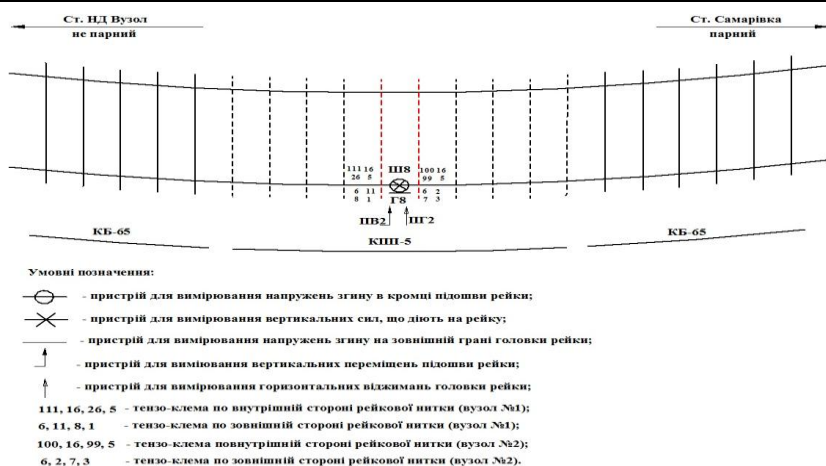


Рис. 2. Схема встановлення вимірювальних пристроїв на дослідній ділянці

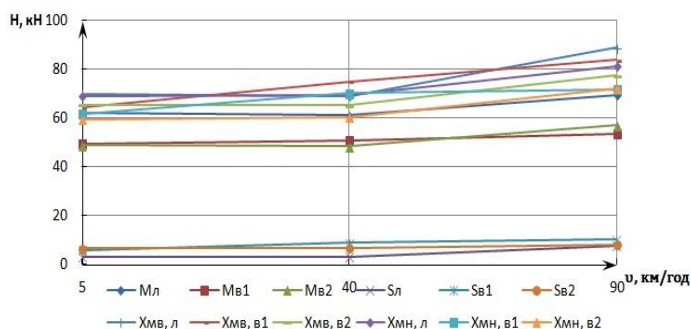


Рис. 3. Залежність горизонтальних сил від швидкості руху

Для кожної вибірки експериментальних даних визначались по стандартній методиці основна статистика: середнє (M), середньоквадратичне відхилення (S), максимально імовірні (X_{MB}), максимально спостережувальні (X_{MH}) значення, до прийнятого для розрахунків елементів верхньої будови колії рівня надійності 0,994 [1, 3, 10].

Максимальні значення бічних сил не перевищують 81,27 кН, максимальні імовірні – 84,06 кН, що не перевищують максимально-допустимих згідно [14].

Максимальні значення вертикальних сил (рис. 4) досягають 170,7 кН, максимальні імовірні значення – 222,4 кН, середнє значення – 106,4 кН.

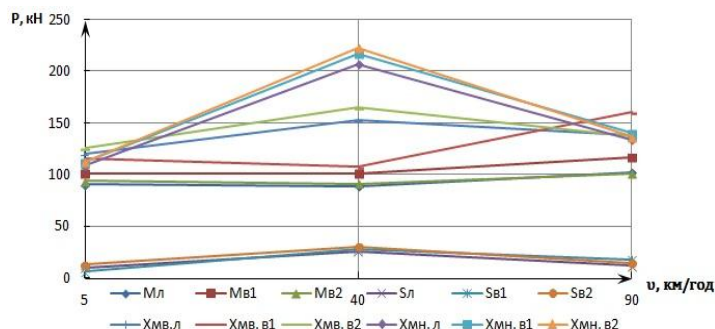


Рис. 4. Залежність вертикальних сил від швидкості руху

Середні значення напружень в залежності від швидкості руху розподілялись в діапазоні від 130 МПа до 172 МПа під локомотивами та від 95,9 МПа до 162 МПа під вагонами. Максимальні спостережувальні 96,6-172 МПа під локомотивами та 76-142,8 МПа під вагонами (рис. 5).

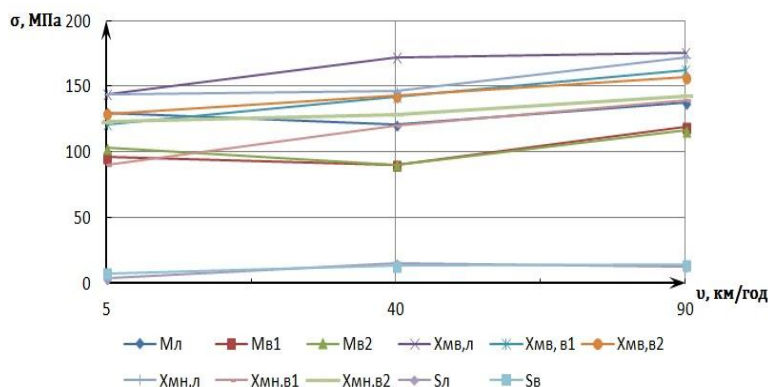


Рис. 5. Напруження в кромках підшви рейки, що спостерігались, залежно від швидкості руху

Результати вибірки вертикальних осьових прогинів рейки (мм) зображені на рис. 6.

Діапазон середніх значень вертикальних осьових прогинів рейкової нитки розподілявся в діапазоні від 1,2 мм до 1,7 мм а по максимально спостережувальних значеннях від 1,4 мм до 1,8 мм.

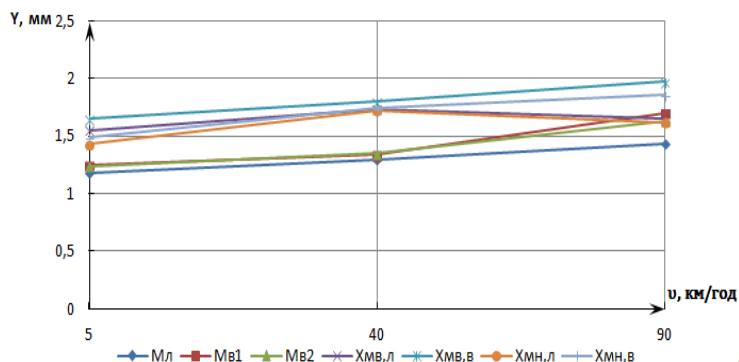


Рис. 6. Вертикальні прогини рейок, що спостерігались

Результати вибірки горизонтальних віджимань головки рейки, зображені на рис. 7. Згідно з рис. 7, діапазон середніх значень бокових горизонтальних віджимань головки рейки коливається від 1,2 мм до 1,8 мм – під локомотивами, від 0,7 мм до 1,2 мм – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення від 1,6 мм до 2,2 мм – під локомотивами, від 1,3 мм до 1,9 мм – під вагонами.

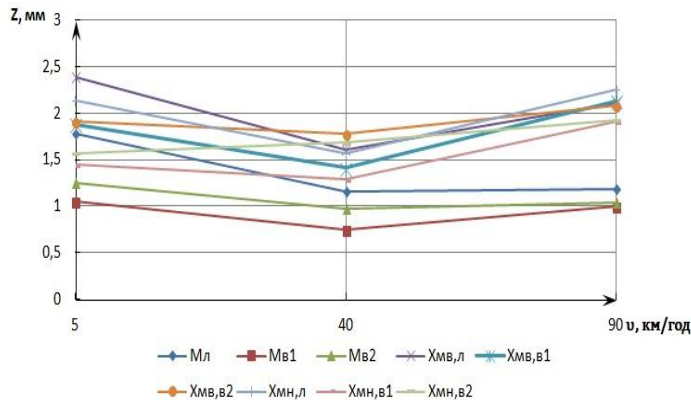


Рис. 7. Горизонтальні віджимання головки рейки, що спостерігались

Крутні напруження в прутках клем типу КПП-5 у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5. З метою визначення максимально-імовірних місць появи напруженого стану в прутках клем, як одного із основних елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, – визначались напруження.

Були вибрані 4-кlemi проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Отримані в певних фіксованих експериментальних перерізах дані були об'єднані у вибірці по кожній рухомій одиниці дослідного рухомого складу для певної швидкості руху залежно від нумерації осей.

Аналізуючи експериментально-отримані дані, встановлено, що значення напружень у верхній та нижній частині прутка двох клем по внутрішній стороні рейкової нитки відрізняються на 5 % – під локомотивами, 8 % – під вагонами, на 7 % – під локомотивами та 6,5 % – під вагонами.

Значення напружень у верхній та нижній частині прутка двох клем по зовнішній стороні рейкової нитки відрізняються на 20,6 % – під локомотивами, 11,4 % – під вагонами, та 12 % – під локомотивами, 4,3 % – під вагонами.

Спостерігаються практично не змінні значення напружень, які виникають в двох клемах по зовнішній та в двох клемах по внутрішній стороні рейкової нитки у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Згідно з цим експериментально-отримані значення напружень, що виникають в прутках клем об'єднані в чотири вибірки, які характеризують напруження в верхній та нижній частині прутка клем по внутрішній стороні та у верхній та нижній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки. Величини зміни напружень в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки в залежності від швидкості руху, представлені графічно на рис. 8.

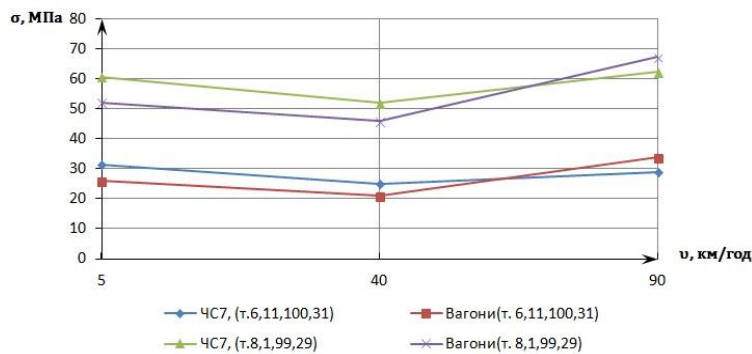


Рис. 8. Залежність напружень в прутках клеми від швидкості руху (зн. сторона рейкової нитки)

Значення напружень в верхній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки (група точок 6, 11, 100, 31) розподіляються в діапазоні від 18 МПа до 32 МПа – під локомотивами, від 17 МПа до 39 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення напружень 45-104 МПа – під локомотивами, та 41-121 МПа – під вагонами.

Значення напружень в нижній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки (група точок 8, 1, 99, 29) розподіляються в діапазоні від 38 МПа до 64 МПа – під локомотивами, від 41 МПа до 75 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення 50-96 МПа – під локомотивами, та 49-108 МПа – під вагонами.

Досліджено, що експериментально-отримані напруження в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки у верхній частині прутка клеми на 50 % менші ніж величина напружень у нижній частині прутка клеми – під локомотивами, та на 48 % – під вагонами.

Величини зміни напружень в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки в залежності від швидкості руху, представлені графічно на рис. 8.

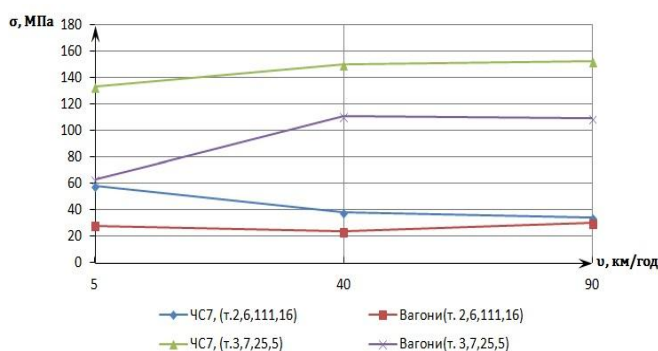


Рис. 9. Залежність напружень в прутках клеми від швидкості руху (вн. сторона рейкової нитки)

Середнє значення напружень у верхній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки залежно від швидкості руху (група точок 2, 6, 111, 16) розподіляються в діапазоні від 28,02 МПа до 57,8 МПа – під локомотивами, від 21,36 МПа до 40,51 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення 58 – 100 МПа – під локомотивами, 53 – 75 МПа – під вагонами.

Значення напружень в нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки (група точок 3, 7, 25, 5) розподіляються від 64,2 МПа до 152,4 МПа – під локомотивами та від 114 МПа до 144 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні 135 – 426 МПа – під локомотивами, та 187 – 416 МПа – під вагонами.

Встановлено, отримані значення напружень в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки у верхній частині прутка клеми на 62 % менші ніж напруження у нижній частині прутка клеми – під локомотивами, та на 72 % – під вагонами.

Загалом, аналізуючи опрацьовані дані, встановлено, що середні значення напружень у верхній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 45 % більше ніж по зовнішній частині рейкової нитки – під локомотивами, та на 4 % більше – під вагонами. Середні значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 58 % більше ніж по зовнішній стороні – під локомотивами, та на 50 % більше – під вагонами.

Порівняння результатів розрахунку напруженого стану в клемах у вузлі скріплення типу КПП-5 по розробленій моделі та експерименту. Для перевірки достовірності математичної моделі, розробленої на основі теорії моделювання методом кінцевих елементів (далі МКЕ) були виконані розрахунки відповідно з конструкцією дослідної ділянки.

У зв'язку з цим була створена математична модель залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5, яка враховувала особливості її роботи при використанні теорії МКЕ [12, 13, 17]. Геометричні розміри проміжних елементів ділянки залізничної колії, що закладались в модель як вихідні дані, для розрахунку приймалися згідно з нормативними кресленнями, які подані відповідно у [6, 7].

На рисунках 10 – 13 наочно зображені результати розрахунків відповідно до МКЕ та експерименту та їх порівняння.

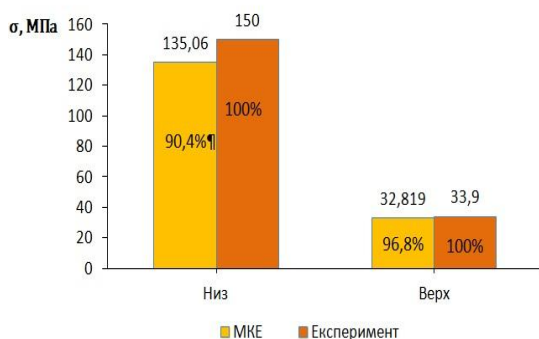


Рис. 10. Напруження в клемі 1 (вн. стор. р. н) при різних методиках для локомотивів

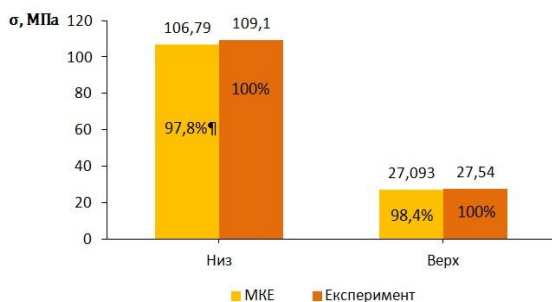


Рис. 11. Напруження в клемі 1 (вн. стор. р. н) при різних методиках для вагонів

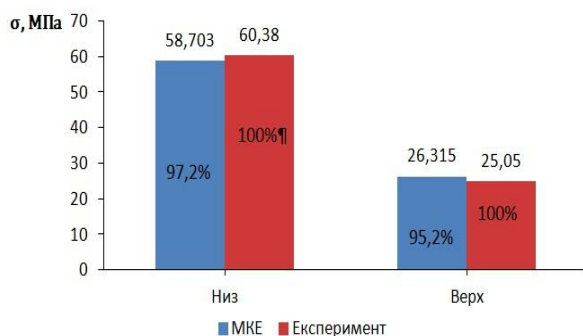


Рис. 12. Напруження в клемі 2 (зн. стор. р. н) при різних методиках для локомотивів

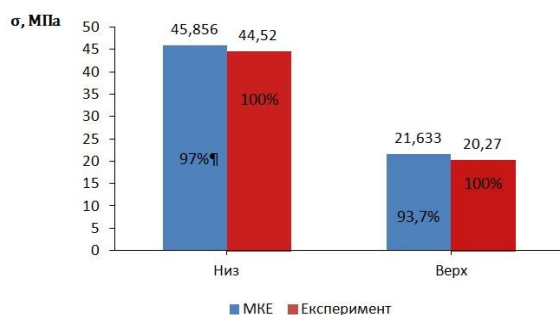


Рис. 13. Напруження в клемі 2 (зн. стор. р. н) при різних методиках для вагонів

Відповідно до вище отриманих значень можна зробити висновок, що в місцях технологічних згинів прутка клеми, де виникають максимальні напруження від кручення, під час експлуатації будуть виникати концентратори напружень в металі клеми, що в подальшому до втрат клемою своїх пружних властивостей з одночасною появою релаксації [5, 9].

Результати. Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 встановлено: максимальні значення бічних сил не перевищують 81,3 кН, вертикальні – 170,7 кН. Середні значення напружень в рейках розподіляються в діапазоні 130 – 172 МПа – під локомотивами, та 95,8 – 162 МПа – під вагонами. Діапазон середніх значень вертикальних осевих прогинів рейки коливається в межах 1,2 – 1,7 мм, горизонтальних віджимань в діапазоні 0,7 – 1,9 мм. Середні значення напружень в прутках клем по зовнішній стороні рейкової нитки на 48 – 50 % менше ніж напруження, які виникають в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки.

Наукова новизна та практична значимість. У даній роботі вперше були отримані положення та експериментальні результати роботи залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Це дозволило більш чітко дослідити та проаналізувати роботу проміжних елементів вузла скріплення, а саме: найімовірніші місця появи напруженого стану в прутках клеми. Це пояснюється тим, що клеми є одним із основних елементів у вузлі скріплення, стабільність роботи яких суттєво впливає на силовий ланцюжок – «рейка-клема-прокладка», і на надійність роботи залізничної колії в цілому. Від цього буде забезпечуватись безпека руху на залізничному транспорті.

Висновки. У цілому по експериментальних дослідженнях встановлено, динамічні бокові, вертикальні сили, вертикальні і горизонтальні прогини рейки, зафіксовані під час досліджень не перевищують гранично-допустимих згідно з [14]. Напруження, що виникають в прутках клем типу КПП-5 у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5 в основному не перевищують максимальних допустимих згідно з [2].

Згідно з експериментальними та теоретичними дослідженнями підтверджується стабільність роботи залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 в ділянках колії радіусом $R = 400\text{ м}$. Одночасно з цим буде і забезпечуватись безпека руху на залізничному транспорті з точки зору взаємодії колії та рухомого складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балух Х. Диагностика верхнего строения пути / Пер. с польск. И. В. Шварца; под ред. М. Ф. Вериги. – М.: Транспорт., 1981. – 415 с.
2. Говоруха В. В. Создание и внедрение упругих элементов промежуточного скрепления рельсового пути. / В. В. Говоруха // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 162–171.

3. Гурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
4. Еришков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках / О. П. Еришков. // Труды ВНИИЖТа. – М.: Издательский отдел ЦНИИ МПС., 1963. – Вып. № 264. – 152 с.
5. Оцінка параметрів пружної клеми марки КП-5.2 / М. Д. Костюк., В. В. Рибкін., І. О. Бондаренко., Н. М. Івченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 11–17.
6. Посібник з устрою, монтажу та утриманню проміжних пружних скріплень типу КПП. ЦП-0104 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 14.09.2005 № 34Ц / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2005. – 72 с.
7. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю якості матеріалів верхньої будови колії [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 30.01.2003 № ЦП-7/72 / Мін-во трансп. України. – Д.: Арт-прес, 2003. – 196 с.
8. Проведення випробувань піввагона моделі 12-7039-01 та вагона для зерна моделі 19-7053, виготовлених ПАТ «КВБЗ». Наказ від 19.02.2013 за № 87/Н.
9. Рибкін В. В. Оцінка втомлено-міцнісних характеристик елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ-65 та КПП-5 при повторно-змінних циклах навантаження конструкції / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль / Пробл. взаємодії колії та рухомого складу, присвячений 100-річчю проф. М. А. Фрішмана. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013. – С. 39–40.
10. Рибкін В. В. Надійність залізничної колії : навч. посіб. / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – 154 с.
11. Рибкін В. В. Оцінка впливу величини бічної-горизонтальної сили, що передається на вузол проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Пробл. взаємодії колії та рухомого складу, присвячений 100-річчю проф. М. А. Фрішмана : пр. міжнарод. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013. – С. 38–39.
12. Розин Л. А. Метод конечных элементов. [Текст] / Л. А. Розин // Сорсовский образовательный журнал. – 2000 – №4. – С. 120 – 127.
13. Стренг Г. Теория метода конечных элементов [Текст] / Г. Стренг, Дж. Фикс. – М.: Мир., 1977. – 349 с.
14. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань рухомого складу на колію та стрілочні переводи [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 04.03.2010 №028 ЦЗ / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2010. – 17 с.
15. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП0020 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 17.01.2005 № 9-Ц / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2005. – 48 с.
16. Укладання в колію 10 шпал типу СБ-3 під скріплення типу КПП-5 в межах кругової кривої з'єднувальної гілки Нижньодніпровськ вузол – Самарівка (195 км ПК 8) Придніпровської залізниці для поведіння випробувань взаємодії рухомого складу та колії із скріпленням типу КПП-5. Наказ від 22.04.2013 за № ПС04/1069.
17. Численные методы в механике / за ред. Н. Г. Сурьянникова. – М.: Мир., 2004. – 564 с.

N. P. Nastechik, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Road and Track Facilities Chair, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan)
R. V. Marcul
(Assistant of Road and Track Facilities Chair, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan)

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INTERACTION OF ROLLING STOCK AND RAILWAY TRACK WITH INTERMEDIATE RAIL FASTENINGS TYPE КПП-5

With the implementation of high-speed trains on the railways of Ukraine increased presented to the intermediate rail fastening requirements. It is on track work on the mainte-

nance and repair of unit bonds account for 10 to 18% of labor costs. One of the main types of bonds, which went into operation is an intermediate rail fastening type KIII-5. Data from previous experimental studies reliably prevented clear science-based performance bonding site. Therefore, the aim is to develop a methodology and rationale of the pilot study work node bonding type KIII-5 with a detailed assessment of the appearance of places stress state in his cell during operation. In the pilot study of railway track with intermediate rail fastening type KIII-5 there is a need in the selection of the pilot area the way, measurements of parameters of track, study places measurement devices. With the help of experimental studies of the interaction of railway track with the binding type KIII-5 were identified and justified following values: lateral forces, vertical forces, stresses in the rail vertical and horizontal deflections extraction of rails. All listed previously obtained experimental method values do not exceed the limit values with respect to [14]. The state of stress in bars type terminals KII-5 binding site is – heterogeneous, especially in the curved sections of track. The average values of stresses in the bars on the outside of the terminal rail thread for 48-50% less than the stresses in the bars on the inside of the terminal rail thread. To date, in this paper were first obtained by the position and the experimental results of the railway track staple type KIII-5. This allowed more clearly examine and analyze the work of the intermediate elements binding site, namely the most likely place the appearance of the stress state in the terminal bars. In keeping in this paper experimental results have allowed almost fully investigate the work of railway track with intermediate rail fastening type KIII-5, especially to explore the work of elastic-type terminals KII-5, as essential elements in the node mounting. Stable operation which significantly affects the power chain – «terminal-rail pad», and the reliability of the whole railway. At the same time from that provided traffic safety on the railways.

Keywords: with intermediate rail fastening type KIII-5, the elastic terminal, experimental research, the state of stress.

REFERENCES

1. Balukh Kh. Dyahnostyka verkhneho stroenya puty / Per. s polsk. Y. V. Shvartsa. Pod red. M. F. Veryho. – M.: Transport., 1981. – 415 s.
2. Hovorukha V. V. Sozdanye y vnedrenye uprulykh elementov promezhutochnoho skreplenya relsovoho puty. / V. V. Hovorukha // Visn. Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana. – Dnipropetrovsk, 2003. – Vyp. 2. – S. 162–171.
3. Hurman V. E. Teoryia veroiatnostei y matematycheskaia statystyka [Tekst]: ucheb. posobyie dlia vuzov / V. E. Hmurman. – M.: Vyssh. shk., 2005. – 479 s.
4. Ershkov O. P. Yssledovanye zhestkosti zheleznodorozhnogo puty y ee vlyanye na rabotu relsov v kryvykh uchastkakh / O. P. Ershkov. Trudy VNIYZhTa. – M.: Yzdatelskiy otel TsNYY MPS., 1963. – Vip. № 264. – 152 s.
5. Otsinka parametriv pruzhnoi klemy marky KP.-5.2 / M. D. Kostyuk., V. V. Rybkin., I. O. Bondarenko., N. M. Ivchenko // Visn. Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana. – Dnipropetrovsk, 2003. – Vyp. 2. – S. 11–17.
6. Posibnyk z ustroiu, montazhu ta utrymanniu promizhnykh pruzhnykh skriplen typu KPP. TsP-0104 [Tekst]: Zatv.: Nakaz Ukrzaliznytsi 14.09.2005 № 34Ts / Min-vo transp. ta zv'iazku Ukrainy. – K., 2005. – 72 s.
7. Praktychni rekomendatsii shchodo provedennia vkhidnoho kontroliu yakosti materialiv verkhnoi budovy kolii [Tekst]: Zatv.: Nakaz Ukrzaliznytsi 30.01.2003 № TsP-7/72 / Min-vo transp. Ukrainy. – D.: Art-pres., 2003. – 196 s.
8. Provedennia vyprobuvan pivvahona modeli 12-7039-01 ta vahona dlia zerna modeli 19-7053, vyhotovlenykh PAT «KVBZ». Nakaz vid 19.02.2013 za № 87/N.
9. Rybkin V. V. Otsinka vtomleno-mitsnistnykh kharakterystyk elementiv vuzla promizhnoho reikovooho skriplennia typu KB-65 ta KPP-5 pry povtorno-zminnykh tsyklakh navantazhennia konstruksii / V. V. Rybkin, I. O. Bondarenko, R. V. Markul / Probl. vzaємodii kolii ta rukhomoho skladu, pryviachenii 100-richchiu prof. M. A. Frishmana. – Dnipropetrovsk : DNUZT, 2013. – S. 39–40.
10. Rybkin V. V. Nadiinist zaliznychnoi kolii : navch. posib. / V. V. Rybkin, I. O. Bondarenko, D. M. Kurhan. – Dnipropetrovsk : DNUZT, 2013. – 154 s.

11. Rybkin V. V. Otsinka vplyvu velychyny bichnoi-horyzontalnoi syly, shcho peredaetsia na vuzol promizhnoho reikovooho skriplennia typu KB ta KPP-5 / V. V. Rybkin, I. O. Bondarenko, R. V. Markul / Probl. vzaiemodii kolii ta rukhomoho skladu, prysviachenii 100-richchiu prof. M. A. Frishmana : pr. mizhnarod. nauk.-prakt. konf. – Dnipropetrovsk : DNUZT, 2013. – S. 38–39.
12. Rozyn L. A. Metod konechnykh elementov. [Tekst] / L. A. Rozyn // Sorsovskiy obrazovatel'nyi zhurnal. – 2000 – №4. – S. 120 – 127.
13. Strenh H. Teoriya metoda konechnykh elementov [Tekst]/H. Strenh, Dzh. Fyks. – M.: Myr., 1977.–349 s.
14. Tekhnichni vkazivky z provedennia naturnykh vyprobuvan rukhomoho skladu na koliiu ta strilochni perevody [Tekst]: Zatv.: Nakaz Ukrzaliznytsi 04.03.2010 №028 TsZ / Min-vo transp. ta zv'iazku Ukrainy. – K., 2010. – 17 s.
15. Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoï kolii za pokaznykamy kolievymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoï kolii. TsP0020 [Tekst]: Zatv: Nakaz Ukrzaliznytsi 17.01.2005 № 9-Ts / Min-vo transp. ta zv'iazku Ukrainy. – K., 2005. – 48 s.
16. Ukladannia v koliiu 10 shpal typu SB-3 pid skriplennia typu KPP-5 v mezhakh kruhovoï kryvoi ziedniuvalnoi hilyky Nyzhnodniprovsk vuzol – Samarivka (195 km PK 8) Prydniprovskoi zaliznytsi dlia povedennia vyprobuvan vzaiemodii rukhomoho skladu ta kolii iz skriplenniam typu KPP-5. Nakaz vid 22.04.2013 za № PS04/1069.
17. Chyslennye metody v mekhanyke / za red. N. H. Suriannykova. M.: Myr., 2004. – 564 s.

*О. Б. Бабанін, д. т. н, професор
(професор кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,
Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків)*

*О. М. Горобченко, к. т. н, доцент
(докторант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,
Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків)*

ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ В ЕРГАТИЧНІЙ СИСТЕМІ «МАШИНІСТ – СППР – ПОЇЗД» НА ПІДСТАВІ КРИТЕРІЮ КОРИСНОСТІ

Розроблено математичний апарат для визначення корисності рішень, що виробляються інтелектуальною СППР для локомотивних бригад. Перевагою даного критерію є можливість обліку та прогнозування не тільки показників ефективності використання локомотивів, а і безпеки руху. Величина корисності виражена в грошовому еквіваленті. Отримана цільова функція для оптимізації управління поїздом за критерієм корисності. Для реалізації вибирається рішення, при якому вартість експлуатації на найближчий прогнозний відрізок часу мінімальна.

Ключові слова: потяг, СППР, локомотивна бригада, корисність рішення, інтелектуальне управління.

Разработан математический аппарат для определения полезности решений, вырабатываемых интеллектуальной СППР для локомотивных бригад. Преимуществом данного критерия является возможность учета и прогнозирования не только показателей эффективности использования локомотивов, но и безопасности движения. Величина полезности выражена в денежном эквиваленте. Получена целевая функция для оптимизации управления поездом по критерию полезности. Для реализации выбирается решение, при котором стоимость эксплуатации на ближайший прогнозный отрезок времени минимальна.

Ключевые слова: поезд, СППР, локомотивная бригада, полезность решения, интеллектуальное управление

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Раціональне керування транспортною системою є складним багатofакторним завданням.

© Бабанін О. Б., Горобченко О. М., 2014

Математичний апарат, що є теоретичним підґрунтям для його вирішення, постійно розширюється і розвивається разом з розвитком самого транспорту. Традиційний математичний апарат вже не повною мірою виконує свої функції з опису керування системою складних транспортних об'єктів.

Для уникнення надмірної складності (а відтак і труднощів практичного впровадження) все більше науковців використовують інструменти теорії штучного інтелекту. Розробка та впровадження інтелектуальних систем керування на транспорті є актуальним завданням, що дозволить підвищити ефективність експлуатації транспортних засобів.

Аналіз досліджень і публікацій. Теорія штучного інтелекту і основ інтелектуальних систем керування постійно розширюються і вдосконалюються [1 – 3]. Впровадження інтелектуальних систем на залізничному транспорті є одним з пріоритетних напрямів досліджень [4, 5]. У роботі [6] описані сутність, призначення та принципи побудови інтелектуальних технологій, характерні для сучасного залізничного транспорту. Однак у порівнянні з проблемою керування транспортними системами в цілому, питанням розробки бортових локомотивних інтелектуальних керівних систем в теперішній час приділяється значно менше уваги.

Визначення мети та задачі дослідження. Розробка СППР для локомотивних бригад є перспективним завданням для підвищення безпеки та ефективності використання тягового рухомого складу. Оцінка якості рішень, що виробляються СППР, проводиться за абстрактним критерієм корисності. Для підвищення якості оцінки рішень та визначення напрямків зниження собівартості перевезень в статті визначається цільова функція для оптимізації процесу керування поїздом на підставі критерію корисності.

Основна частина дослідження. В роботі [7] було отримано вираз для визначення корисності рішень, що приймає локомотивна СППР:

$$|P| = \sqrt{X_{\text{НС}}^2 + G_{\text{П}}^2 + \Delta t^2} \quad (1)$$

де P – умовна величина корисності рішення;

$X_{\text{НС}}$ – складність нештатної ситуації (НС), яка прогнозується у разі реалізації рішення;

$G_{\text{П}}$ – прогнозовані витрати палива (енергії) на рух поїзда;

Δt – прогнозоване відхилення від графіка руху.

Вираз (1) вказує на структуру показника корисності P , але потребує доробки з метою приведення всіх складових до єдиної системи вимірювання. Вираження параметрів складності НС, витрати палива (електроенергії) та відхилення від графіка руху у безрозмірних коефіцієнтах на перший погляд виглядає найпростішим виходом. Але ці коефіцієнти не достатньо інформативні і не явно виражають процеси під час ведення поїзда. Однією з основних вимог до використання засобів транспорту є висока ефективність, яка пов'язана з таким важливим показником, як вартість експлуатації. Тобто пропонується корисність дії інтелектуального агента зв'язати з вартістю експлуатації рухомого складу на прогнозний період і прагнути до зменшення цієї вартості.

Найбільш просто визначається вартість витраченого пального на прогнозний період:

$$B_{\text{П}} = G_{\text{П}} \cdot \epsilon_{\text{П}} \quad (2)$$

де $G_{\text{П}}$ – витрата палива (електроенергії) на прогнозний період часу, кг (кВт·год);

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

v_{Π} – вартість одиниці палива, грн/кг (грн/кВт•год)

Втрати від невиконання графіку руху для вантажних поїздів обчислюються наступною сумою:

$$B_{GP}(\Delta t) = B_{\Pi\Gamma} + B_{\Pi\Gamma} + B_{BG}. \quad (3)$$

Складові цього виразу визначаються таким чином.

Витрати по локомотиво-годинам для одного затриманого на станції поїзда, грн, будуть складати:

$$B_{\Pi\Gamma} = E_{\Pi\Gamma}^{вант} \cdot \Delta t, \quad (4)$$

де Δt – час затримки одного вантажного поїзда, год;

$E_{\Pi\Gamma}^{вант}$ – питомі витрати на одну тепловозо-годину вантажного руху, грн.

Витрати по поїздо-годинам одного затриманого вантажного поїзда, грн, будуть складати:

$$B_{\Pi\Gamma} = E_{\Pi\Gamma}^{вант} \cdot \Delta t. \quad (5)$$

де Δt – час затримки одного вантажного поїзда, год;

$E_{\Pi\Gamma}^{вант}$ – питомі витрати на одну поїздо-годину вантажного руху, грн.

Витрати по бригадо-годинам одного затриманого вантажного поїзда, грн., будуть складати:

$$B_{BG} = E_{BG}^{вант} \cdot \Delta t. \quad (6)$$

де Δt – час затримки одного вантажного поїзда, год;

$E_{BG}^{вант}$ – питомі витрати на одну тепловозо-годину вантажного руху, грн.

Визначення складності НС через грошовий вимір можливе з використання теорії ризиків. Оцінка ризику складається в його кількісному вимірі, тобто визначенні можливих наслідків реалізацій небезпек.

В рамках технократичної концепції після ідентифікації небезпек (виявлення принципово можливих ризиків) потрібно оцінити їхній рівень і наслідки, тобто імовірність відповідних подій і пов'язаний з ними потенційний збиток [8]. Існують три методи оцінювання ризику: феноменологічний, детерміністський та імовірнісний. Для процесу руху поїзда необхідно використовувати останній метод, що передбачає як оцінку імовірності виникнення аварії, так і розрахунок відносних імовірностей того або іншого шляху розвитку процесів. При цьому аналізується розгалужені ланцюги подій і відмов вузлів та агрегатів локомотива та вагонів. Розрахункові математичні моделі в цьому випадку можна значно спростити у порівнянні з детерміністськими схемами розрахунку.

Основні обмеження імовірнісного аналізу безпеки пов'язані з недостатніми відомостями про функції розподілення параметрів, а також недостатніми статистичними даними про відмови обладнання. Однак імовірнісний метод вважається одним з найперспективніших. На його базі можуть бути побудовані різноманітні методики оцінки ризиків на транспорті, що, залежно від використовуваної інформації, поділяються на статистичні, теоретико-імовірнісні та евристичні.

Для оцінювання ризику необхідні кількісні показники. Вони повинні забезпечувати порівнянність ступеня небезпечності різних ситуацій [9,10]. Поняття ризику пов'язується з можливістю виникнення достатньо рідкісних подій, а саме: інцидентів, аварій або катастроф на залізничному транспорті. В нашому розу-

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

мінні ризик – це імовірність $Q(T_{np})$ настання події за інтервал часу, на який робиться прогноз T_{np} . Цю величину пропонується розрахувати таким чином:

$$Q(T_{np}) = X_{HC}(T_{np}) \cdot k_{ЛФ} \quad (7)$$

де $X_{HC}(T_{np})$ – прогнозне значення параметру складності НС на період T_{np} ;

$k_{ЛФ}$ – коефіцієнт, що враховує вплив людського фактора на розвиток транспортної події $k_{ЛФ}$ (0; 1).

Смисл виразу (7) полягає в тому, що на імовірність виникнення транспортної події впливають два основних чинники: несприятливі обставини, що можуть скластися під час ведення поїзда (X_{HC}), та дії локомотивної бригади в цих обставинах ($k_{ЛФ}$).

Величина коефіцієнта $k_{ЛФ}$ отримана в роботі [11]:

$$k_{ЛФ} = 1 - \frac{5}{C_6} e^{\frac{x_{зв}}{\mu_{po}}} \quad (8)$$

де C_6 – середній бал за результатами навчання в дортехшколі або технічних навчань в депо;

5 – максимальний бал за п'ятибальною шкалою оцінювання знань;

$x_{зв}$ – коефіцієнт зовнішніх впливів на локомотивну бригаду;

μ_{po} – узагальнений показник психофізіологічного стану робітника за даними обстеження [12, 13].

Також ризик характеризується розміром збитку w від події у вартісному вираженні. Загальним показником ризику є математичне очікування збитку від події:

$$\bar{W} = Q(T_{np}) \cdot w \quad (9)$$

де w – оцінний збиток при виникненні транспортної події.

Вводячи до розрахунку величини X_{HC} , отримуємо такий вираз:

$$\bar{W} = X_{HC}(T_{np}) \cdot k_{ЛФ} \cdot w \quad (10)$$

Беручи до уваги вищенаведені способи корегування розрахунку корисності дії та вираження корисності через грошовий еквівалент, з урахуванням роботи [7] модель подамо в такому вигляді:

$$\begin{aligned} |P| &= \sqrt{\bar{W}^2 + B_{II}^2 + B_{ГР}^2} \Rightarrow \min \\ \bar{W} &= X_{HC}(T_{np}) \cdot k_{ЛФ} \cdot w, \\ B_{II} &= G_{II} \cdot b_{II}, \\ B_{ГР} &= B_{ЛГ} + B_{III} + B_{БР} \end{aligned} \quad (11)$$

$$T_{np \max} \leq \frac{3600v_n}{\zeta(b_e(v_n/2) + w_o(v_n/2) + i(s_n))}$$

$$T_{np} = T_{np \max} / n, \text{ при } 1 \leq n \leq T_{np \max} / t_{пк \min}$$

$$X_{HC} = f(x_{лф}(T_{np}); (x_{тф}(T_{np}); (x_{зф}(T_{np})),$$

$$G_{II} = g_i \cdot T_{np}, \text{ при } F_{к \text{ пот}} \in (f_{к \text{ ср}}, \alpha', \beta') = \frac{4.17((v'_k{}^2 - v'_n{}^2), \alpha^2, \beta^2)}{s} + w_{к \text{ ср}},$$

$$\Delta t = s/V_{гр} - s/V_{ф},$$

де $t_{пк \min}$ – мінімальний час між переведеннями рукоятки контролера з позиції на позицію, с; T_{np} – розрахунковий прогнозний термін, с;

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

n – коефіцієнт, що вказує на скільки проміжків доцільно розбити прогнозний термін для подальшого розрахунку; $X_{нс}$ – складність можливої нештатної ситуації; $\bar{W}$ – математичне очікування збитку від транспортної події, грн;

w – оцінний збиток при виникненні транспортної події, грн;

G_{II} – витрати палива на тягу, кг;

B_{II} – витрати на паливо впродовж прогнозного терміну, грн ;

$B_{ГР}$ – витрати від невиконання графіка руху, грн ;

$F_{к пот}$ – поточне значення дотичної сили тяги локомотива, кН;

$(f_{к ср}, \alpha', \beta')$ – середнє значення дотичної сили тяги, яка потрібна для руху поїзда на даній ділянці (у непарного числа), кН;

$V_{гр}$ – графікова швидкість руху поїзда, м/с;

$V_{ф}$ – фактична швидкість руху поїзда, м/с;

s – довжина ділянки, на якій знаходиться поїзд, м;

Δt – відхилення від графіка руху, с;

P – корисність дії інтелектуального агента, грн.

Величина P базова для визначення подальших дій інтелектуального агента. Процес вибору найкращого рішення зводиться до перебирання всіх можливих керівних дій, що можуть бути використані машиністом в поточний проміжок часу і знаходження дії, параметр P якої буде мінімальним.

Метою оптимізації керування локомотивом є визначення такого керування тяговим $F(t)$ та гальмівним $B(t)$ зусиллями і відповідної траєкторії руху поїзда $v(t)$ та $s(t)$, що забезпечують мінімальну вартість перевізного процесу (мінімальне значення критерію P).

Функціонал, що мінімізується, з урахуванням (11) має вигляд:

$$P = \int_0^{T_{pn}} \sqrt{\bar{W}^2 + B_{II}^2 + B_{ГР}^2} dt \quad (12)$$

де T_{pn} – повний час руху поїзда по ділянці.

Висновки та пропозиції. В роботі отримана модель визначення корисності рішення СППР для локомотивних бригад, що містить цільову функцію мінімізації витрат на експлуатацію рухомого складу на прогнозний період часу. Такий підхід дозволяє оцінити якість вироблених рішень не тільки з точки зору безпосередніх витрат на тягу, але і врахувати показник безпеки руху. Приведення показника P до грошового еквіваленту найбільш наочно показує вплив змін кожного критерію на кінцевий результат корисності дії, що прогнозується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рассел С., Искусственный интеллект. Современный подход. Пер. с англ. [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
2. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. [Текст] / А. В. Колесников – СПб: Издательство СПб ГТУ, 2001. – 700 с.
3. Negenborn R.R. Intelligent Infrastructures (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering) [Текст] / R.R Negenborn, Z. Lukszo, H. Hellendoorn – NY.:Springer, 2009 – 529 p.
4. Intelligent Transport Systems (ITS) for sustainable mobility. [Текст] / UN, Economic Commission for Europe, UNECE. Geneva, February 2012. – 120 pp.
5. Modern Transport Telematics / Ed. Jerzy Mikulski //11th International Conference on Transport Systems Telematics, [Текст] / TST 2011. Katowice-Ustron, Poland, October 19-22, 2011. – 418 p.
6. Скалозуб В. В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий) [Текст] / В. В. Скалозуб, В. П. Соловьев, И. В. Жуковичкий,

- К. В. Гончаров. – Д : Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. – 207 с.
7. Горобченко О. М. Формалізація задачі поточної оцінки безпеки руху при управлінні локомотивом [Текст] / О. М. Горобченко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 24. – К.: ДЕТУТ, 2014. – С. 214 – 221
8. Акимов В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах [Текст] / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004
9. Королев В.Ю. Математические основы теории риска. [Текст] / В.Ю. Королев, В. Е. Бенинг, С. Я. Шоргин – М.: Физматлит, 2011. – 591 с.
10. Радаев Н. Н. Прогноз вероятности аварии при перевозках радиационно опасных объектов железнодорожным транспортом [Текст] / Н. Н. Радаев // Атомная энергия, – 1998. Т. 85. – Вип. 5. – С. 400 – 407.
11. Ломотько Д. В., Горобченко О. М. Аналітичне вираження ступеня впливу людського фактора на імовірність транспортної події [Текст] / Д. В. Ломотько, О. М. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Вип. 26 – Донецьк, 2011. – С. 115 – 119.
12. Самсонкин В. Н. Прогнозирование надежности железнодорожных операторов [Текст] / В. Н. Самсонкин // Информационно-управляющие системы на ж. д. трансп. – Х., 1996. – № 5. – С. 54–55.
13. Самсонкин В. Н. Автоматизированный психофизиологический комплекс для профессионального отбора операторов железнодорожного транспорта [Текст] / В. Н. Самсонкин, И. Г. Мартыненко, И. М. Фисько // Материалы Первого междунар. симпозиума «Актуальные проблемы транспортной медицины», посвященного 25-летию Украинского НИИ медицины транспорта (27–28 июля 2000 г.). – Одесса: Друк, 2000. – С. 234 – 236.

***Oleksandr B. Babanin, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor of Maintenance and Repair of Rolling Stock Chair, Ukrainian
State University of Railway Transport)***
Oleksandr M. Gorobchenko, PhD (Technical Sciences)
***(Doctoral Candidate, Maintenance and Repair of Rolling Stock Chair,
Ukrainian State University of Railway Transport)***

DEFINITION OF THE OBJECTIVE FUNCTION FOR THE OPTIMIZATION OF PROCESS CONTROL IN THE HUMAN-MACHINE SYSTEM «DRIVER-DSS-TRAIN» ON THE BASIS OF THE CRITERION OF UTILITY

Development and implementation of intelligent transport management systems is an important task that will improve the operational efficiency of vehicles. To improve the quality assessment solutions in the sector and reduce the cost of transport in the article the objective function to optimize control train based on the criterion of utility.

A mathematical apparatus for determining the usefulness of decisions made in intelligent decision support system for locomotive crews. The value of criterion of utility base to determine further action intelligent agent. The process of selecting the best solution is reduced to taking over all possible control measures that could be used by the driver in the current time period and of the action parameter criterion of utility which will be minimal. The advantage of this criterion is the ability to inventory and forecasting not only performance using locomotives, but also safety. Prediction safety is performed using the theory of risk. Calculated expectation damages that may arise in the implementation of the decisions being checked. Bringing index P monetary equivalent to most clearly shows the effect of changes in each criterion on the final result of utility actions that predicted. The resulting objective function

for optimizing train the criterion of utility. To implement the chosen solution in which the operating cost forecast for the next period of time is minimal.

Keywords: train, DSS, the locomotive crew, utility solutions, intelligent control

REFERENCES

1. S. Rassel, P. Norvig .Iskusstvennyj intellekt. Sovremennyj podhod. Per. s angl. [Artificial Intelligence. The modern approach]. – Moscow: Publ. «Vil'jams», 2006. – 1408 p.
2. Kolesnikov A. V. Gibridnye intellektual'nye sistemy. Teorija i tehnologija razrabotki. [Hybrid intelligent systems. Theory and technology development.] – St. Pererburge: Publ. SPb GTU, 2001. – 700 p.
3. Negenborn R.R.Intelligent Infrastructures (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering) / R.R Negenborn, Z. Lukszo, H. Hellendoorn. – NY.: Springer, 2009. – 529 p.
4. Intelligent Transport Systems (ITS) for sustainable mobility. / UN, Economic Commission for Europe, UNECE. – Geneva, February 2012. – 120 p.
5. Modern Transport Telematics / Ed. Jerzy Mikulski //11th International Conference on Transport Systems Tlematics, / TST 2011. Katowice-Ustron, Poland, October 19-22, 2011. – 418 p.
6. V.V. Skalozub V. P. Solov'ev, I. V. Zhukovickij, K. V. Goncharov. Intellektual'nye transportnye sistemy zheleznodorozhnogo transporta (osnovy innovacionnyh tehnologij) [Intelligent transport rail system (based on innovative technologies)]. – Dnipropetrovsk: Publ. DNURT, 2013. – 207 p.
7. Gorobchenko O. M. Formalizacija zadachi potочної ocinki bezpeki ruhu pri upravlinni lokomotivom [Formal analysis of current assessment of safety in the management engine] / O. M. Гогобченко // Collected Works of the State Economic and Technological University of Transport Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport Systems and Technologies». – Vol. 24. – Kyiv: DETUT, 2014. – P. 214-221
8. V.A. Akimov, V.V. Lesnyh, N.N. Radaev. Osnovy analiza i upravlenija riskom v prirodnoj i tehnogennoj sferah [Principles of analysis and risk management of natural and man-made areas]. – Moscow: Publ. Delovoj jekspress, 2004.
9. V.Ju. Korolev, V. E. Bening, S. Ja. Shorgin. Matematicheskie osnovy teorii riska. [Mathematical foundations of the theory of risk.] – Moscow, Fizmatlit Publ., 2011. – 591 p.
10. Radaev N. N. Prognoz verojatnosti avarii pri perevozkah radiacionno-opasnyh ob#ektov zheleznodorozhnym transportom [Forecast the probability of an accident involving hazardous radiation facilities by rail. – Moscow: Atomnaja energija Publ., 1998. – V. 85. – P. 400 – 407.
11. Lomot'ko D. V., Gorobchenko O. M. Analitichne virazhennja stupenju vplivu ljuds'kogo faktoru na imovirnist' transportnoi podii [Analytical expression level of human factor on the probability of traffic accident] // Collected Works of DonIZT. – vyp. 26. – Donetsk, 2011. – P. 115 – 119.
12. Samsonkin V. N. Prognozirovanie nadezhnosti zheleznodorozhnyh operatorov [Predicting the reliability of rail operators] / Information management systems for rail transp. – Kharkov, 1996. – № 5. – P. 54–55.
13. V. N. Samsonkin, I. G. Martynenko, I. M. Fis'ko. Avtomatizirovannyj psihofiziologicheskij kompleks dlja professional'nogo otbora operatorov zheleznodorozhnogo transporta [Automated psychophysiological complex for professional selection of operators of rail transport] / Proceedings of the First Int. Symposium «Actual problems of transport medicine» devoted 25 letiyu Ukrainian Research Institute of Transport Medicine (27-28 July 2000) . Odessa. – P. 234–236.

А. Ю. Андрейцев, к.ф.-м.н, доцент

(доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

Т. С. Клецька, к.і.н.

(доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

О. О. Кільчинський, к.ф.-м.н, доцент

(доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ПРО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПЕРЕВІРКИ СКЛАДНИХ СТАТИСТИЧНИХ ГІПОТЕЗ ПРИ АНАЛІЗІ СВОЄЧАСНОСТІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

У статті запропонована вдосконалена методика перевірки складних статистичних гіпотез відносно законів розподілу досліджуваної ознаки генеральної сукупності для аналізу відхилення фактичного часу доставки вантажів від заданого. Її застосування продемонстроване на прикладі перевірки гіпотези про розподіл Вейбулла відхилення фактичного часу доставки від мінімального.

Ключові слова: термін доставки вантажу, фактичний час доставки, мінімальний (технологічний) час доставки, стохастична модель, статистична гіпотеза, розподіл Вейбулла.

В статье предложена усовершенствованная методика проверки сложных статистических гипотез относительно законов распределения исследуемого признака генеральной совокупности для анализа отклонения фактического времени доставки от заданого. Её применение продемонстрировано на примере проверки гипотезы о распределении Вейбулла отклонения фактического времени доставки от минимального.

Ключевые слова: срок доставки грузов, фактическое время доставки, минимальное (технологическое) время доставки, стохастическая модель, статистическая гипотеза, распределение Вейбулла.

В умовах економічної нестабільності останніх років актуальною стає задача підвищення ефективності технологічних процесів шляхом їхньої оптимізації. В зв'язку з цим значно зростає роль математичного моделювання вказаних процесів з метою подальшого прогнозування та оптимізації.

Однією з таких задач, наприклад, є задача своєчасної доставки вантажів. При порушенні термінів доставки залізниця несе збитки, пов'язані із штрафами за прострочену доставку, зберіганням вантажів (передчасна доставка) тощо.

© Андрейцев А. Ю., Клецька Т. С., Кільчинський О. О., 2014

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Математичні моделі транспортних потоків є стохастичними і базуються на статистичному матеріалі. Суттєвим критерієм для застосування цих моделей є їхня адекватність: відповідність реальному процесу. Це дозволяє досить точно оцінювати витрати та ризики, пов'язані з відхиленнями від заданих умов процесу (наприклад, відхиленнями від графіка доставки вантажів).

З цього приводу безумовно важливим є процес перевірки адекватності, що в умовах стохастичності вимагає перевірки статистичних гіпотез як непараметричних (гіпотез про закон розподілу генеральної сукупності), так і параметричних (про рівність статистичних оцінок значенням параметрів відомого закону розподілу).

В [1] було проведено аналіз та структурну класифікацію витрат, пов'язаних з несвоечасною доставкою вантажів та запропонована математична модель, що базується на нормальному законі розподілу відхилень реального часу доставки від графікового.

У загальному випадку ці витрати можуть бути обчислені за формулою

$$C = N \int_{t_{\min}}^{+\infty} K(\Delta t^*) f(\Delta t^*) d\Delta t^*, \quad (1)$$

де N – загальний обсяг вантажів, що перевозяться в певний проміжок часу, $t_{\min}$ – мінімальний час доставки, $K(\Delta t^*)$ – ставки плати за одиницю вантажу, пов'язані з обслуговуванням передчасно доставлених вантажів та простроченням термінів доставки, що залежать від відхилення Δt^* фактичного часу доставки від заданого (графікового або мінімального), $f(\Delta t^*)$ – щільність розподілу відхилень.

Аналогічну формулу можна записати для відносних відхилень: $\tau^* = \frac{\Delta t^*}{t_{\min}}$.

У [2] була побудована стохастична модель для визначення найімовірніших витрат перевізної плати залізницею, пов'язаних з простроченням термінів доставки вантажів, у припущенні, що час прострочення розподілений за експоненціальним законом.

У [3, 4] запропонована математична модель у припущенні, що відхилення фактичного часу доставки від мінімального підлягає закону розподілу Вейбулла та проведено аналіз зміни відхилень залежно від конкретних значень параметрів даного розподілу. На жаль, у наведених роботах не приділено увагу перевірці адекватності побудованих моделей.

Метою даної роботи є вдосконалення методики перевірки складних гіпотез відносно законів розподілу досліджуваної ознаки генеральної сукупності на прикладі, відхилення фактичного часу доставки вантажів від заданого.

Нехай ми маємо сукупність вибірових даних відносно часу доставки вантажів на деякій лінії залізниці. Виходячи з цих даних ми можемо побудувати статистичний ряд та визначити такі характеристики: мода t_i – час, за який доставляється максимальна кількість вантажів; медіана t_m – час, протягом якого буде доставлено половину усіх вантажів, t_c – середній час доставки. Розглянемо абсолютні відхилення цих величин від мінімального часу доставки на даній ділянці: $\Delta t_i^* = t_i - t_{\min}$,

$$\Delta t_m^* = t_m - t_{\min}, \Delta t_c^* = t_c - t_{\min}, \text{ а також відносні відхилення: } \tau_M^* = \frac{\Delta t_M^*}{t_{\min}}, \tau_m^* = \frac{\Delta t_m^*}{t_{\min}},$$

$\tau_c^* = \frac{\Delta t_c^*}{t_{\min}}$. Закон розподілу фактичного відхилення Δt^* генеральної сукупності є дискретним.

Але, враховуючи, що об'єм генеральної сукупності (кількість транспортних одиниць) є досить велике число, доцільно вважати, що Δt^* асимптотично прямує до деякої неперервної випадкової величини. Дійсно, оскільки об'єм вантажоперевезень не є сталою величиною, то для дискретних процесів кожного разу доведеться проводити аналіз із самого початку.

Розглянемо припущення (гіпотезу): функція розподілу Δt^* асимптотично прямує до функції деякого відомого, наперед заданого, розподілу. Такі гіпотези називають асимптотично непараметричними. Але, оскільки функції розподілу залежать від певної кількості параметрів, то необхідно одночасно перевірити гіпотезу про вид закону розподілу та значущість його параметрів. Таким чином, виникає задача перевірки складної гіпотези:

$$H_0: F(\Delta t^*) = F_0(\Delta t^*, \tilde{\theta}(\Delta t^*)), \quad \theta \in \Theta \subset R^d.$$

де $F(\Delta t^*)$ – функція розподілу ознаки генеральної сукупності, $F_0(\Delta t^*, \tilde{\theta}(\Delta t^*))$ теоретична функція розподілу, що залежить від d -вимірного вектора $\tilde{\theta}(\Delta t^*)$ – оцінок теоретичного вектора-параметра θ .

Задача перевірки цієї гіпотези розпадається на два етапи. На першому нам необхідно отримати оцінки параметрів відомого розподілу. Оскільки у випадку вантажних перевезень ми можемо оперувати досить великим обсягом вибірко-вих даних відносно t_m , t_m , t_c , то пропонуємо для цього спрощену методику, що може бути застосована до дво- або трипараметричних моделей.

Знаходимо моду, медіану та математичне сподівання для гіпотетичної випадкової величини і прирівнюємо до відповідної вибіркової. Залежно від того, скільки параметрів входить до щільності розподілу, розглядаємо систему двох або трьох рівнянь для визначення оцінок невідомих параметрів. Дана методика є аналогом методу моментів, але не вимагає обчислення вибірових моментів вищих порядків, а базується лише на даних статистичної звітності.

На другому етапі перевіряємо гіпотезу про вид розподілу. Через те, що обсяг вибірки може бути досить великим, ми можемо скористатись критерієм Пірсона. Для цього розбиваємо числову піввісь $\Delta t^* \geq 0$ на r проміжків. Одразу зауважимо, що довжини проміжків можуть бути різними, причому останній з них – $[\Delta t_{r-1}^*; +\infty)$. Кількість і довжина кожного інтервалу визначається, виходячи з нормативних документів та правил перевезень, а також з умови, що частота потрапляння в певний інтервал $[\Delta t_{k-1}^*; \Delta t_k^*]$ повинна бути не меншою п'яти ($n_k \geq 5$). Тоді випадкова величина:

$$\chi_{cn}^2 = \sum_{k=1}^r \frac{(n_k - np_k(\tilde{\theta}))^2}{np_k(\tilde{\theta})},$$

де

$$p_k(\tilde{\theta}) = F_0(\Delta t_k^*; \tilde{\theta}) - F_0(\Delta t_{k-1}^*; \tilde{\theta}) = \int_{\Delta t_{k-1}}^{\Delta t_k} f_0(\Delta t^*; \tilde{\theta}) d\Delta t^*,$$

розподілена за законом χ^2 -квадрат з $r-d-1$ степенями свободи. Порівнюємо її з табличним значенням $\chi^2(1-\alpha, r-d-1)$, де α – рівень значущості.

Якщо $\chi_{cn}^2 < \chi^2$, то не має підстав відхиляти гіпотезу H_0 . У випадку $\chi_{cn}^2 > \chi^2$ гіпотеза H_0 може бути відхилена на рівні значущості α .

Одним із розподілів, що досить часто використовується при моделюванні випадкових величин, пов'язаних з часовими потоками, є розподіл Вейбулла. Розглянемо застосування описаної методики для перевірки гіпотез про те, що відхилення часу доставки вантажів від мінімального розподілене за цим законом. Щільність розподілу Вейбулла:

$$f(\Delta t^*) = \begin{cases} 0, & \Delta t^* < 0 \\ \alpha \beta (\Delta t^*)^{\beta-1} e^{-\alpha (\Delta t^*)^\beta}, & \Delta t^* \geq 0, \quad \alpha > 0, \beta > 1 \end{cases}.$$

Даний розподіл є двопараметричним. Обчислимо для нього моду та медіану.

Для знаходження моди продиференціюємо $f(\Delta t^*)$, прирівнявши отриману похідну до нуля. Звідки:

$$MoX = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \left(\frac{\beta-1}{\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}}.$$

Розв'язавши рівняння:

$$\int_0^{\Delta t_m^*} \alpha \beta (\Delta t)^{\beta-1} e^{-\alpha (\Delta t)^{\beta}} d\Delta t^* = \frac{1}{2},$$

маємо

$$MeX = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}.$$

Прирівняємо одержані значення до вибірових

$$\overline{\Delta t_m^*} = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \left(\frac{\beta-1}{\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}}, \quad \overline{\Delta t_m^*} = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}$$

і розглянемо відношення:

$$P = \frac{\overline{\Delta t_m^*}}{\overline{\Delta t_m^*}} = \left(\frac{\beta \ln 2}{\beta-1} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Або, еквівалентне йому

$$P^\beta = \ln 2 \left(1 + \frac{1}{\beta - 1} \right). \quad (2)$$

З рисунків 1, а), 1, б) видно, що при $P \geq 1$ ($\Delta t_m \geq \Delta t_m$) це рівняння має один розв'язок: $\beta > 1$. При $0,96 < P < 1$ – два розв'язки (Рис. 1в). При $P < 0,96$ (рис. 1, г) рівняння розв'язків не має, тому вже на цьому етапі гіпотезу про те, що розподіл відхилення часу доставки від мінімального асимптотично прямує до розподілу

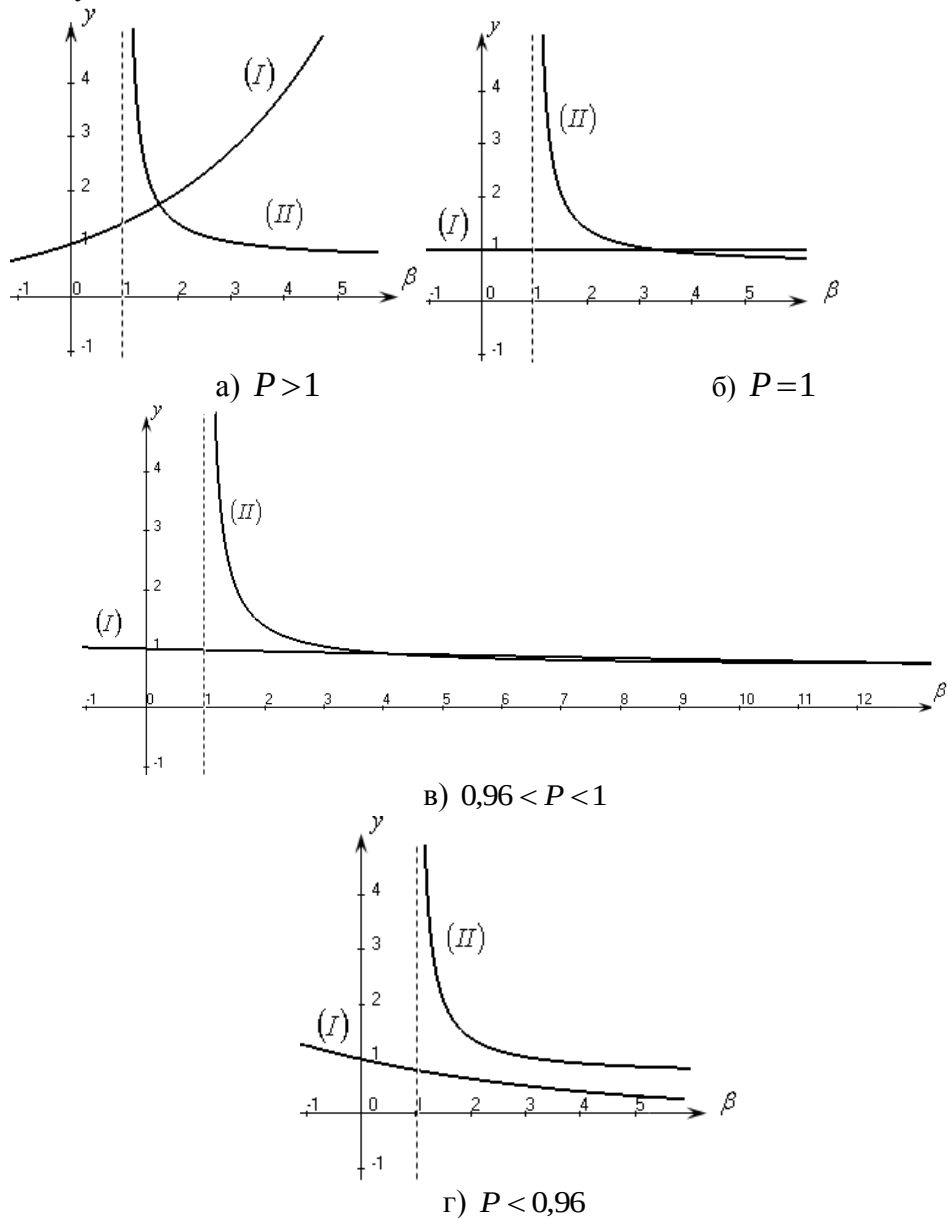


Рис. 1. Графічне дослідження розв'язності рівняння (2):

(I) – графік функції $y = P^\beta$, (II) – графік функції $y = \ln 2 \left(1 + \frac{1}{\beta - 1} \right)$.

Вейбулла, відхиляють. У випадку, коли $P \approx 1$, має сенс перевірка про нормальний розподіл відхилень, для якого $MoX = MeX$.

Оцінку параметра β можна знайти наближеними методами з необхідною точністю. Після чого знаходимо:

$$\tilde{\alpha} = \frac{\ln 2}{\left(\frac{\Delta t^*}{\Delta t_m^*}\right)^\beta}. \quad (3)$$

Для перевірки гіпотези про розподіл Вейбулла відхилень з параметрами $\tilde{\alpha}$ та $\tilde{\beta}$ необхідно розбити піввісь $\Delta t^* \geq 0$ на r проміжків.

У статистичній звітності відхилення часу доставки фіксуються з точністю до 0,1 доби, штрафи за прострочену доставку, зафіксовані у відповідних документах, збільшуються з інтервалом в одну добу і є незмінними, починаючи з чотирдобового прострочення (див. [5, 6]).

Крім того, кількість інтервалів повинна бути більшою за $\log_2 n - 1$, і для кожного з інтервалів $np_k(\tilde{\theta}) \geq 5$.

Виходячи з цього, при розбитті часової півосі $\Delta t^* \geq 0$ на проміжки доцільно:

- 1) при Δt^* близьких до нуля обирати достатньо великий крок від 0,5 до 1 доби, оскільки частка вантажів, що доставляються набагато раніше графікового часу є досить малою;
- 2) надалі крок розбиття зменшувати, можливо навіть до 0,1 доби в околі моди;
- 3) при $2 \leq \Delta t^* \leq 4$ крок покласти рівним одній добі, оскільки штрафи стягуються при простроченні доставки на 2 доби, зростають щодоби і є незмінними при простроченні від чотирьох діб;
- 4) останній інтервал покласти $[4; +\infty)$, враховуючи незмінність штрафів та досить малий обсяг вантажів, що доставляються з відхиленням $\Delta t^* \geq 4$.

Зазначимо, що такий підхід надалі дає можливість замість формули (1) для оцінки витрат користуватись дискретною формулою:

$$C = N \sum_{k=1}^r K_k p_k(\tilde{\theta}), \quad (4)$$

оскільки в межах кожного з інтервалів $K_k = K(\Delta t^*) = \text{const}$. Крім цього, необхідно враховувати, що при $n=100$, r повинно бути не менше шести, при $n=100 - r \geq 9$, при $n=1000 - r \geq 13$.

Після визначення $p_k(\tilde{\theta})$ та n_k обчислюємо χ_{cn}^2 і, порівнюючи з $\chi^2(1-\alpha, r-d-1)$, робимо висновок щодо справедливості висунутої гіпотези про те, що розподіл відхилень часу доставки вантажів від мінімального асимптотично прямує до розподілу Вейбулла. Це дає нам підстави оцінювати витрати, пов'язані з несвоєчасною доставкою вантажів за формулою (4).

На завершення зазначимо, що дана методика дає можливість досить просто та досить точно вирішувати питання про адекватність багатопараметричних стохастичних моделей. Одним з її недоліків є те, що на другому етапі вона не є універсальною, оскільки розбиття на інтервали часової півосі проводиться для абсолютних відхилень. Однак на першому етапі для відносних відхилень підхід не змінюється.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Наприклад, якщо для розподілу Вейбулла замість абсолютних взяти відносні відхилення, то усі викладки при заміні Δt^* на τ^* не зміняться. При цьому для функції $f(\tau^*)$ $\tilde{\beta}$ знаходиться із (2), а $\tilde{\alpha} = \frac{\ln 2}{\left(\frac{\tau_m^*}{\tau_m}\right)^\beta}$.

Тому, маючи універсальну модель для описання розподілу відносних відхилень, за допомогою відповідного перетворення можна перейти до моделі розподілу абсолютних відхилень на конкретній ділянці.

Крім того, даний підхід базується на незалежності відхилень, тобто час доставки для кожної транспортної одиниці не залежить від часу доставки інших одиниць. Однак на практиці несвочасна доставка часто фіксується для груп вагонів, кількість вагонів у групах є різною. Це може суттєво вплинути на адекватність відповідної моделі. Даний аспект вимагає подальших досліджень з метою вдосконалення описаної методики.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Андрейцев А.Ю.* Стохастична модель оцінки витрат, пов'язаних із відхиленням від графіка доставки вантажів / А.Ю. Андрейцев, Г.С. Висоцька // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Сер. «Техніка, технологія». – Київ: ДЕТУТ, 2013. – с. 210 – 211
2. *Висоцька Г.С.* Визначення імовірнісних характеристик процесу доставки вантажів / Г.С. Висоцька // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К., 2012. – № 20. – С. 240 – 245
3. *Myronenko V.K.* Evaluation of stochastic characteristics of goods delivery schedules by rail / Myronenko V.K., Andreytsev A.Yu., Vysotska G.S. // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Київ, 2014. – № 24. – С. 157 – 162
4. *Андрейцев А.Ю.* Стохастическая модель оценки своевременности доставки грузов / А.Ю. Андрейцев, Г.С. Висоцкая // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: V Міжнар. наук.-практ. конф., 1-3 жовтня 2014 р.: тези доп. – Херсон: ХДМА, 2014. – С. 128 – 130
5. Статут залізниць України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/457-98-%D0%BF>.
6. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/files/file/cargo_transportation/smgs/SMGS_01.07.2013_aktual.2014.pdf

Andrij Ju. Andreytsev, PhD (Physical and Math. Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of High Mathematics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Tetiana S. Kletska, PhD (Historical Sciences)
(Associate Professor of High Mathematics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Oleksandr O. Kilchynskyi, PhD (Physical and Math. Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of High Mathematics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

ON IMPROVING THE TECHNIQUE OF VERIFICATION COMPLEX STATISTICAL HYPOTHESES IN THE ANALYSIS OF GOODS DELIVERY TIMELINESS

Verifying the adequacy of mathematical models is a prerequisite for their use in predicting the real processes. Most of the models that describe the technological

processes are stochastic. In this case, the statistical hypotheses verifying is of high topicality.

The paper deals with the questions of statistical hypotheses verifying, arising in problems of timely goods delivery. It is assumed that the distribution of the real-time delivery deviations from the minimum one asymptotically converges to a preset continuous distribution. The problem is divided into two stages. The first step is to find the parameters estimates of population distribution on the basis of statistical data. The second step is to verify a complex statistical hypothesis on the form of the distribution using the non-parametrical Pearson's test.

The approach to verify the hypothesis on the distribution of deviations asymptotically converges to the Weibull distribution has been demonstrated. The parameters estimation of the two-parameter distribution has been carried out using the sample values of mode and median of the real-time delivery deviations from the minimum one. The system of equations for determining the distribution of the parameter estimates has been written. Its solvability has been analyzed on the basis of the graphical representation. The recommendations for partitioning a half-axis into intervals have been given. The number of intervals of the partition has been determined from the statistical formulas. The length of the interval has been determined from the group data according to regulatory documents on rail transportation.

Conclusions about the possibility of using the described approach for absolute and relative deviations have been made.

Keywords: time of goods delivery, actual delivery time, minimum (technological) delivery time, stochastic model, statistical hypothesis, the Weibull distribution

REFERENCES

1. Andreytsev A. Yu. Stokhastychna model otsinky vytrat, pov'iazanykh iz vidkhyleniam vid hrafika dostavky vantazhiv [Stochastic model of costs evaluation caused by deviations of goods delivery from the schedules] / A. Yu. Andreytsev, G. S. Vysotska // Problemy ta perspektyvy rozvytku transportnykh system v umovakh reformuvannia zaliznychnoho transportu: upravlinnia, ekonomika i tekhnolohii: Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. – Seriya «Tekhnika, tekhnolohii». – K.: DETUT [State Economy and Technology University of Transport], 2013. – P. 210 – 211.
2. Vysotska G. S. Vyznachennia imovirnisnykh kharakterystyk protsesu dostavky vantazhiv [Definition of probabilistic characteristics of the process of goods delivery] / G. S. Vysotska // Zbirnyk naukovykh prats DETUT [Proceedings of the State Economy and Technology University of Transport]. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii». – Kyiv, 2012. – issue 20. – P. 240 – 245.
3. Myronenko V. K. Evaluation of stochastic characteristics of goods delivery schedules by rail / Myronenko V. K., Andreytsev A. Yu., Vysotska G. S. // Zbirnyk naukovykh prats DETUT [Proceedings of the State Economy and Technology University of Transport]. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii». – Kyiv, 2014. – issue 24. – P. 157 – 162.
4. Andreytsev A. Yu. Stokhasticheskaia model otsenky svoevremennosti dostavky hruzov [Stochastic model for evaluation of goods delivery timeliness] / A. Yu. Andreytsev, G. S. Vysotska // Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti, tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia: 5-ta mizhnar. nauk.-prakt. konf., 1-3 zhovtnia 2014 r.: tezy dop. [Proc. of the 5th Int. Scientific and Practical Conf. «Modern power plants in transport, technologies and maintenance equipment» Oktober 01-03. 2014]. – Kherson: KhDMA [Kherson State Maritime Academy], 2014. – P. 128 – 130.
5. Statut zaliznyts Ukrainy [Charter for the Ukrainian railways]. Rezhym dostupu: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/457-98-%D0%BF>.
6. Sohlashenye o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom hruzovom soobshchenii (SMHS) [Agreement on international rail freight traffic]. Rezhym dostupu: http://www.uz.gov.ua/files/file/cargo_transportation/smgs/SMGS_01.07.2013_aktual.2014.pdf.

*С. М. Білан, к.т.н, професор
(професор кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»
Державного економіко-технологічного університету транспорту,
м. Київ)*

*О. О. Колочун
(студент Державного економіко-технологічного університету
транспорту, м. Київ)*

МЕТОД СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ПРИХОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ КОНТЕЙНЕРІВ

У роботі розглядається та досліджується метод стеганографічного приховування інформації на основі контейнерів, які подані файлами зображень. Для збільшення обсягу повідомлення, що впроваджується у контейнер, зображення піддається шумовим спотворенням типу «сіль» та «перець». Біти повідомлення впроваджуються у молодші біти байтів коду зображення, а у пікселі, що спотворені шумом впроваджуються у декілька бітів залежно від обраного порогу яскравості. Використовуються додаткові операції з визначення шумових пікселів, за рахунок використання скануючого вікна заданих розмірів.

Ключові слова: зображення, піксель, шум, стеганографія.

В работе рассматривается и исследуется метод стеганографической защиты информации на основе контейнеров, которые поданы файлами изображений. Для увеличения объема сообщения, что внедряется в контейнер, изображение поддается шумовым искажениям типа «соль» и «перец». Биты сообщения внедряются в младшие биты байтов кода изображения, а в пиксели, которые искажены шумом, внедряются в несколько битов в зависимости от избранного порога яркости. Используются дополнительные операции по определению шумовых пикселей, за счет использования сканирующего окна заданных размеров.

Ключевые слова: изображение, пиксель, шум, стеганография.

Вступ. Сучасні системи передачі даних та засоби обробки цифрової інформації характеризуються широким впровадженням засобів інформаційного захисту [1-3]. Захист інформації, реалізований на комп'ютерній системі або на передавальній та приймальній частинах системи зв'язку запобігає несанкціонованому доступу до інформації. Особливо важливим є запобігання втручанню до баз даних з конфіденційною та секретною інформацією. Інформація, яка зберігається на носіях може бути захищена як програмними так і апаратними засобами, які запобігають доступу до засобів зчитування з носія. Існує також інформація, яка передається по незахищених каналах зв'язку.

© Білан С. М., Колочун О. О., 2014

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

В першу чергу це стосується систем передачі даних масового користування. В таких системах дані передаються по різних середовищах (електричний кабель, оптичний кабель та радіоефір). У такій ситуації інформацію захищають двома підходами: криптографія та стеганографія [4 – 6]. Перший метод характеризується наявністю відомостей про зашифроване повідомлення, а другий метод характеризується приховуванням самого факту наявності повідомлення. Причому стеганографія використовує криптографію і приховує наперед зашифроване повідомлення.

Постановка задачі. Існуючі на даний момент стеганографічні підходи використовують контейнери різної природи. Одним з таких контейнерів є графічні файли, в байти яких записуються відповідні біти цифрового повідомлення. Причому накладаються вимоги щодо спотворення початкового зображення. Для зменшення видимих спотворень біти цифрового повідомлення записуються у молодші біти вибраних байтів файлу зображення, що значно зменшує об'єм можливого повідомлення та потребує графічних файлів великого об'єму.

Для зменшення об'єму впроваджуваного повідомлення без змін об'єму зображення ставиться задача пошуку таких зон зображення, значні спотворення яких не призводили б до спотворення загальної зорової картини. При цьому ставиться задача внесення таких спотворень у початкове зображення у вигляді шумів. Пікселі, які відображають, шум можуть бути більше спотворені без впливу на зображення в цілому. Вирішення такої задачі дозволить значно збільшити об'єм цифрового повідомлення, що впроваджується.

Загальні принципи стеганографічного захисту інформації на основі контейнера, що поданий графічним файлом. Стеганографічний принцип приховування повідомлень ґрунтується на впровадженні бітів повідомлення у існуючу структуру графічного файлу по заданому алгоритму. Загальна структура такої системи подана на рис. 1.

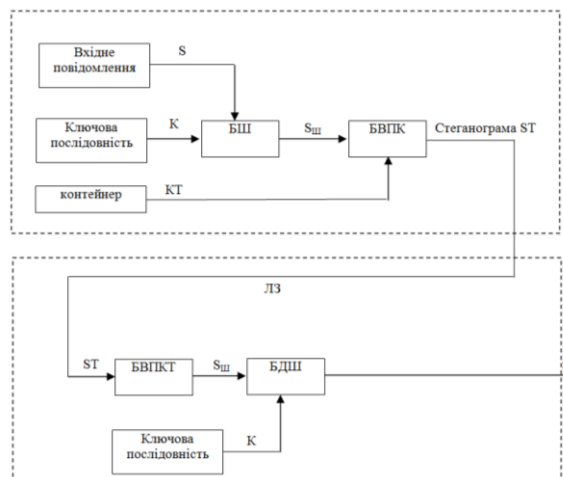


Рис. 1. Загальна структура системи стеганографічного захисту повідомлень

Вхідна цифрова послідовність S та ключова послідовність K подаються на відповідні входи блоку шифрування (БШ), який здійснює шифрування по заданому алгоритму. На виході БШ отримується зашифроване повідомлення $S_{\text{ш}}$, яке подається на перший вхід блоку впровадження повідомлення у контейнер

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

(БВПК). Сам контейнер подається на другий вхід БВПК. В якості контейнера можуть виступати файли зображення, аудіо файли, текстові файли і т.п. БВПК по заданому закону здійснює впровадження бітів повідомлення у контейнер без зміни структури контейнера. На виході БВПК отримується стеганограма ST , яка передається по лінії зв'язку (ЛЗ) на вхід блоку витягання повідомлення з контейнеру (БВПКТ) приймальної частини. БВПКТ здійснює витягання зашифрованого повідомлення $S_{ш}$, яке з його виходу подається на вхід блоку дешифрування (БДШ), який під дією ключової послідовності K дешифрує шифрограми і на його виході з'являється вихідне повідомлення S .

Ефективність функціонування такої системи залежить від вибраного алгоритму шифрування, а також від методу впровадження цифрового повідомлення у контейнер без спотворення останнього. Важливим є також вибір такого методу впровадження повідомлення у контейнер, який би дозволив здійснити впровадження як можна більшої кількості бітів.

Метод впровадження повідомлень у файли зображень, які спотворені шумом. Найрозповсюдженішим методом впровадження повідомлень є метод LSB, який реалізує впровадження у найменший значущий біт [7 – 9]. Даний метод не дає відчувати різницю між порожнім та заповненим контейнерами. Але він обмежує величину впровадженого повідомлення власним форматом. Збільшення повідомлення, впровадженого у контейнер може бути здійснене шляхом впровадження його бітів не тільки у найменші біти файлів контейнера.

Для вирішення цієї задачі пропонується вибирати контейнери у вигляді зашумлених зображень та впроваджувати біти повідомлення у пікселі, які відображають шум. Одним з таких шумів є шум «сіль» та «перець», який характеризується присутністю білих клітин на темному фоні, а також темних клітин на світлому фоні. Приклад зображення з таким шумом подано на рис. 2.

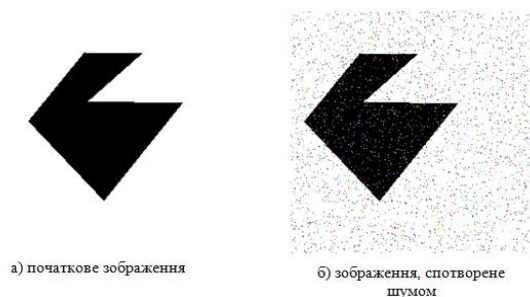


Рис. 2. Приклад зображень, які спотворені шумом типу «сіль» та «перець»

На рис. 2 а подано початкове зображення, а на рис. 2 б це ж зображення, яке спотворене шумом типу сіль та перець. Видно, що відтінки шумових пікселів при зміні їх яскравості, або колірності не впливає на відчуття різниці у отриманих спотворених зображеннях. Такий підхід до вибору та побудови контейнерів дозволяє збільшити об'єм впроваджуваного секретного повідомлення. Наприклад, якщо зображення містить N пікселів, які відображають шум, а все зображення складається з M пікселів, то кількість не спотворених пікселів складає $K = N - M$.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Прийmemo, що у кожний неспотворений піксель записується по одному біту секретного повідомлення, а у пікселі шуму по два біти, то кількість бітів впроваджених у контейнер буде визначатись як $L_{II}=K+2N$. Приклад спотворених зображень, в яких шумові пікселі змінили код яскравості або кольору подані на рис. 3.

Як зображено на рис. 3 відчуття різниці не зафіксовано. Крім того, супротивник не має уяви про початкове зображення. Процес впровадження повідомлення базується на пошуку пікселів, що належать шуму. Для цього проводять попередню обробку зображення, яке вибране в якості контейнеру. Головною операцією такої обробки є виділення пікселів, які утворюють шум.

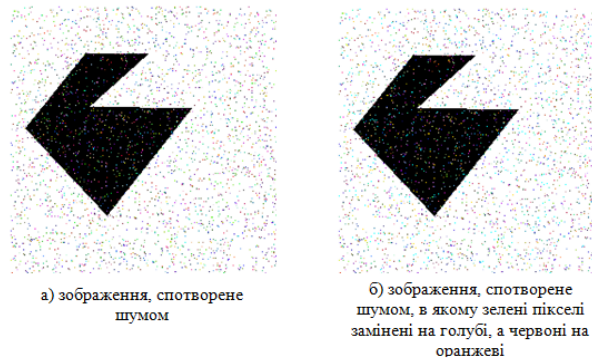


Рис. 3. Приклад зашумлених зображень із змінами атрибутів пікселів шуму

Характеристикою таких пікселів є те, що вони мають у околі пікселі з іншими характеристиками, які мають досить велику різницю у кодуванні кольору та яскравості. Для їх виділення застосовуються різні види околиці сусідніх пікселів (рис. 4).

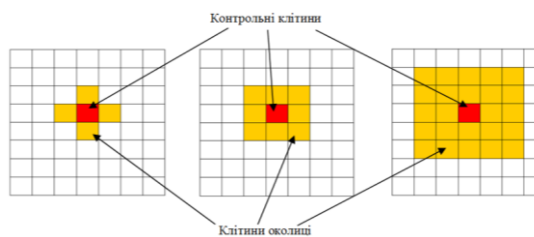


Рис. 4. Види околиць, які можуть бути використані для визначення пікселів шуму

Аналіз пікселів зображення здійснюється послідовним скануванням всього поля зображення за допомогою скануючого вікна із заданим кодуванням клітин (рис. 5).

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

X ₂₃	X ₂₄	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
X ₂₂	X ₈	X ₁	X ₂	X ₁₂
X ₂₁	X ₇	X ₀	X ₃	X ₁₃
X ₂₀	X ₆	X ₅	X ₄	X ₁₄
X ₁₉	X ₁₈	X ₁₇	X ₁₆	X ₁₅

Рис. 5. Приклад кодування клітин скануючого вікна

Клітина, яка кодується X_0 вибирається як контрольна клітина і виступає центром скануючого вікна. Саме контрольна клітина піддається аналізу на належність її шуму. При цьому визначається кількість сусідніх шумових клітин. Розглянемо умови, які визначають належність клітини (пікселя) шуму.

Якщо клітина фіксує шум і не є сусідньою для інших клітин шуму, то повинна виконуватись така умова

$$b_0 = (\overline{X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee X_7 \vee X_8}) \wedge X_0 \vee (X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge X_5 \wedge X_6 \wedge X_7 \wedge X_8) \wedge \overline{X_0} = 1 \quad (1)$$

Вираз (1) реалізується для бінаризованих клітин скануючого вікна. Бінаризація клітин здійснюється шляхом колірної обробки та порогової обробки по яскравості. Кожному кольору визначається порог по яскравості. Якщо яскравість клітини не перевищує поріг, то клітина кодується логічним «0», а якщо перевищує, то логічною «1».

У випадку наявності клітин шуму, які розташовані у найближчому сусідстві, умова (1) не виконується і проводиться аналіз клітин вікна наступного (3-го) порядку по даній моделі

$$b_0^1 = \left(\bigvee_{i=9}^{24} X_i \right) \wedge X_0 \vee \left(\bigwedge_{i=9}^{24} X_i \right) \wedge \overline{X_0} = 1 \quad (2)$$

Таким чином, визначення клітин шуму, які утворюють шум в межах скануючого вікна 3×3 здійснюється за умовою (2). Обмежимося скануючим вікном розмірами 5×5 пікселів, оскільки більше групування пікселів може відображати корисну інформацію, що може призвести до реального спотворення нешумових пікселів.

Використовуючи даний метод на основі визначеного скануючого вікна дозволяє визначити та зафіксувати послідовність шумових пікселів, яка запам'ятовується і у подальшому піддається врахуванню для алгоритму розподілу бітів впроваджуваного повідомлення.

Кількість шумових пікселів у процентному співвідношенні може регулюватись спеціально розробленими програмно-апаратними засобами. Крім того, аналізуючи початкове зображення по розподілу кольорів, можна також наперед визначати пікселі, на які накладаються шумові спотворення.

Висновки. Запропонований метод використовує контейнери у вигляді файлів зображень, які піддаються спотворенням шуму типу сіль та перець. Таке спотворення контейнерів дозволяє збільшити об'єм повідомлення, що впроваджується,

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

який залежить від відсотку шумових пікселів, присутніх на зображенні. Даний метод потребує додаткових операцій та засобів їхньої реалізації, які націлені на аналіз зображення для пошуку шумових пікселів. Такі операції застосовуються як на приймальній, так і на передавальній частинах системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романец Ю. В., Тимофеев П. А., Шаньгин В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2001. – 376 с.
2. Грайворонський М. В., Новіков О. М. Безпека інформаційно-комунікаційних систем. – К.: Видавнича група ВНУ, 2009. – 608 с.
3. Андрончик А. Н. Защита информации в компьютерных сетях. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 248 с.
4. Рябко Б. Я., Фионов А. Н. Основы современной криптографии и стеганографии. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 232 с.
5. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
6. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
7. Shilpa Gupta, Geeta Gujral and Neha Aggarwal. Enhanced Least Significant Bit algorithm For Image Steganography.// IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management, Vol. 15 Issue 4, July 2012 – P. 40 – 42.
8. K.B.Raja, C. R.Chowdary, Venugopal K. R., and L. M. Patnaik,» A Secure Image Steganography using LSB, DCT and Compression Techniques on Raw Images» Department of Computer Science Engineering, Bangalore 2005 IEEE.
9. V. Lokeswara Reddy, Dr. A. Subramanyam, Dr. P. Chenna Reddy, «Implementation of LSB Steganography and its Evaluation for Various File Formats», Int. J. Advanced Networking and Applications 868 Volume: 02, Issue: 05, – 2011. – P. 868 – 872.

Stepan M. Bilan, PhD (Technical Sciences), Professor
(Professor Telecommunication Technology and Automation Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)
Oleksandr O. Kolochun
(Student of State University for Transport Economy and Technologies)

METHOD OF STEGANOGRAPHIC CONCEALING INFORMATION BASED ON MODIFIED CONTAINERS

This paper the method considers and investigated for steganography protect information based on containers that are filed image files. To increase the volume of the message that is being introduced into the container, the image lends itself to noise distortions of salt and pepper. Message bits embedded in the least significant bits of bytes of image code, and pixels that are corrupted by noise, take root into several bits, depending on the chosen threshold luminance. To implement steganographic protection are introduced additional operations that define the noise pixels by using a scanning window of specified sizes. The cells of the scanning window are encoded in a predetermined manner and their values are entered in the appropriate model for determining the membership of the cell noise. As a result of the scanning, sequence formed by cells that belong to noise. This sequence is taken into

account in the implementation of the encryption algorithm and implementation of message bits into bytes of noise pixels. At every pixel, which encodes the noise may be recorded several pixels messages that do not affect the overall contrast of the original image. The proposed method uses a container in the form of image files, which are amenable to noise distortions such as and salt and pepper. This distortion of containers can increase the volume of messages that is being implemented. This volume depends on the percentage of pixels of noise that are present in the image. This method needs the additional operations and their means of implementation that focus on the analysis of the image to search for noise pixels. Such operations are used as at the receiver and at the transmitting portions of the system.

Keywords: image, pixel noise, steganography.

REFERENCES

1. Romanetc U. V., Tymofeyev P. A., Shanygyn V. F. Zashita informaciy v kompyuternih sysyemah I setyah.[Protection of information in computer systems and networks]. 2 izd. Pererab. I dopoln. – Moscow.: Radio I svyazy, 2001. – 376 p.
2. Grayvoronsky M. V., Novikov O. M. Bezpeka informaciyno-komunikacynih system.[Security of Information and Communication Systems]. – Kiev: Vydavnycha grupa VHU, 2009. – 608 p.
3. Andronchik A. N. Zashita informaciy v kompyuternih setyah.[Protection of information in computer networks].– Ekaterinburg: UGTU-UPY, 2008. – 248 p.
4. Ryabko B. Ya., Fionov A. N. Osnovi sovremennoy kriptografii b steganografii. [Foundations of modern cryptography and steganography]. – 2-ye izd. –M.: Goryachaya liniya-Telecom, 2013.– 232 p.
5. Konahovich G. F., Puzirenko A. U. Kompyuternaya steganografiya. Teoriya I praktika.[Computer steganography. Theory and practice.]. – K.: MK-Press, 2006 – 288 p.
6. Gribunin V. G., Okov I. N., Turincev I. V. Cifrovaya steganografya. [Digital steganography]. – M.: Solon-Press, 2002. – 272 p.
7. Shilpa Gupta, Geeta Gujral and Neha Aggarwal. Enhanced Least Significant Bit algorithm For Image Steganography.// IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management, Vol. 15 Issue 4, July 2012 – P. 40-42.
8. K. B. Raja, C. R. Chowdary, Venugopal K. R., and L. M. Patnaik,» A Secure Image Steganography using LSB, DCT and Compression Techniques on Raw Images» Department of Computer Science Engineering, Bangalore 2005, IEEE.
9. V. Lokeswara Reddy, Dr. A. Subramanyam, Dr. P. Chenna Reddy. «Implementation of LSB Steganography and its Evaluation for Various File Formats», Int. J. Advanced Networking and Applications 868 Volume: 02, Issue: 05, – 2011. – P. 868 – 872.

О. І. Колосовський

(студент Державного економіко-технологічного університету
транспортного, м. Київ)

**МЕТОД ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РУХОМИМИ
ОБ'ЄКТАМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗСУВУ
ДЛЯ МАТРИЧНИХ ДИСКРЕТНИХ СТРУКТУР**

У роботі розглядається та досліджується модифікований метод ефективного стеження за траєкторією руху зображення об'єкта. Для цього використовується технологія паралельного зсуву копії зображення, яка дозволяє підвищити швидкодію. Метод, що пропонується, також ґрунтується на методі оцінки шістьох проекцій на основі перетворення Радона, який дозволяє визначити рухому частину зображення. Метод дозволяє визначити рухомі частини, враховуючи ті клітини, які не змінили власний стан у сусідніх кадрах.

Ключові слова: рухоме зображення, клітинний автомат, функція перетину площин, перетворення Радона.

В работе рассматривается и исследуется модифицированный метод эффективного слежения за траекторией движения изображения объекта. Для этого используется технология параллельного сдвига копии изображения, которая позволяет повысить быстродействие. Предлагаемый метод также основан на методе оценки шести проекций на основе преобразования Радона, который позволяет определить подвижную часть изображения. Метод позволяет определить подвижные части, учитывая те клетки, которые не изменили собственное состояние в соседних кадрах.

Ключевые слова: перемещаемое изображение, клеточный автомат, функция пересечения плоскостей, преобразование Радона.

Вступ. На теперішній час існує ціла низка задач на залізничному транспорті, які пов'язані з реалізацією надійної ідентифікації рухомих об'єктів. Автоматизація даного процесу потребує високої швидкодії обробки зорових сцен, яка задовольняє умовам реального часу. У сучасних умовах розвитку електронних та інформаційних технологій використовується ціла низка систем відеоспостереження, які ґрунтуються на застосуванні відеодетекторів та засобах обробки відеоданих [1 – 8].

Існуючі відеокамери характеризуються обмеженими часовими характеристиками перетворення та введення зображень в обчислювальну систему. Тому, для підвищення швидкодії, використовуються розпаралелені алгоритми обробки отриманих відеосигналів. Для реалізації таких алгоритмів використовуються різноманітні апаратні засоби, які реалізують побудову штучних нейромереж [9] та матричних дискретних структур [7, 10 – 14].

© Колосовський О. І., 2014

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Матричні дискретні структури реалізують паралельні алгоритми при виконанні операцій попередньої обробки та опису зображень.

Постановка задачі. Сучасні матричні дискретні структури реалізують операції попередньої обробки зображень для виділення необхідного набору характеристикних ознак. При цьому визначення та виділення кожної ознаки потребує спеціальних операцій, що в сукупності призводить до отримання великої кількості алгоритмів та апаратних засобів.

Для усунення такого недоліку в роботі ставиться задача проведення аналізу крайових проекцій зображення об'єкта та його площі, що значно зменшує кількість операцій та характеристикних ознак, а також підвищує швидкість системи.

Сучасні методи ідентифікації рухомих об'єктів. У сучасних умовах на залізницях світу використовуються різноманітні засоби ідентифікації та відеоспостереження на залізничному транспорті. До них належать системи:

- «КАУ-В» (Україна);
- АПК «ARSCIS.CargoAccount» (Росія);
- Axis Communications (Швеція);
- АСУДД «Агат» (республіка Білорусь).

Також ціла низка систем ідентифікації описана у багатьох літературних джерелах [15 – 21]. В усіх таких системах використовувалась обробка кадрів програмними засобами. В кожній системі сама реалізація обчислень мала різні підходи. Порівняльний аналіз таких систем свідчить, що найкращі результати по швидкодії отримала система, що реалізована на ПЛІС [22]. Одним з останніх досягнень по реалізації системи ідентифікації рухомих об'єктів залізничного транспорту є застосування клітинних автоматів (КА) з гексагональним покриттям [7, 23, 24]. Даний метод реалізує шість проекцій перетворення Радона, що дозволило сформувати цілий набір характеристикних ознак, який є оптимальним для ефективною ідентифікації.

Крім того, перспективним методом ідентифікації та детектування рухомих об'єктів, є метод, що ґрунтується на використанні технологій паралельного зсуву та множинних перетворень [25 – 27]. Згідно з даним методом здійснюються зсув копії зображення рухомого об'єкта і отримують функцію перетину площин (ФПП). Аналізуючи отриману ФПП, визначають напрямок руху. Збільшення кількостей ФПП по додаткових напрямках підвищує точність ідентифікації.

Система ідентифікації траєкторії руху об'єктів на основі перетворення Радона та визначення функції перетину площин. Для реалізації алгоритму ідентифікації траєкторії руху об'єкта пропонується використовувати метод, який реалізує поєднання двох описаних методів, що базуються на перетворенні Радона та визначенні ФПП. Даний метод реалізується на матричних дискретних середовищах з різними формами подання.

Як правило більшість методів ґрунтується на методі різниці кадрів [9]. Даний метод реалізує попиксельне порівняння двох послідовних кадрів відеопослідовності. Клітини, в кодах яких відбуваються зміни, відносять до тих клітин, які фіксують рух об'єкту. Але даний метод не дає можливості визначити усю область, що рухається.

Для покращення показників системи в роботі пропонується об'єднати обидва описаних методи. Метод, що ґрунтується на аналізі ФПП, дозволяє визначити напрямок траєкторії руху, а метод, що використовує перетворення Радона у КА з гексагональним покриттям, використовується для оцінки рухомої області.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Оцінка траєкторії руху об'єкт, шляхом аналізу ФПП, здійснюється отриманням ФПП в чотирьох напрямках та їх порівняння. Кожний напрямок подається відповідним індексом. Для аналізу руху отримують спочатку циклічну ФПП (рис. 1) для нерухомого об'єкта.

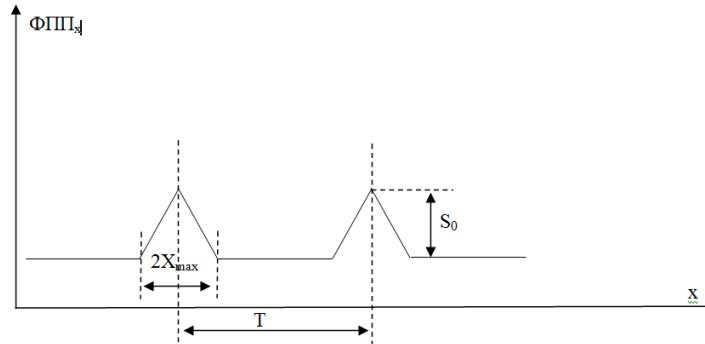


Рис. 1. Схематичне зображення циклічної ФПП

Згідно з отриманою ФПП оцінюються такі її параметри:

T – період повторення піків, які характеризують зміну ФПП при реалізації зсуву копії;

$2X_{max}$ – ширина сплеску ФПП, або ділянка, що відповідає ненульовому перетину у горизонтальному напрямку;

S_0 – максимальна амплітуда ФПП.

Для стаціонарних об'єктів описані параметри незмінні. У разі руху об'єкта дані параметри будуть змінюватись (можливо не всі одночасно) залежно від напрямку руху. Кожна зміна одного з параметрів указує напрямок руху.

Для визначення клітин, що зафіксували рух і складають площу (область) зорової сцени, яка рухається, використовується модифікований метод, що реалізований на КА з гексагональним покриттям [7, 22]. Даний метод дозволяє визначити шість проекцій, по структурі яких здійснюється визначення області, що рухається.

За відомим методом різниці кадрів складності викликають бінарні зображення. Це пов'язане з тим, що в бінарних зображеннях, які займають деяку площу клітин, клітини зсередини рухомої області не детектують рух. З цих позицій, для визначення внутрішніх рухомих клітин бінарного зображення, ефективно проводиться аналіз усіх проекцій в шістьох напрямках. Приклад руху бінарного зображення по горизонталі подано на рис. 2.

На рис. 2 зображено як сформовано проекції в шістьох напрямках. Постійність проекцій у горизонтальних напрямках, а також переміщення в інших напрямках однакових форм проекцій указує рухому область, яка окреслена пунктирними лініями.

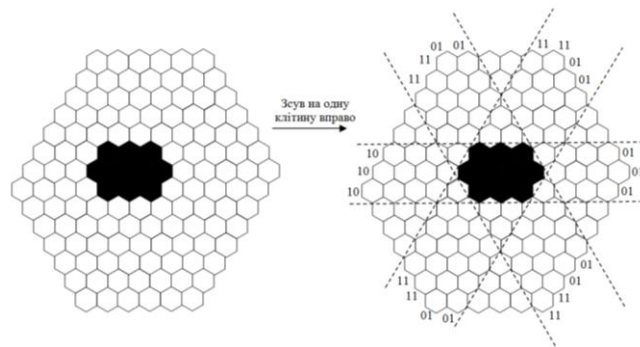


Рис. 2. Приклад формування проєкцій рухомого бінарного об'єкта

Кодування 11 указує на незмінність стану клітин, що проєктуються у відповідних напрямках. Код 10 показує перехід клітин з одиничного стану у нульовий, а 01 – перехід клітини з нульового стану в одиничний.

Також ситуація відбувається і для багатоградаційних зображень. Але для таких зображень проєкції будуються кодами та різницями кодів у різні показрові моменти часу. Області, окреслені сигналізуючими клітинами по отриманих проєкціях, указують рухомі частини об'єкта. Якщо об'єкт не рухається, а клітини змінюють власний стан, то по проєкціях визначається область, в якій змінюються характеристики кольору та яскравості.

Застосування технології паралельного зсуву дозволяє визначати напрямок руху об'єкта незалежно від форми покриття матричного середовища в реальному часі. При цьому даний метод не дозволяє точно та швидко визначити форму траєкторії.

Ефективне визначення області, що рухається, дає можливість використання гексагонального покриття. Але даний метод, для його реалізації, потребує додаткових апаратних витрат, а також додаткових обчислень.

Після визначення траєкторії руху та області, що рухається по даній траєкторії, система проводить попередню обробку отриманого зображення. Така обробка націлена на виділення характеристичних ознак, які формують загальний опис зображення рухомої області. Вибір та виділення характеристичних ознак, а також методи, що для цього використовуються, здійснюються на основі КА. Такі методи вже розроблені для різних форм покриття. Зображення в кожному кадрі фіксується та піддається обробці, а потім порівнюються отримані результати. Якщо схожість зображень не виходить за межі заданих значень по кожній характеристичній ознаці та по їх сполученням, то зображення визначається як достовірно ідентифіковане. Такий підхід дозволяє підвищити точність ідентифікації.

Висновки. Поєднання методів, які ґрунтуються на технології паралельного зсуву на матричних клітинних структурах з гексагональним покриттям та методів детектування руху на основі перетворення Радона, дозволило підвищити швидкодію та точність відстежування траєкторії руху об'єкта. Використання аналізу шістьох проєкцій перетворення Радону та їх спеціального кодування дозволило підвищити точність визначення рухомої області в її динаміці руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Путятин Е. П., Аверин С. И.* Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. *Артюхин Б. Н. и др.* Телевизионная техника: справочник. /Под общ. ред. Ю. Б. Зубарева, Г. Л. Глорионова. – М.: Радио и связь, 1994. – 312 с.
3. *Попов А.* Комплексы компьютерной обработки в системах видеоконтроля// <http://ttdaily.sec.ru>.
4. *Руцков М.* Видеодетекторы – взгляд изнутри (Ч. 2. Практическая плоскость) // <http://wdaily.sec.ni>.
5. *Петраков А. В.* Телевидение предельных возможностей (регистрация быстропротекающих процессов). – М.: Знание, 1991. – 62 с.
6. *Боян В.П.* Інформаційні і вимірювальні відеопроцесорні пристрої та області їх застосування // Наука та інновації. – 2005. –1, № 6. – С. 102 – 106.
7. *Білан С.М., Моторнюк Р.Л.* Системи супроводження рухомих об'єктів у реальному часі на основі клітинних технологій. //Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 18. –2011. – С. 5 – 13.
8. *Техническое зрение в системах управления мобильными объектами-2010.* // Труды научно-технической конференции-семинара. – Вип. 4 / Под ред. Р. Р. Назирова.– М.: КДУ, 2011.– 328 с.: табл., ил., ив. ил. ISBN 978-5-98227-794-7.
9. *Круглов В. В., Борисов В. В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.
10. *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.
11. *Торфолли Т., Марголюс Н.* Машины клеточных автоматов. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 280 с.
12. *С. Н. Белан* Специализированные клеточные структуры для контурного анализа изображений. // Кибернетика и системный анализ – №5. – 2011. – С. 33 – 44.
13. *Аладьев В.З.* Классические однородные структуры. Теория и приложения / В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба. – Гродно: ГрГУ, 2008. – 486 с.
14. *Евреинов Э.В.* Однородные вычислительные структуры и среды. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
15. *Васин Н. Н., Баранов А. М.* Обработка видеосигналов для идентификации объектов на железнодорожном переезде // Компьютерная оптика. – 2005. – Выпуск 28. – С. 152 – 155.
16. *Hiroaki Niitsiima, Tsutomu Maruyama.* Real-Time Detection of Moving Objects // FPL 2004, LNCS 3203, pp. 1155 – 1157. – ISSN 0302-9743, ISBN 3-540-22989-2.
17. *Hiroaki Niitsuma, Tsutomu Maruyama.* Real-Time Generation Of Three-Dimensional Motion Fields // FPL 2005: pp. 179-184. – ISBN 0-7803-9362-7.
18. *Ashit Talukder, Larry Maithies.* Real-time Detection of Moving Objects from Moving Vehicles using Dense Stereo and Optical Flow // Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). 3718 – 3725 vol.4.
19. *Nan Lu, Jihong Wang, Q.H. Wu, Li Yang* An Improved Motion Detection Method for Real-Time Surveillance // IAENG International Journal of Computer Science, 35:1, IJCS_35_1_16, – ISSN: 1819-9224 (online version); 1819-656X (print version).
20. *Sedat Doğan, Mahir Serhan, Temiz Sıtkı Külür* Real Time Speed Estimation of Moving Vehicles from Side View Images from an Uncalibrated Video Camera // Sensors 2010, 10, pp. 4805-4824. – ISSN 1424-8220.
21. *Chunrong Yuan, Hanspeter A. Mallot* Real-Time Detection of Moving Obstacles from Mobile Platforms // ICRA10 Workshop on Robotics and Intelligent Transportation System. – pp. 109 – 113.
22. *Моторнюк Р.Л.* Методи комп'ютерної ідентифікації зображень рухомих об'єктів на основі клітинних автоматів з гексагональним покриттям./ Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К., 2013. – 199 с.
23. *Белан С. Н, Моторнюк Р. Л.* Выделение характеристических признаков изображений с помощью преобразования Радона и возможность его аппаратной реализации в клеточных автоматах // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – № 1. – С. 11 – 19.
24. *Білан С.М., Моторнюк Р.Л.* Система ідентифікації вантажних вагонів по номерах на основі клітинних технологій. // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – № 17. – с. 183 – 188.

25. Білан С.М., Южаков С.В. Метод розпізнавання зображень, що оснований на процесі паралельного зсуву для систем ідентифікації об'єктів на залізничних переїздах // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології» – Вип. 13. – 2008. – С. 216 – 226.

26. Belan Stepan & Yuzhakov Sergey A Homogenous Parameter Set for Image Recognition Based on Area // Computer and Information Science, Published by Canadian Center of Science and Education. – Vol. 6, No 2, 2013. – pp.93 – 102. – doi:10.5539/cis.v6n2p93.

27. Belan Stepan & Yuzhakov Sergey Machine Vision System Based on the Parallel Shift Technology and Multiple Image Analysis // Computer and Information Science, Published by Canadian Center of Science and Education. – Vol. 6, № 4, 2013. – pp.115 – 124. – doi:10.5539/cis.v6n4p115.

28. Orten B., Alalan A., Moving Object Identification and Event Recognition in Video Surveillance Systems. // Ms. Thesis, Electric and Electronic Department. METU. – 2005 – 73 p.

Oleksandr I. Kolosovsky

(student of State University for Transport Economy and Technologies)

METHOD OF VIDEO SURVEILLANCE MOVING OBJECTS BASED ON TECHNOLOGY PARALLEL SHEAR FOR MATRIX DISCRETE STRUCTURES

This paper considers and investigates a modified method of effective tracking of the trajectory of the object image. This paper is put the problem of analyzing the boundary projection image of an object and its area, which significantly reduces the number of operations and characteristic features, and improves system performance. It uses the technology of parallel shift of the image, which can improve performance. The method that is proposed is also based on the method of evaluating the six projections based on Radon transform, which allows to determine the moving part of the image. To determine the cells that make up the movement and recorded area of the visual scene that moves, using a modified method is implemented on the cellular automata with hexagonal coverage. This method allows to determine the six projections on which the determination of the structure of the field that moves. The method allows to determine the moving parts considering those cells that do not change their own state in neighboring frames.

Keywords: move images, cellular automaton, the function of intersection of the area, the Radon transform.

REFERENCES

1. E. P. Putyatin, S. I. Averin. Obrabotka izobrazheniy v robototekhnike. [Image Processing in Robotics]. – Moscow: Mashinostroyeniye, 1990. – 320 p.

2. Artuhin B.N. at all. Televizionnaya tekhnika: spravochnik.[Television technology: a guide.] Pod obsh. Ped. U. B. Zubareva, G. L. Glorionova.– Moscow, Radio i svyazy, 1994. – 312 p.

3. Popov A. Kompleksy komputernoy obrabotki v sistemah videokontrolya.[Complexes of computer processing of video control systems.]–<http://tdaily.sec.ru>.

4. Ruckov M. Videodetektory – vzglyad iznutry (chasty vtoraya – prakticheskaya ploskosty)[Video detectors – a view from the inside (part two -practically plane)] // <http://Wdaily.sec.ni>.

5. Petrakov A. V. Televideniye predelynih vozmozhnostey (registraciya bistroprotekaushih processov)[Television limiting possibilities (registration fast processes)].– Moscow, Znaniye. – 1991. – 62 p.

6. Boun V.P. Informatsiyni i vimiryuvalny videoprocesorny prystroy ta oblasti yh zastosuvannya.[Information and measuring video processor device and their applications] // Nauka ta innovatsiy, 2005. – 1. №6. – P. 102 – 106.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. Bilan S. M., Motornyuk R. L. Systemi suprovodzhennya ruhomih ob'ektiv u realnomu chasy na osnovi rlinnyh technology.[Systems accompaniment moving objects in real time based on cellular technologies.] // Zbirnyk naukovih praci DETUT. – Vip. 18. – 2001. – P. 5 – 13.
 8. *Technicheskoye zreniye v systemah upravleniya mobilnymi ob'ektamy* – 2010.[Machine vision systems in managing mobile objects 2010] Trudy nauchno-tihnycheskoy konferencyi-seminara. Vip. 4 / Pod red. R.R. Nazyrova.-Moscow: KDU, 2011. – 328 p.
 9. Kruglov V. V., Borysov V. V. Isskustvennye neyronnye sety. Teoriya i praktika.[Artificial neural networks. Theory and practice.]. – Moscow: Goryachaya liniya-Telecom-2001. – 382 p.
 10. *Fon Neyman Dzh.* Teoriya samovosproizvodyashihysyaavtomatov.[Theory of self-reproducing automata] Per. S angl. – Moscow: Mir, 1971. V oryginale. von Neumann J. Theory of Self-Reproducing Automata: Edited and completed by A. Burks. – University of Illinois Press, 1966.
 11. *Toffoly T., Margolus N.* Mashiny kletochnih avtomatov.[Machines cellular automata] Per. S angl.-Moscow: Mir, 1991. – 280 p.
 12. Belan, S. Specialized cellular structures for image contour analysis. Cybernetics and Systems Analysis 47(5), P. 695 – 704 (2011), doi: 10.1007/s10559-011-9349-8.
 13. Aladyev V. Z. Klassycheskiye odnorodnye struktury. Teoriya i prylizonya.[Classical homogeneous structure. Theory and Applications] / V.Z. Aladyev, V.K. Boyko, E.A. Rovba. – Grodno: GrGU, 2008. – 486 p.
 14. *Evreinov E. V.* Odnorodnye vichyslytelnyye struktury i sredy.[Homogeneous computing structure and environment].-Moscow: Radio isvyazy-1986. – 304 p.
 15. *Vasyn N. N., Baranov A.M.* Obrabotka videosygnalov dlya identifikatsiy ob'ektov na zeleznodorozhnom pereyезде. [Video processing to identify objects at a railway crossing]//Kompyuternaya optyka, 2005. Vipusk 28. – P. 152 – 155.
 16. *Hiroaki Niitsiima, Tsutomu Maruyama.* Real-Time Detection of Moving Objects // FPL 2004, LNCS 3203, pp. 1155-1157. – ISSN 0302-9743, ISBN 3-540-22989-2.
 17. *Hiroaki Niitsuma, Tsutomu Maruyama.* Real-Time Generation Of Three-Dimensional Motion Fields // FPL 2005: pp. 179 – 184 – ISBN 0-7803-9362-7.
 18. *Ashit Talukder, Larry Maithies.* Real-time Detection of Moving Objects from Moving Vehicles using Dense Stereo and Optical Flow // Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). 3718 – 3725 vol. 4.
 19. *Nan Lu, Jihong Wang, Q. H. Wu, Li Yang* An Improved Motion Detection Method for Real-Time Surveillance // IAENG International Journal of Computer Science, 35:1, IJCS_35_1_16, – ISSN: 1819-9224 (online version); 1819-656X (print version).
 20. *Sedat Doğan, Mahir Serhan, Temiz Sıtkı Külür* Real Time Speed Estimation of Moving Vehicles from Side View Images from an Uncalibrated Video Camera // Sensors 2010, 10, pp. 4805-4824, – ISSN 1424-8220.
 21. *Chunrong Yuan, Hanspeter A. Mallot* Real-Time Detection of Moving Obstacles from Mobile Platforms // ICRA10 Workshop on Robotics and Intelligent Transportation System. – pp. 109 – 113.
 22. *Motornyuk R.L.* Metody kompyuternoy identifikatsiy zobrazeny ruhomih ob'ektiv na osnovi klitynyh avtmativ z geksgonalnym pokryttyam.[Methods for computer identification of images of moving objects based on cellular automata with hexagonal coverage]/ Dyssertatsiya na zdobuttya stupenya kandydata tehnychnih nauk. – Kiev, 2013. – 199 p.
 23. *S. N. Belan, R. L. Motornyuk.* Extraction of characteristic features of images with the help of the radon transform and its hardware implementation in terms of cellular automata. Cybernetics and Systems Analysis. – Volume 49, Issue 1. – P. 7-14 (2013), doi: 10.1007/s10559-013-9479-2.
 24. *Bilan S. M., Motornyuk R. L.,* Systema identifikatsiy vantaznih vagoniv po nomerah na osnovy klitynyh technology.[System identification of freight cars on the numbers based on cellular technology]/ Zbirnyk naukovih precy Derzavnogo ekonomiko-tehnologichnogo unyversytetu transportu. – 2010. – № 17. – P. 183-188.
 25. *Bilan S. M., Yuzhakov S. V.* Metod rozpiznavanya zobrazeny, sho osnovany na procesy paralelnogo zsvu dlya system identyfikatsiy ob'ektyv na zaliznychnykh pereyizdah.[Method of image recognition, which is based on a process parallel to the shift of identifying objects at level crossings]// Zbirnyk naukovih precy Derzavnogo ekonomiko-tehnologichnogo unyversytetu transportu. – Vyp. 13. – 2008. – P. 216 – 226.
 26. *Belan Stepan & Yuzhakov Sergey* A Homogenous Parameter Set for Image Recognition Based on Area // Computer and Information Science, Published by Canadian Center of Science and Education. – Vol. 6. – № 2. – 2013. – pp. 93-102. – doi:10.5539/cis.v6n2p93.
 27. *Belan Stepan & Yuzhakov Sergey* Machine Vision System Based on the Parallel Shift Technology and Multiple Image Analysis // Computer and Information Science, Published by Canadian Center of Science and Education. – Vol. 6, No 4, 2013. – pp.115-124. – doi:10.5539/cis.v6n4p115.
 28. *Orten B., Alalan A.,* Moving Object Identification and Event Recognition in Video Surveillance Systems. // Ms. Thesis, Electric and Electronic Department. METU, 2005. – 73 p.
-

*А. А. Сулим (младший научный сотрудник, ГП «УкрНИИВ»)
А. С. Сиора (инженер III категории, ГП «УкрНИИВ»)
А. А. Мельник (ведущий инженер, ГП «УкрНИИВ»)
В. В. Федоров (младший научный сотрудник, ГП «УкрНИИВ»)*

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ЭНЕРГОЕМКОСТИ
НАКОПИТЕЛЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ
АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ
МЕТРОПОЛИТЕНА**

В статье рассмотрено специализированное программное обеспечение, которое позволяет автоматизировать расчеты необходимой энергоемкости накопителя при возникновении аварийных режимов в системе энергообеспечения метрополитена. Выполнены расчеты энергоемкости накопителя при заданных входных данных с использованием предложенного программного обеспечения.

Ключевые слова: аварийный режим, накопитель, программное обеспечение, интерфейс.

У статті розглянуто спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизувати розрахунки енергоємності накопичувача під час виникнення аварійних режимів в системі енергозабезпечення метрополітену. Виконані розрахунки енергоємності накопичувача при заданих вхідних даних з використанням запропонованого програмного забезпечення.

Ключові слова: аварійний режим, накопичувач, програмне забезпечення, інтерфейс.

Постановка проблемы. Метрополитен является наиболее экономичным и экологичным видом транспорта в городах-мегаполисах [1]. Кроме того, метрополитен имеет наибольшие перевозные возможности по сравнению с другими видами городского транспорта. Как следствие, к нему предъявляются особые требования с точки зрения электроснабжения и безопасности движения [2]. Однако, несмотря на то, что метрополитен является потребителем первой категории, в его системе тягового энергообеспечения (СТЭ) все же происходят аварийные режимы работы. Нередко при возникновении аварийных режимов в СТЭ приходится эвакуировать пассажиров из электропоезда метрополитена, находящегося в туннеле, что не является комфортным и безопасным для пассажиров. Эвакуация пассажиров может значительно усложниться при наличии инвалидов в вагонах электропоезда.

© Сулим А. А., Сиора А. С., Мельник А. А., Федоров В. В., 2014

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

В настоящее время электропоезда метрополитена оборудованы резервным источником питания – аккумуляторной батареей, которая обеспечивает питание системы освещения, вентиляции, безопасности движения, а также сигнальные фонари при отсутствии питания на контактном рельсе. Таким образом, резервный источник питания позволяет поддерживать работоспособность систем жизнеобеспечения и безопасности, однако не позволяет осуществить вывод электропоезда из туннеля до ближайшей станции. Возможность формирования силы тяги при возникновении аварийных режимов в СТЭ является актуальной задачей с точки зрения безопасной и комфортной эвакуации пассажиров.

Анализ последних исследований и публикаций. Из работ [1–3] известно, что применение емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) при возникновении аварийных режимов в СТЭ метрополитена позволит осуществить вывод электропоезда из туннеля до ближайшей станции. Также известно, что ЕНЭ могут устанавливаться на стороне переменного тока перед тяговой подстанцией (ТП), на выходе тяговой подстанции и непосредственно на электропоезде метрополитена [4]. Более эффективной при возникновении аварийных режимов в СТЭ метрополитена является установка ЕНЭ непосредственно на электропоезде метрополитена. При данной установке накопителя есть возможность движения электропоезда при возникновении аварии на различных участках СТЭ метрополитена до токобъемников электропоезда метрополитена включительно. Поэтому актуальным является дальнейшее развитие данного вопроса.

Одним из важных вопросов при возникновении аварийных режимов в СТЭ метрополитена является расчет энергоемкости накопителя с учетом реальных условий эксплуатации. К наиболее значимым условиям, которые влияют на необходимую величину энергоемкости накопителя, относят следующие: профиль пути, загрузка электропоезда, режим движения (ограничение максимальной скорости движения) [1, 3]. Проведенный анализ показал, что в работах других авторов решению этого вопроса уделено недостаточно внимания [3].

В работе [3] разработана методика, позволяющая выполнять расчеты необходимой энергоемкости накопителя при возникновении аварийных режимов в СТЭ метрополитена, включающая этапы вычислений, суть которых показана ниже.

Задаются оператором параметры, необходимые для расчета энергоемкости ЕНЭ при возникновении аварийного отключения питания в СТЭ метрополитена: в виде массива данных значения коэффициента задания силы тяги (торможения) ($k_{тяги1...N}$), ($k_{торм1...N}$), массива скорости движения ($V_{1...N}$); массива КПД тягового двигателя ($\eta_{ТД 1...N}$); в виде значений – масса электропоезда (m), ограничение скорости движения на перегоне (V_{max}), наибольший подъем (i_{max}), при наличии кривых на максимальном уклоне наименьший радиус кривой (R_{min}); КПД тяговой передачи ($\eta_{тр.}$, $\eta_{инв.}$, $\eta_{ред.}$), допустимое отклонение от длины спрямленных участков пути ($\pm \Delta L$), среднее, максимальное и минимальное напряжение на ЕНЭ ($U_{ен}$, $U_{енmax}$, $U_{енmin}$), минимальное ускорение на наибольшем подъеме (a_{min}), коэффициенты для расчета основного сопротивления движению (a , b , c), максимальное значение силы тяги (торможения) (F_{max} (B_{max})), коэффициент инерции вращающихся масс ($I+\gamma$).

Кроме того, задаются параметры профиля пути: общая длина перегона (S), количество участков (N), длина каждого участка ($L_{1...N}$), уклон каждого участка ($i_{1...N}$), наличие кривых на каждом из участков (да/нет), в случае наличия кривых на участке указывается их количество (k), для каждой из кривой – длина ($s_{кр1...N}$) и радиус ($R_{кр1...N}$).

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Рассчитывается основное сопротивление движению ЭПС для максимальной скорости по выражению:

$$W_{очн.} = (aV_{\max}^2 + bV_{\max} + c)9,81m. \quad (1)$$

Вычисляется дополнительное сопротивление движению ЭПС от наибольшего подъема по выражению [5, 6]:

$$W_i = 9,81mi_{\max}. \quad (2)$$

При наличии кривых на наибольшем уклоне рассчитывается дополнительное сопротивление движению электропоезда метрополитена от кривой с наименьшим радиусом по выражению [5, 6]:

$$W_r = \frac{700}{R}. \quad (3)$$

Проверяется условие: « $(F_{\max} > W_{очн.} + W_i + W_r)$?». Если условие выполняется, тогда рассчитывается ускорение при движении по наибольшему уклону с максимальной тягой. В противном случае необходимо вводить корректировку входных данных (увеличить максимальную силу тяги).

Выполняется расчет ускорения при движении по наибольшему уклону с максимальной тягой по выражению [3, 5, 6]:

$$a_i = \frac{F_{\max} - W_{очн.} - W_i - W_r}{m(1 + \gamma)}. \quad (4)$$

Проверяется условие « $(a_i > a_{\min})$?». Если условие выполняется, тогда рассчитывается среднее значение скорости и силы тяги (торможения).

$$\Delta F_{cp1...N} = \frac{(k_i F_{\max}(B_{\max}) + k_{i+1} F_{\max}(B_{\max}))}{2}, \quad (5)$$

$$\Delta V_{cp1...N} = \frac{(V_i + V_{i+1})}{2}. \quad (6)$$

В противном случае, необходимо вводить корректировку входных данных (увеличить максимальную силу тяги).

Расчет основного сопротивления движению ЭПС для средних скоростей определяется по выражению (1).

Выполняется подпрограмма спрямления профиля пути. Более подробно методика спрямления профиля пути изложена в работах [5, 6].

Выполняется расчет ускорения (замедления) по выражению [3, 5, 6]:

$$a_{cp1...N} = \frac{(F_{cp1...N}(B_{cp1...N}) - W_{очн1...N} \pm W_{i1...K})}{m(1 + \gamma)}, \quad (7)$$

где K – количество спрямленных участков.

Проверяется условие « $a_{cp1...N} = 0$?». Если условие выполняется, тогда оператором присваивается значение пройденного пути $\Delta s_{1...N}$. В противном случае выполняется расчет пройденного пути при изменении скорости, а также текущего пройденного пути по выражениям [3, 5, 6]:

$$\Delta s_{1...N} = \frac{m(1 + \gamma)(V_{i+1...N}^2 - V_{i...N}^2)}{25,92(F(B)_{cp1...N} - W_{очн1...N} \pm W_{i1...K})}; \quad (8)$$

$$s_i = s_{i-1} + \Delta s_i. \quad (9)$$

Проверяется условие « $(s_i < l_{i=1...K} \pm \Delta L)$ ». Если условие выполняется, тогда рассчитывается время движения, потребляемый ток, расход и удельный расход электроэнергии ЭПС. Затем расчет выполняется для следующего режима движения.

В противном случае проверяется условие « $(s_i > l_{i=1...K} \pm \Delta L)$ ». Если условие выполняется, тогда необходимо вводить корректировку входных данных (увеличить допустимое отклонение от длины спрямленных участков пути или изменить режим движения). В противном случае рассчитывается время движения, потребляемый ток, расход и удельный расход электроэнергии ЭПС. После выполнения расчетов для следующего режима движения изменяется участок пути и соответственно присваивается значение сопротивления от уклона следующего спрямленного участка пути. Выполняется расчет времени движения ЭПС при изменении скорости по одному из приведенных выражений [3, 5, 6]:

$$\Delta t_{1...N} = \frac{m(1+\gamma)(V_{i+1=1...N} - V_{i=1...N})}{3,6(F_{cp1...N} - W_{cp1...N} \pm W_{il...K})}; \quad (10)$$

$$\Delta t_{1...N} = \frac{(V_{i+1=1...N} - V_{i=1...N})}{3,6a_{cp1...N}}. \quad (11)$$

Выполняется расчет текущего времени в пути по выражению:

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i. \quad (12)$$

Рассчитываются средние значения мощности на ободах колес при изменении скорости по выражению:

$$P_{kmc1...N} = \frac{F_{cp1...N}(B_{cp1...N})\Delta V_{cp1...N}}{3,6}. \quad (13)$$

Осуществляется расчет средних значений токов потребления и рекуперации в накопитель по выражениям [3]:

$$\Delta I_{cp1...N} = \frac{1000 P_{kmc1...N}}{U_{en} \eta_{mp} \eta_{инв} \eta_{ТД} \eta_{ред.}}; \quad (14)$$

$$\Delta I_{cp1...N} = \frac{1000 P_{kmc1...N} \eta_{mp} \eta_{инв} \eta_{ТД} \eta_{ред.}}{U_{en}}. \quad (15)$$

Выполняется расчет расхода электроэнергии и удельных затрат по выражениям [3, 5, 6]:

$$A_{1...N} = \frac{\Delta I_{cp1...N} U_{en} \Delta t_{1...N}}{3,6 \cdot 10^6}; \quad (16)$$

$$a_{y\partial 1...N} = \frac{\Delta I_{cp1...N} U_{en} \Delta t_{1...N}}{3,6 m \Delta s_{1...N}}. \quad (17)$$

Выполняется расчет общего времени движения, среднего потребляемого тока в режимах тяги и рекуперации, расхода и удельного расхода электроэнергии в режимах тяги и рекуперации на заданном перегоне по выражениям [3]:

$$S = s_1 + s_2 + \dots + s_N; \quad (18)$$

$$t = t_1 + t_2 + \dots + t_N; \quad (19)$$

$$I_{ср.тяги(рек)} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta I_{ср_i} \cdot t_i; \quad (20)$$

$$A_{тяги(рек)} = A_1 + A_2 + \dots + A_N; \quad (21)$$

$$a_{уд.тяги(рек)} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N a_{уд_i} \cdot t_i. \quad (22)$$

Вычисляется необходимая энергоемкость накопителя при аварийном движении ЭПС по заданному профилю пути по выражению [7]:

$$C \geq \frac{7,2 \cdot 10^6 A}{U_{ен\max}^2 - U_{ен\min}^2} = \frac{2I_{\Sigma\text{ср}} U_{ен} t_{\Sigma}}{U_{ен\max}^2 - U_{ен\min}^2}. \quad (23)$$

Следует отметить, что данные расчеты трудоемкие, и их реализация в ручном режиме приводит к возникновению ошибок. Автоматизация расчетов позволит свести к минимуму количество ошибок, вызванных человеческим фактором, а также сократить время получения результатов.

Кроме того, расчеты необходимой энергоемкости ЕНЭ необходимо выполнять при различных изменяющихся условиях: расстояние между станциями, профиль пути, режим движения электропоезда метрополитена. Как следствие, необходимо проводить отдельно расчеты при изменении этих условий. Таким образом, для многократного выполнения расчетов актуальным является их автоматизация.

Цель статьи – разработка программного обеспечения для автоматизации расчетов необходимой энергоемкости ЕНЭ для обеспечения вывода электропоезда из туннеля при возникновении аварийных режимов в СТЭ метрополитена.

Изложения основного материала исследования. В условиях ГП «УкрНИИВ» для автоматизации расчетов необходимой энергоемкости ЕНЭ разработана программа «Аварийный режим», которая включает в себя подпрограмму «Спрявление». Подпрограмма «Спрявление» позволяет упростить расчеты и сгладить изменение сил дополнительного сопротивления движению при переходе из одного профиля пути на другой. Суть спрявления пути заключается в замене заданного профиля на эквивалентный, который имеет меньшее количество участков пути и в котором кривые заменены на фиктивные уклоны.

Программы разработаны в среде графического программирования LabVIEW, главными преимуществами которой являются: возможность реализации алгоритмов высокого уровня сложности, наглядность и простота реализации, наличие удобного графического интерфейса.

Внешний вид графических интерфейсов оператора подпрограммы «Спрявление» и программы «Аварийный режим», представлены на рис. 1 – 2.

Интерфейс оператора подпрограммы «Спрявление» состоит из цифровых регуляторов и индикаторов, объединенных в условные группы по логическому

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

содержанию. Так можно выделить блок задания профиля пути 1, блок спрямленного профиля пути 2, блок отображения заданного и спрямленного профиля пути 3.

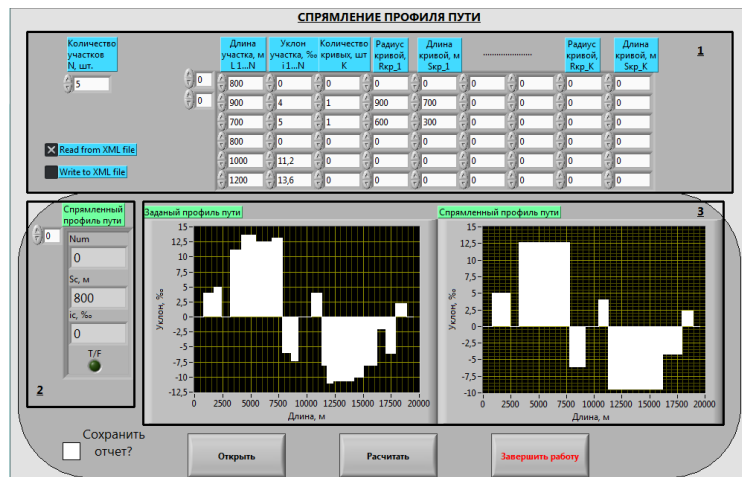
В блоке 1 задаются следующие показатели: N ; $L_{1...N}$; $i_{1...N}$; k ; $s_{кр1...k}$; $R_{кр1...k}$.

Профиль пути задается в ручном или автоматизированном режиме. При задании в ручном режиме в окне «Read from XML file» флаг не устанавливается. После ввода профиля пути имеется возможность сохранить эти данные путем установки флага в окне «Write to XML file». Для задания профиля пути в автоматизированном режиме необходимо установить флаг в окне «Read from XML file», после чего выбрать ранее сохраненный файл с расширением *.xml. Реализованные функции считывания и записи позволяют сократить время ввода заданного профиля пути.

В блоке 2 выводятся результаты эквивалентного спрямленного профиля пути в виде таблицы.

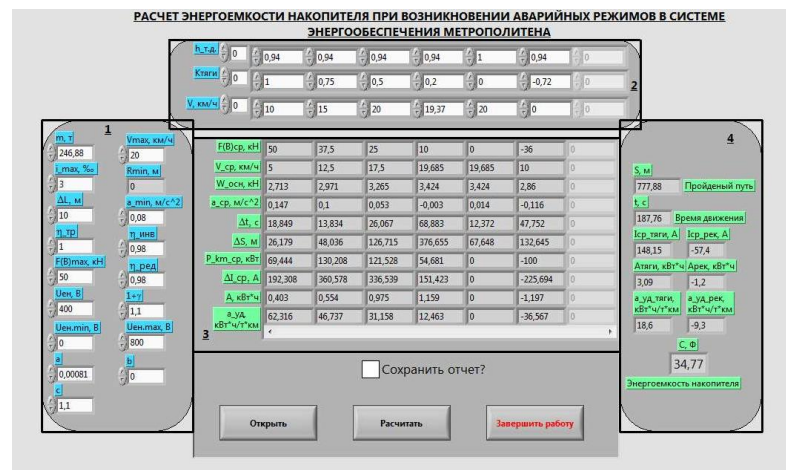
В блоке 3 отображаются заданный и спрямленный профиль пути в виде диаграмм, на которых изображены уклоны и их длины на перегоне.

Интерфейс оператора программы «Аварийный режим» состоит из набора цифровых регуляторов для ввода параметров расчета и индикаторов для отображения результатов расчета. Элементы интерфейса сгруппированы по логическому содержанию, объединенные в следующие группы: блок входных параметров 1, массив входных значений 2, массив промежуточных вычислений 3, блок выходных параметров 4.



**Рис. 1. Внешний вид графического интерфейса подпрограммы
«Спрямление»**

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ



**Рис. 2. Внешний вид графического интерфейса программы
«Аварийный режим»**

В блоке входных параметров 1 задаются следующие показатели: m ; $V_{\max}$; $i_{\max}$; $R_{\min}$ (при наличии кривой на максимальном уклоне); $\pm \Delta L$; $a_{\min}$; $\eta_{\text{тр.}}$, $\eta_{\text{инв.}}$, $\eta_{\text{ред.}}$; $F_{\max}$ ($B_{\max}$); $(1+\gamma)$; $U_{\text{ен}}$, $U_{\text{енmax}}$, $U_{\text{енmin}}$; a , b , c .

В массиве входных значений 2 задаются следующие показатели: $k_{\text{тяги}1 \dots N}$ ($k_{\text{горм}1 \dots N}$); $V_{1 \dots N}$; $\eta_{\text{ТД}1 \dots N}$.

Массив промежуточных вычислений 3 содержит результаты расчетов следующих показателей при изменении режима движения электропоезда: $F_{\text{cp}1 \dots N}$ ($B_{\text{cp}1 \dots N}$); $\Delta V_{\text{cp}1 \dots N}$; $W_{\text{cp}1 \dots N}$; $a_{\text{cp}1 \dots N}$; $\Delta s_{1 \dots N}$; $\Delta t_{1 \dots N}$; $P_{\text{км}1 \dots N}$; $\Delta l_{1 \dots N}$; $A_{1 \dots N}$; $a_{\text{уд.}1 \dots N}$.

В блоке выходных параметров 4 выводятся результаты расчетов следующих показателей: S ; t ; $I_{\text{ср.тяги}}$; $I_{\text{ср.рек}}$; $A_{\text{тяги}}$; $A_{\text{рек}}$; $a_{\text{уд.ср.тяги}}$; $a_{\text{уд.ср.рек}}$; C .

Для выполнения расчетов в программах необходимо ввести либо изменить входные параметры, после чего нажать логический переключатель «Расчитать». Переключатели «Открыть» используются для открытия ранее сохраненных файлов данных. Результаты расчетов могут быть сохранены в формате MS Excel. Для сохранения результатов расчетов необходимо установить флаг в окне «Сохранить отчет?». Для завершения работы и выхода из программы необходимо нажать логический переключатель «Завершить работу».

Программы имеют максимально упрощенный графический интерфейс, что обеспечивает работу с ними оператора без специальной подготовки. Работа с программами организована таким образом, что оператор лишен возможности модифицировать программный код и алгоритм вычисления необходимых параметров.

В работе [3] в качестве примера выполнен расчет необходимой энергоемкости ЕНЭ при возникновении аварийного отключения питания в СТЭ метрополитена при следующих входных данных: $m=246,88$ т; $(1+\gamma)=1,1$; $V_{\max}=20$ км/час; $F_{\max}=50$ кН; $B_{\max}=50$ кН; $U_{\text{енmin}}=0$; $U_{\text{енmax}}=800$ В; $U_{\text{ен}}=400$ В; $\eta_{\text{тр.}}=0,94$; $\eta_{\text{инв.}}=0,98$; $\eta_{\text{ред.}}=0,98$; $i_{\max}=3$ ‰; $a_{\min}=0,08$ м/с²; $\Delta L=\pm 10$ м; $a=0,00081$; $b=0$; $c=1,1$.

Рассматриваемый профиль пути представлен на рис. 3. Общая длина участка до выезда из туннеля составляет 775 метров. Участок состоит из двух элементов: первый – длиной 577 метров (подъем 3 ‰) без наличия кривых; второй – длиной 198 метров (спуск 3 ‰) без наличия кривых.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Аналогичные входные данные использованы для расчетов в программе «Аварийный режим». Результаты выполненных расчетов приведены в табл. 1. Сравнительный анализ результатов, полученных в ручном режиме и в программе «Аварийный режим», приведен в табл. 2.

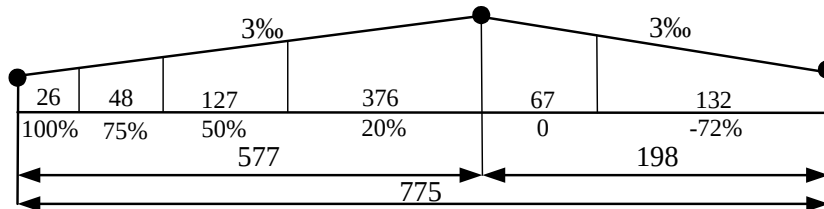


Рис. 3. Профиль пути, который необходимо преодолеть поезду метрополитена для выезда из туннеля

Анализ расчетов (табл. 1, 2) позволил установить, что для заданного режима движения электропоезда метрополитена и заданного профиля пути необходимая величина энергоемкости должна составлять не менее 34,8 Ф.

Таблица 1. Результаты расчета необходимой энергоемкости накопителя

Входные данные		Выходные данные									
$k_{тяги}, (k_{горм})$	$V, км/час$	$F_{ср}, кН$	$V_{ср}, км/час$	$W_{осн}, кН$	$a_{ср}, м/с^2$	$\Delta s, м$	$\Delta t, с$	$P_{кмср}, кВт$	$\Delta I_{ср}, А$	$A, кВт \cdot час$	$a_{уд.ср}, Вт \cdot час / т \cdot км$
1	0-10	50	5	2,71	0,147	26,2	18,8	69,4	192,3	0,4	62,3
0,75	10-15	37,5	12,5	2,97	0,100	48	13,8	130,2	360,6	0,55	46,7
0,5	15-20	25	17,5	3,27	0,053	126,7	26,3	121,5	336,5	0,98	31,2
0,2	20-19,37	10	19,7	3,42	$-3 \cdot 10^{-3}$	376,7	68,9	54,7	151,4	1,16	12,5
0	19,37-20	0	19,7	3,42	0,014	67,7	12,4	0	0	0	0
-0,72	20-0	-36	10,0	2,86	-0,116	132,7	47,8	-100	-225,7	-1,2	-36,6
Общие время движения и пройденный путь (s, t)						778	189				
Среднее значение тока, общее количество и среднее значение удельного количества потребляемой электроэнергии ($I_{ср}, A, a_{уд.ср}$)									148,2	3,09	18,6
Среднее значение тока, общее количество и среднее значение удельного количества электроэнергии, которое возвращается в накопитель при торможении ($I_{ср}, A, a_{уд.ср}$)									-57,4	-1,2	-9,3
Энергоемкость накопителя, Ф								34,8			

Таблица 2. Сравнительный анализ результатов

Выполнение расчета	Выходные и рассчитанные данные								
	$S, м$	$t, с$	$I_{ср.тяги}, А$	$I_{ср.рек}, А$	$A_{тяги}, кВт \cdot час$	$A_{рек}, кВт \cdot час$	$a_{уд.ср.тяги}, Вт \cdot час / т \cdot км$	$a_{уд.ср.рек}, Вт \cdot час / т \cdot км$	$C, Ф$
Ручной	776	189	149	-57	3,13	-1,21	18,7	-9,4	$\geq 35,2$
Программный	778	189	148,2	-57,4	3,09	-1,2	18,6	-9,3	$\geq 34,8$
Процентное отношение, %	0,3	0	0,5	0,7	1,3	0,8	0,5	1,1	1,1

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Висновки. Розроблено програмне забезпечення «Аварійний режим», яке дозволяє розрахувати необхідну енергоємність ЕНЗ при виникненні аварійних режимів в СТЗ метрополітена. Крім того, розроблена підпрограма «Спряmlення», дозволяюча спряmlяти заданий профіль шляху. Як результат, дана програма дозволяє значно скоротити час отримання результатів розрахунків.

Результати розрахунків, отримані в ручному режимі і в програмі «Аварійний режим» відрізняються не більше ніж на 1,3 %. Різниця, отримана в результатах розрахунків, є незначальною і обумовлена округленням при вирахуваннях, що свідчить про достовірність виконання розрахунків розробленою програмою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Донченко А.В. До питання витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену КП «Київський метрополітен» / А.В. Донченко, А.О. Сулим // Збірник наукових праць ДЕТУТ: «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2013. – Вип. № 22. – С. 5 – 8.
2. Шевлюгин М.В. Система накоплення енергії на вагоні метро для аварійного виводу поїзда з тунелю / М.В. Шевлюгин // Журнал «Наука і техніка транспорту». – Москва, 2006. – Вип. № 3. – С. 29 – 32.
3. Сулим А.А. Розрахунок енергоємності накопичувача при виникненні аварійних режимів в системі енергозабезпечення метрополітена / А.А. Сулим, А.І. Ломонос // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2013. – Вип. № 16 (205) 2013. – Ч. 2. – С. 219 – 225.
4. Сулим А.А. Обоснование места установки емкостных накопителей энергии в системах тягового электроснабжения метрополитена / А.А. Сулим // Научно-производственный журнал «Электромеханика и энергозберігаючі системи». – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013 (22). Ч. 2. – С. 282–285.
5. Осипов С.И. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д транспорта / С.И. Осипов, С.С. Осипов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.
6. Слепцов М.А. Основы электрического транспорта: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 464 с.
7. Щуров Н.И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н.И. Щуров, К.В. Щеглов, А.А. Штанг // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск, 2008. – Вип. № 1 (51). – С. 99 – 104.

Andriy A. Sulym

(junior researcher, SE «Ukrainian Research Car Building-Institute»)

SOFTWARE FOR CALCULATIONS AUTOMATION OF THE STORAGE DEVICE CAPACITY IF EMERGENCY OPERATIONS IN THE METRO SUPPLY SYSTEM OCCUR

The article considers the specialized software that allows you to automate the calculations necessary drive energy consumption in case of emergency regimes in power supply system underground. The calculations of the energy intensity of the drive at the given input data using the proposed software.

In the article it is proposed to use auxiliary supply source – a capacitive storage if emergency operations in the traction power system occur. It is determined that, an

important and topical issue is an automation of a storage device capacity taking into account field operating conditions of the metro, that are track profile, electric train load, traffic condition. A calculation methodology of the storage device capacity taking into account above mentioned conditions was given. Principle of the methodology is in checking of the electric train traffic condition on the greatest down grade with minimum acceleration, and in the storage capacity determination taking into account a specified track profile and traffic condition. Software for calculations automation of the necessary storage device capacity was developed based on the methodology. An operator interface of the developed program and its main blocks was considered. A calculation of the storage device capacity at a specified track profile and traffic condition was performed. A comparative analysis of calculations results, performed manually and using the software was represented. Conclusions were made according to software development results and comparative analysis of the calculations.

Keywords: emergency operation, storage device, software, interface.

REFERENCES

1. Donchenko A.V., Sulym A.O. Do pytannia elektroenerhii na tyagu vagoniv metropolitenu KP «Kyivskiy metropoliten» [The issue of power consumption for traction subway cars KP «Kyiv metro»]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT* [Proceedings of the State Economy and Technology University of Transport], 2013, issue 22, pp. 5 – 8.
2. Shevliugin M.V. Sistema nakopleniia energii na vagone metro dlia avariinogo vyvoda poezda iz tunnelia [The system of energy storage on the subway car for emergency output trains out of the tunnel]. *Zhurnal «Nauka i tekhnika» – The magazine «Science and technology of transport»*, 2006, issue 3, pp. 29 – 32.
3. Sulym A.A. Raschet energoyemkosti nakopitelia pri vozniknovenii avariynykh rezhimov v sisteme energoobespechenia metropolitena [Calculation of energy consumption drive in case of emergency regimes in power supply system of underground]. *Visnyk Shidnoukrayinskogo natsionalnogo universytetu imeni V. Dalya* [Herald the Institute of East Ukraine V. Dahl National University], 2013, issue 16 (205), part 2, pp. 219 – 225.
4. Sulym A.A. Obosnovanie mesta ustanovki emkostnykh nakopiteley energii v sistemakh tyagovogo energosnabzheniya metropolitena [The rationale for the place of installation of the capacitive energy storage systems traction power supply underground]. *Naukovo-vyrobnychiy zhurnal «Elektromekhanichni i energozberigaiuchi systemy – Scientific and production journal «Electromechanical and energy saving systems»*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 282 – 285.
5. Osipov S.I., Osipov S.S. Osnovy tyagi poezdov [Basics traction trains]. Moscow, UMK MPS Russian Publ., 2000. – 592 p.
6. Sleptsov M.A., Dolaberidze G.P., Prokopovich A.V. Osnovy elektricheskogo transporta [Fundamentals of electric transport]. Moscow, «Academy» center Publ., 2006. – 464 p.
7. Shchurov N.I., Shcheglov K.V., Shtang A.A. Primenenie nakopitelei energgii v sistemakh elektricheskoy tyagi [The use of energy storage systems of electric traction]. *Zbornik nauchnykh trudov NGTU* [Proceedings of the NSTU], 2008, vol. 51, no. 1, pp. 99 – 104.

І. А. Коротун

(студент Державного економіко-технологічного університету
транспорт, м. Київ)

ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ NGN ТЕХНОЛОГІЇ

У статті розглядаються засади на яких мають будуватися сучасні мережі зв'язку технології NGN, які покликані задовольняти все зростаючий попит на інфокомунікаційні послуги; технологічні аспекти побудови мультисервісних мереж, які є основою мереж NGN.

Ключові слова: мережа зв'язку, мережі наступного покоління, конвергенція, архітектура мережі.

В статье рассматриваются принципы на которых должны строиться современные сети связи технологии NGN, которые призваны удовлетворять все возрастающий спрос на инфокоммуникационные услуги; технологические аспекты построения мультисервисных сетей, которые являются основой сетей NGN.

Ключевые слова: сеть связи, сети следующего поколения, конвергенция, архитектура сети.

Сучасний стан розвитку суспільства робить важливими питання створення мереж зв'язку, як складової засобів автоматизації процесу функціонування будь-якої установи та і взагалі налагодження оперативного обміну інформацією у всіх сферах людського буття. Особливо це проявляється при веденні електронного документообігу, необхідності проведення інтерактивного спілкування. Актуальність теми полягає у створенні мультисервісної мережі зв'язку, яка задовольняє сучасним вимогам до мереж зв'язку, до яких належать швидкість передачі інформації, якість обслуговування та зростаючий попит на інтелектуальні послуги. Метою статті є наведення практичних рекомендацій для розрахунку мультисервісної мережі. Об'єктом дослідження є принципи побудови та функціонування сучасних мультисервісних мереж [11]. Предметом є ознайомлення з параметрами реальних мереж зв'язку та наведення рекомендацій для побудови на їх основі мережі зв'язку NGN (Мережа наступного покоління, англ. Next Generation Network). Предмет дослідження тісно пов'язаний із науково-практичною задачею переходу до мереж зв'язку майбутнього (так званих Future networks) та глобального інформаційного суспільства (ГІС).

Концепція мультисервісних мереж безпосередньо передувала бурхливому розвитку NGN і багато в чому визначила сучасний стан мереж зв'язку.

© Коротун І. А., 2014

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика статті найяскравіше представлена в [1,2,3,4,5,9,10]. В цих роботах даються різнобічні погляди на NGN.

Постановка проблеми. На даний момент невирішеною є проблема створення транспортної мережі, яка б відповідала вимогам ефективного функціонування та задовольняла всі вимоги якості обслуговування та була плацдармом для розвитку ГІС.

Метою роботи є висвітлення основних аспектів розвитку технічної складової ГІС, аналіз технологічних аспектів побудови мультисервісних мереж для того, щоб дати уявлення про актуальність техніко-економічних показників.

Технологічні аспекти побудови мультисервісних мереж

Основним технологічним аспектом побудови мультисервісних мереж є конвергенція мультисервісних мереж, які є переважно корпоративними. NGN – це мережа, яка відображає процес розвитку телекомунікацій в рамках конвергенції телекомунікаційних мереж, який включає забезпечення реалізації загальних архітектурних принципів телекомунікаційних мереж, підтримку єдиних сумісних протоколів апаратно-програмних засобів телекомунікацій, реалізацію єдиних підходів до використання телекомунікаційних технологій і надання телекомунікаційних послуг. Необхідність конвергенції в світі зв'язку обумовлюється розвитком технологій, вона також впливає на промисловість. Конвергенція впливає на середовище, передачу даних і галузь телекомунікацій, дозволяє реалізувати безліч нових телекомунікаційних послуг по взаємодії суб'єктів між собою або з даними. Для розуміння змін, які відбуваються, потрібно розуміти принципи [8] на яких ґрунтується мережева апаратура та узагальнити їх.



Рис. 1. Загальна архітектура мережі на основі рішень NGN [2]

Основні елементи мережі NGN[2] (зображені на рис. 1):

- 1) гнучкий комутатор (SoftSwitch) – може працювати з широким спектром протоколів [9] та інтерфейсів H.323, SIP, H.248, MGCP, Q.931, Q.SIG і ін., має розподілену структуру, будується з окремих функціональних блоків;
- 2) АТС з функціями контролера шлюзів сигналізації;

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

- 3) шлюзи (Gateways);
- 4) транспортна пакетна мережа;
- 5) сервер додатків;
- 6) термінальне обладнання.

Особливої уваги заслуговує такий елемент мережі NGN як Softswitch [10]. На рис. 2 наведена структура, яка відображає аспекти реалізації програмно-апаратних засобів Softswitch'а.

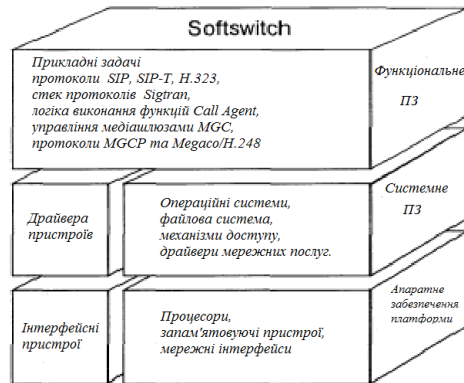


Рис. 2. Модель реалізації Softswitch'а [10]

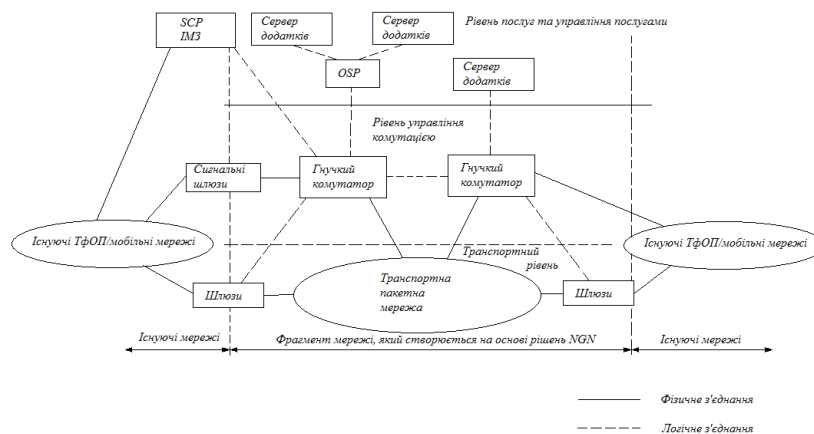


Рис. 3. Тривірнева модель NGN [2]

Архітектура мережі NGN складається з рівнів [2, 4]:

- 1) транспортного рівня – його задачею є комутація та «прозоре» передавання інформації користувача;
- 2) рівня управління [12] комутацією та передачею даних – його задачею є обробка інформації сигналізації, маршрутизація викликів і управління потоками;
- 3) рівня послуг і управління послугами – включає функції управління логікою послуг та додатків і являє собою розподілене обчислювальне середовище, яке забезпечує:
 - надання інфокомунікаційних послуг;
 - управління послугами;
 - створення та впровадження нових послуг; взаємодія різних послуг.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

На рис. 4 наведена класифікація типів обладнання, які можуть бути застосовані на мережі NGN.

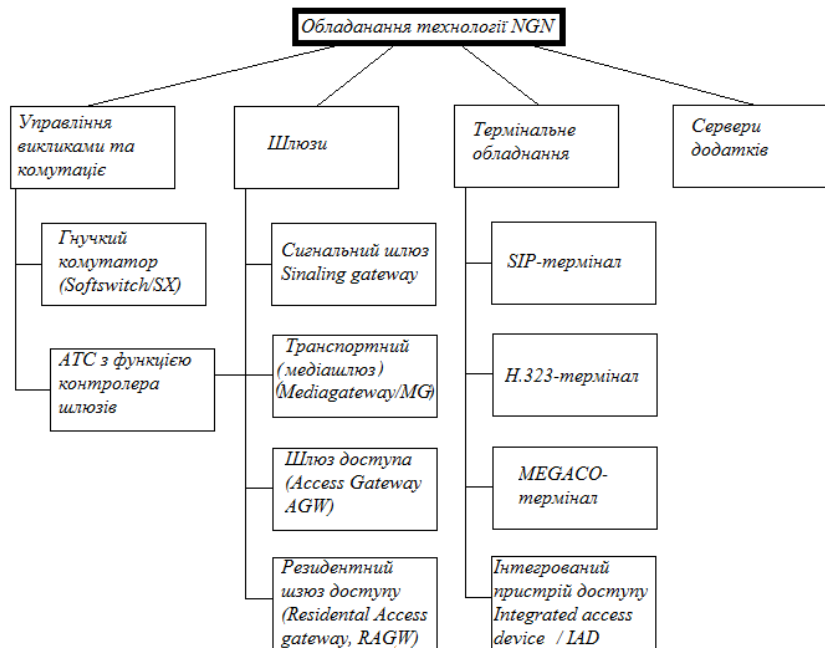


Рис. 4. Класифікація типів обладнання мереж NGN [2]

Чітке розуміння концепції NGN дає проведення порівняння моделі OSI (англ. *open systems interconnection basic reference model* – базова еталонна модель взаємодії відкритих систем) [6], яка стала класичною та трьохрівневою моделі мережі NGN – рис. 5. На рис. 5 видно, що вертикальна відповідність цих систем чітко дотримується, проте, враховуючи відірвану від реальності та орієнтовану на теоретичні основи сутність, модель OSI і на противагу те, що структура мережі NGN створена в основному спираючись на практичний досвід створення мереж, то не можна чітко виділити межі відповідності рівнів мережі NGN до рівнів OSI тому, що залежно від конкретних протоколів та технологій, які використовуються в NGN розподіл функцій між її рівнями може змінюватися. Практичні межі в яких може бути ця відповідність зображено на рис. 5.



Рис. 5. Порівняння рівнів мереж структури NGN та OSI

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Термін «Конвергенція» найчастіше виражає [1]:

– можливість різних мережевих платформ переносити по суті аналогічні види послуг;

– об'єднання функцій призначених для користувача пристроїв типу телефону, телевізора або персонального комп'ютера.

Конвергенція в телекомунікаціях поділяється на конвергенцію:

- 1) мереж;
- 2) послуг;
- 3) терміналів,
- 4) індустріальну конвергенцію.

Технічні складові процесу конвергенції телекомунікаційних мереж:

- 1) інтегрована транспортна мережа;
- 2) багатодіапазонні абонентські пристрої з підтримкою IP;
- 3) загальна платформа надання телекомунікаційних послуг з можливостями множинного доступу.

Кроки на шляху конвергенції телекомунікаційних мереж:

- 1) оптимізація транспортної мережі з комутацією каналів для поліпшення надання звичайних голосових послуг;
- 2) нарощування продуктивності пакетної транспортної мережі, щоб забезпечити можливість швидко надати нові IP мультимедійні послуги з накопиченням вартості.

Тенденції конвергенції:

– технології з комутацією пакетів удосконалюються з метою підвищення якості доставки інформації, завдяки попередньому встановленню віртуальних з'єднань;

– мережі з технологією ATM[4], що забезпечують доставку інформації будь-яких застосувань з високою якістю, надають послуги доставки як з орієнтацією на з'єднання, так і без орієнтації на з'єднання.

Тенденції конвергенції спричиняють виникнення інтелектуальних мереж (Intelligent Network, IN). Принципи на яких будуються IN:

- відділення процесу організації і надання інфокомунікаційних послуг від безпосереднього обслуговування телефонних викликів;
- розробка підходів та засобів створення послуг.

Створення IN має на меті полегшити впровадження нових послуг.

<i>Пункт адміністративного управління послугами</i>	<i>Пункт створення послуг</i>
<i>Пункт управління послугами</i>	
<i>Мережа ОКС №7 (INAP)</i>	<i>Інтелектуальна периферія</i>
<i>Пункт комутації послуг</i>	
<i>Телефонна мережа загального користування</i>	

Рис. 6. Класична архітектура IN

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Класична архітектура IN містить такі складові:

- 1) пункт управління послугами;
- 2) пункт комутації послуг;
- 3) пункт адміністративного управління послугами;
- 4) пункт створення послуг;
- 5) інтелектуальну периферію;
- 6) пункт управління послугами;
- 7) пункт комутації через мережу передачі даних.

Пріоритетні характеристики IN:

- модульність архітектури;
- відкритість інтерфесів між складовими IN.

Причини, які сповільнюють розвиток інтелектуальних платформ:

- крупні первинні інвестиції;
- складна реалізація IN.

Незважаючи на ці причини, інтелектуальні платформи дають можливість створювати нові послуги – це основна перевага їх впровадження. Для побудови транспортного рівня мережі NGN можна використовувати технологію ATM.

В технології ATM [4, 5] підтримується передача трафіка 4 видів [2,4]:

- 1) з постійною бітовою швидкістю – синхронний, чутливий до затримок;
- 2) зі змінною бітовою швидкістю:
 - в режимі реального часу – чутливий до затримок;
 - без використання режиму реального часу – не чутливий до затримок;
- 3) з доступною бітовою швидкістю – трафік додатків – нечутливий до затримок;
- 4) з невизначеною бітовою швидкістю – трафік, передача якого може вестися без забезпечення будь-яких гарантій продуктивності.

Основу еталонної моделі протокола ATM складають три рівня архітектури ATM: фізичний, рівень ATM та рівень адаптації ATM, які відповідають фізичному, каналному та мережному рівню моделі OSI.

Для побудови транспортного рівня може застосовуватися IP-протокол. IP-протокол початково не був призначений для передачі голосу, але його широка розповсюдженість, можливість накладання практично на будь-яку транспортну мережу, а також висока ступінь сумісності рішень різних постачальників привели до того, що IP-мережі почав використовуватися як універсальне середовище для передачі всіх видів трафіка. Основним недоліком мереж на основі протокола IP – відсутність механізмів, які б забезпечували передачу трафіку реального часу. Забезпечення якості передачі чутливого до затримки трафіка досягається шляхом реалізації відповідних механізмів на каналному або транспортному рівні. Реалізація послуг мультисервісної мережі на базі IP-технології потребує впровадження додаткової підтримки якості обслуговування, підвищення надійності і раціоналізації використання ресурсів.

До методів управління якістю обслуговування на рівні IP-протокола належать:

- виділення окремих каналів для передачі голосу;
- налаштування маршрутизатора на першочергове обслуговування пакетів з визначеним номером порту UDP;
- обмеження максимально допустимого розміру пакета.

В основі всіх технічних рішень мереж нового покоління лежать принципи функціонування, які витікають із таких загальних властивостей NGN [3]:

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

- 1) обладнання NGN побудовано на основі сучасної мікропроцесорної технології, тому мережі можна віднести до систем розподіленого інтелекту;
- 2) технічні рішення NGN спираються на технологію з комутацією пакетів;
- 3) відповідно до постулату про те, що комп'ютер в сучасному світі важливіше телефону, комп'ютерна логіка використовується на всіх стадіях розробки обладнання NGN: від формування концепції і стандартів виробництва до виробництва обладнання.

Останній пункт чітко вказує на те, що, включаючи суто інформаційну структуру верхнього рівня NGN мережі цілком очевидним стає доцільність використання серверних операційних систем для його реалізації, якщо подивитися на структуру програмного забезпечення комп'ютера [7];

У роботі проведено розгляд побудови мультисервісних мереж наступного покоління. Обґрунтування вибору типу транспортної мережі та обладнання, яке застосовуватиметься, буде проводитися залежно від топології та архітектури мережі. Обладнання «останньої милі» вибирається залежно від компонентів транспортної мережі.

Передбачувані техніко-економічні показники повинні дати можливість провести модернізацію мережі зв'язку для збільшення швидкості, покращення існуючих мультисервісних послуг та створення «плацдарму» для створення нових інфокомунікаційних послуг, можливо, на комерційній основі з окремими операторами. Область застосування мультисервісних мереж:

- інтернет-доступ;
- надання традиційних послуг передачі інформації;
- створення нових послуг передачі інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басов В. И. Цифровые интегральные сети связи. – Харьков: Транспорт Украины, 2000. – 166 с.
2. Семёнов Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ», 2005. – 240 с.
3. Бакланов И. Г. NGN. Принципы построения и организации./ Под. ред. Ю. Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.: ил.
4. Битнер В. И., Михайлова Ц. Ц. Сети нового поколения – NGN.: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 226 с., ил.
5. Басов В. И, Загарий Г. И., Приходько С. И., Терещенко Ю. Н., Чикин А. А. Мультисервисные сети. / Под ред. Ю. Н. Терещенко. – Харьков: ЧП Издательство «Новое слово», 2009. – 192 с.
6. Танненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.; ил.
7. Танненбаум Э. Архитектура компьютера.– 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 698 с., ил.
8. Игнатов В. А. Теория информации и передачи сигналов: Учебник для вузов. – М.: Сов. радио, 1979. – 280 с., ил.
9. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.:ил.
10. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. SOFTSWITCH. – СПб: БХВ – Санкт-Петербург, 2006. – 386 с.: ил.
11. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновський Г. Н. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400с.: ил.
12. Андерсон К., Минаси М. Локальные сети. Полное руководство: Пер. с англ. – К.: БЕК+:ЭНТРОП. – СПб.: КОРОНА-принт, 1999. – 624 с.; ил.

Ivan A. Korotun

(student of State University for Transport Economy and Technologies)

**DESIGNING NETWORK COMMUNICATIONS BASED ON NGN
TECHNOLOGY**

In this article provided an overview of the literature which deals with principles on which modern communication network built technology NGN, which are designed to meet the growing demand for information and communication services; technological aspects of building multiservice networks that are network-based NGN, the approximate list of the main elements of the network NGN, particularly given model of program switch «Softswitch», a three-tier model of network NGN, classification of types of equipment NGN, comparing levels of NGN network structure and model of OSI, which gives an idea of the functions performed by the appropriate level model compared to NGN reference model OSI, classical structure intelligent network clarifies direction of development NGN networks, which aims to complications structures caused by the convergence of telecommunication networks is a brief description of transport technologies and IP ATM used network NGN, and presented methods of quality management service at IP-protocol and provides general properties of which stem NGN principles of operation of next generation networks; material presented in the article provides general concepts have to build a network technology based NGN.

Keywords: network communications, next generation networks, convergence architecture.

REFERENCES

1. Basov V. I. Tsyfrovyie integral'nyie seti svyazi. [Digital integrative network communications]– Kharkov: Transport Ukrayiny, 2000. – 166p.
2. Semenov U. V. Proektirovaniye setei svyazi sleduyushchego pokoleniya [Desining of next generation communication networks]. – St. Petersburg: OAO«Ghiprosvyaz' »,2005,-240 p.
3. Baklanov Gh. NGN.Printsypy postroeniya e orghanizatciyi.[Principles of construction and organization]. Pod pedaktsyyey Yu. N. Chernyshova. – Moscow: Eco-Trandz, 2008,400p.
4. Bitner V. I., Mykhaylova Ts. Ts. Seti sleduyushchego pokoleniya – NGN. Uchebnoe posobiye dlya vuzov. [Next generation networks – NGN. Textbook for High Schools]. – Moscow: Gharyachaya liniya – Telecom, 2011. – 226 p.
5. Basov V. I., Zaghoriy Gh. I, Prihod'ko S. I., Tereshchenko Yu. N. Chikin U. U. Multiservisnyye seti/ Pod red. Yu. N. Tereshchenko. – Kharkov: ChP Izdatel'stvo «Novoe slovo», 2009. – 192 p.
6. Tanenbaum E., Wetherall D. Kompyuternyye seti. 5-ye izd. [Computer networks. 5-th edition]. – St. Petersburg: Piter, 2012. – 960 p.
7. Tanenbaum E. Arhitektura kompyutera. 4-ye izd. [Computer architecture. 4-th edition]. – St. Petersburg: Piter, 2003. – 698 p.
8. Ignatov V. A. Teoriya informatsyyi e peredachi signalov: Uchebnik dlya vuzov. [Theory of information and transmission of signals. Textbook for High Schools]. – Moscow: Sov. Padio, 1979. – 280 p.
9. Olipher V. Gh, Olipher N. A. Kompyuternyye seti. Printsypy, tehnologhiyi, protokoly: Uchebnik dlya vuzov. 3-ye izd. [Computer networks: principles, technologies, protocols. Textbook for High Schools. 3-id edition] – St. Petersburg: Piter, 2006. – 958 p.
10. Gholdhstein B., Gholdhstein B. S. SOFTSWITCH. St. Petersburg: BHV – St. Petersburg, 2006. – 386 p.
11. Gholdhstein B. S., Sokolov N. A., Yanovskiy G. N. Seti svyazi: Uchebnik dlyu VUZov. [Communication networks: Textbook for High Schools]. St. Petersburg: BHV – St. Petersburg, 2010. – 400 p.
12. Anderson K., Minasi M. Local'nyye seti. Polnoe rukovodstvo: Per. [Local networks. The Complete Guide. Translated]. – St. Petersburg: VEK+ENTROP, s angl. – St. Petersburg: KORONA print, 1999. – 624 p.

О. А. Герцій, к.т.н, доцент
(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»,
Державного економіко-технологічного університету транспорту)
А. О. Григор'єв
(студент Державного економіко-технологічного університету
транспорту)

ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВІДНИХ ІР МЕРЕЖ WI-FI

У роботі досліджуються безпроводні ІР мережі WI-FI, переваги та недоліки існуючих архітектур, використання архітектур залежно від виду та величини мережі, основні алгоритми функціонування безпроводних WI-FI мереж, використання маршрутизаторів, а також запропоновано їх використання залежно від обраної топології мережі, завдань, які має виконувати мережа та методів захисту трафіку.

Ключові слова: Wi-Fi-мережа, параметри безпроводних мереж, ІР протокол.

В работе исследуются беспроводные IP-сети WI-FI, преимущества и недостатки существующих архитектур, использование архитектур в зависимости от вида и размера сети, основные алгоритмы функционирования беспроводных WI-FI сетей, использование маршрутизаторов, а также предложено их использование в зависимости от выбранной топологии сети, задач которые должна выполнять сеть и методов защиты трафика.

Ключевые слова: Wi-Fi-сеть, параметры беспроводной сети, ІР протокол.

Вступ. Швидкий розвиток галузі телекомунікацій, сприяє швидкій зміні поколінь техніки, причому швидкість цього розвитку є зростання вимог до якості надання послуг та зростання різноманітності видів інформації, що передаються: дані, мова, відеоінформація реального часу.

Важливою перевагою застосування Wi-Fi-мереж є те, що вони можуть поєднувати декілька різних комп'ютерів в безпроводну локальну мережу з одночасним доступом до мережі Інтернет. Завдяки цій технології, доступ до мережі Інтернет є мобільним і гнучким, що надає користувачу можливість використовувати безпроводну технологію як в межах однієї кімнати, так і по всьому світу.

Мета роботи: вирішення актуальної науково-технічної задачі – дослідження безпроводних ІР мереж WI-FI, визначення переваг та недоліків існуючих архітектур, запропонувати використання архітектур залежно від виду та розміру мережі.

Безпроводна мережа являє собою локальну мережу, що використовує для зв'язку і передачі даних між вузлами височастотні радіохвилі, а не кабельні з'єднання [1]. Це гнучка система передачі даних, яка застосовується як розширення або альтернатива кабельній локальній мережі всередині однієї будівлі або в межах певної території.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Локальна комп'ютерна мережа – комп'ютерна мережа для обмеженого кола користувачів, що об'єднує комп'ютери в одному приміщенні або в рамках одного підприємства [2].

Переваги безпроводної локальної мережі: гнучкість; зручність; простота підключення; доступність; низька вартість побудови; доступ до мобільних пристроїв.

Безпроводна локальна мережа повинна забезпечувати: обмін інформацією між працівниками, обмін текстової, звукової та відео інформації в реальному часі, забезпечення надійності каналів, розподілення навантаження, швидкий доступ до інформації, віддалене керування та можливість збереження інформації.

Методика проведення дослідження. Основою даної роботи є дослідження безпроводної IP-мережі та імітаційне моделювання її роботи.

Основні параметри, які досліджуються в безпроводних мережах це: поляризація антен, коефіцієнти підсилення антен, втрати в вільному просторі, відношення сигнал/шум, дальність роботи безпроводного каналу зв'язку, розрахунок зони Френеля [3].

Поляризація антен. Важливою характеристикою антени є її поляризація. У системах WI-FI використовують антени з вертикальною, горизонтальною і круговою (з правим і лівим обертанням) поляризаціями (рис. 1).

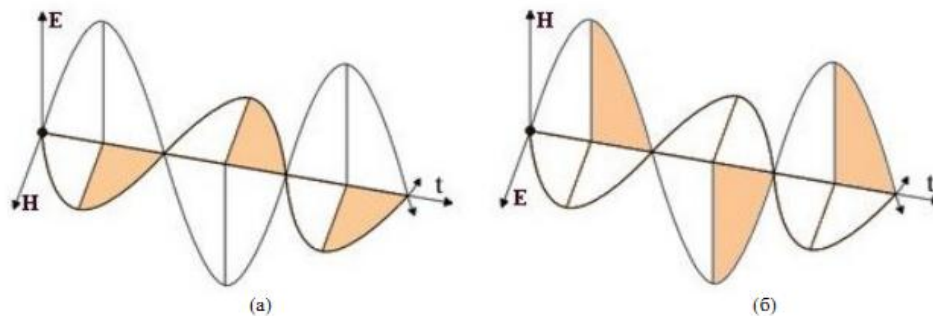


Рис. 1. Вертикальна (а) і горизонтальна (б) поляризації

Врахування поляризації дозволяє отримати додаткові енергетичні переваги при вирішенні завдань електромагнітної сумісності. При заповненні певного простору точками доступу до граничного рівня, після якого взаємні радіоперешкоди починають заважати нормальній роботі мереж, достатньо змінити поляризацію антен, після чого можна продовжувати нарощувати радіомережі.

У плоскій електромагнітній хвилі вектори вертикального електричного E і магнітного H полів в кожен момент часу орієнтовані в просторі певним чином. Поляризація електромагнітної хвилі є її просторово-часовою характеристикою і визначається видом траєкторії, що описується кінцем вектора електричного поля у фіксованій точці простору. На антенах з поляризацією, на задній стороні є вказівник у вигляді стрілки, який і визначає необхідну поляризацію.

При круговій або циклічній поляризації електромагнітне поле обертається навколо осі X з певним циклом, або кроком таким чином, що в різних точках простору приймає або вертикальну або горизонтальну поляризацію. Такий вид поляризації застосовується досить рідко.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Коефіцієнти підсилення антен [4]. Коефіцієнт підсилення є мірою спрямованості антени. Цей параметр визначається як відношення потужності сигналу, випроміненого в певному напрямку, до потужності сигналу, випромінюваного ідеальною ненаправленою антеною в будь-якому напрямку.

$$L = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ} \quad (1)$$

де P_1 – виміряна потужність;
 P_2 – еталонна потужність.

Поширення сигналу. При поширенні сигнал, що випромінюється антеною, може огинати поверхню Землі, відбиватися від верхніх шарів атмосфери або розповсюджуватися вздовж лінії прямої видимості.

Дифракції електромагнітних хвиль [5]. При огинанні поверхні Землі (рис. 2) шлях поширення сигналу тією чи іншою мірою повторює контур планети. Передача може здійснюватися на значні відстані, набагато перевищуючи межі прямої видимості. Даний ефект має місце для частот до 2 МГц. На здатність сигналів, що належать даній смузі частот, повторювати кривизну земної поверхні впливає фактор дифракції електромагнітних хвиль. Дане явище пов'язане з поведінкою електромагнітних хвиль при наявності перешкоди.

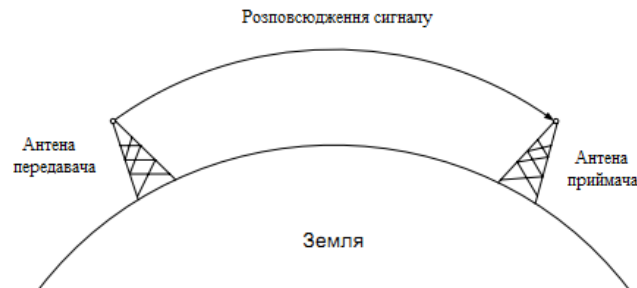


Рис. 2. Поширення навкологемних хвиль (частота до 2 МГц)

Розсіювання електромагнітних хвиль вказаного діапазону в атмосфері відбувається таким чином, що у верхні атмосферні шари ці хвилі не потрапляють.

Поширення хвиль вздовж лінії прямої видимості. Якщо частота радіосигналу перевищує 30 МГц, то огинання ним земної поверхні і відбиття від верхніх шарів атмосфери стають неможливими. У цьому випадку зв'язок повинен здійснюватися в межах прямої видимості (рис. 3).

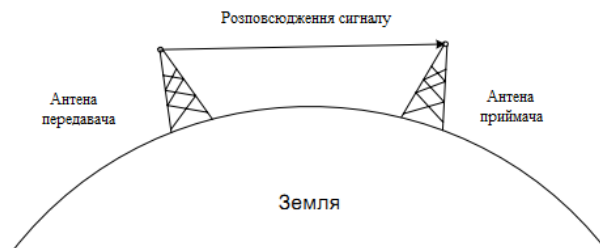


Рис. 3. Поширення сигналу вздовж лінії видимості (частота понад 30 МГц)

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Під час зв'язку через супутник сигнал з частотою понад 30 МГц не відбивається іоносферою. Такий сигнал може передаватися від наземної станції до супутника і назад за умови, що супутник не знаходиться за межами горизонту. При наземному зв'язку передавальна і приймаюча антени повинні знаходитися в межах ефективної лінії прямої видимості. Використання терміну «ефективний» пов'язане з тим, що хвилі надвисокої частоти викривляються і переломлюються атмосферою. Ступінь і напрям викривлення залежать від різних факторів. Однак, як правило, викривлення надвисокочастотних хвиль повторюють кривизну поверхні Землі. Тому такі хвилі поширюються на відстань, що перевищує оптичну лінію прямої видимості. Оскільки зв'язок між точками доступу, що працює в стандартах 802.11a, 802.11b і 802.11g, зазвичай розраховується на лінію прямої видимості, то розглянемо, як впливає навколишнє середовище на корисний сигнал.

Передача сигналу в межах лінії прямої видимості. Для будь-якої системи зв'язку справедливе твердження, що сигнал, який приймається, відрізняється від переданого сигналу. Даний ефект є наслідком різних спотворень в процесі передачі. При передачі аналогового сигналу спотворення призводять до його випадкової зміни, що проявляється в погіршенні якості зв'язку. Якщо ж передаються цифрові дані, спотворення призводять до появи двійкових помилок – двійкова одиниця може перетворитися в нуль і навпаки. Розглянемо різні типи спотворень, а також їх вплив на пропускну спроможність каналів зв'язку в межах прямої видимості. Найважливішими є такі типи спотворень: загасання або амплітудне спотворення сигналу; втрати у вільному просторі; шум; атмосферне поглинання.

Втрати в вільному просторі. Для будь-якого типу безпроводного зв'язку сигнал, що передається, розсіюється в міру його поширення в просторі. Отже, потужність сигналу, прийнятого антеною, буде зменшуватися в міру віддалення від передавальної антени.

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi)^2(d)^2}{G_r G_t \lambda^2}, \text{ дБ} \quad (2)$$

де P_t – потужність сигналу передаючої антени;

P_r – потужність сигналу, що надходить на антену приймача;

G_r – коефіцієнт підсилення передаючої антени;

G_t – коефіцієнт підсилення антени приймача;

λ – довжина хвилі несучої;

d – відстань, що проходить сигнал між двома антенами.

Відношення сигнал/шум [6]. Відношення сигнал/шум – це відношення енергії сигналу на 1 біт до щільності потужності шумів на 1 герц (E_b/N_0). Розглянемо сигнал, що містить двійкові цифрові дані, передані з певною швидкістю – R біт/с. Нагадаємо, що $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$, і обчислимо питому енергію одного біта сигналу: $E_b = ST_b$ (де S – потужність сигналу; T_b – час передачі одного біта). Швидкість передачі даних R можна виразити у вигляді $R = 1/T_b$. Враховуючи, що тепловий шум, присутній у смузі шириною 1 Гц, для будь-якого пристрою або провідника становить:

$$N_0 = kT, (Bm/Гц) \quad (3)$$

де N_0 – щільність потужності шумів у ватах на 1 Гц смуги;

k – постійна Больцмана, $k = 1,3803 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$;

T – абсолютна температура (температура в Кельвінах).

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Звідси:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR} \quad (4)$$

Відношення E_b/N_0 має велике практичне значення, оскільки швидкість появи помилкових бітів є зменшенням функції даного відношення. При відомому значенні E_b/N_0 , необхідному для отримання бажаного рівня помилок, можна вибрати всі інші параметри в наведеному рівнянні. Слід зазначити, що для збереження необхідного значення E_b/N_0 при підвищенні швидкості передачі даних R буде потрібно збільшувати потужність сигналу, що передається щодо шуму.

Дальність роботи безпроводного каналу зв'язку [7]. Наведемо формулу для розрахунку дальності. Вона береться з інженерної формули розрахунку втрат у вільному просторі:

$$FSL = 33 + 20(\lg(F) + \lg(D)), \text{ дБ} \quad (5)$$

де FSL (free space loss) – втрати у вільному просторі (дБ);

F – центральна частота каналу на якому працює система зв'язку (МГц);

D – відстань між двома точками (км).

FSL визначається сумарним посиленням системи. Воно вважається таким чином:

$$Y = P_t + G_t + G_r - P_{min} - L_t - L_r, \text{ дБ} \quad (6)$$

де P_t – потужність передавача;

G_t – коефіцієнт підсилення передаючої антени;

G_r – коефіцієнт підсилення приймаючої антени;

P_{min} – чутливість приймача;

L_t – втрати сигналу в коаксіальному кабелі передаючого тракту;

L_r – втрати сигналу в коаксіальному кабелі приймального тракту.

Для кожної швидкості приймач має певну чутливість. Як приклад у табл. 1 наведено кілька характеристик [7].

Таблиця 1. Залежність чутливості від швидкості передачі даних

Швидкість	Чутливість
54 Мбіт/с	-66 дБмВт
48 Мбіт/с	-71 дБмВт
36 Мбіт/с	-76 дБмВт
24 Мбіт/с	-80 дБмВт
18 Мбіт/с	-83 дБмВт
12 Мбіт/с	-85 дБмВт
9 Мбіт/с	-86 дБмВт
6 Мбіт/с	-87 дБмВт

Розрахунок зони Френеля [8]. Радіохвиля в процесі поширення в просторі займає об'єм у вигляді еліпсоїда обертання з максимальним радіусом в середині прольоту, який називають зоною Френеля (рис. 4). Природні (земля, горби, дерева) і штучні (будівлі, стовпи) перешкоди, що потрапляють в цей простір, послаблюють сигнал.

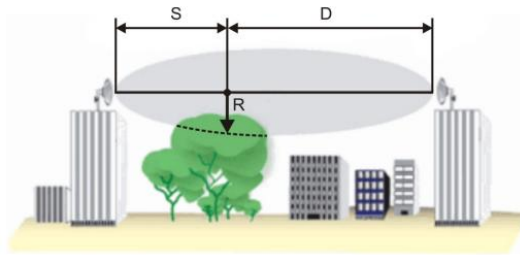


Рис. 4. Зона Френеля

Радіус першої зони Френеля над передбачуваної перешкодою, може бути розрахований за допомогою формули:

$$R = 17.3 \sqrt{\frac{1}{f} \frac{SD}{S+D}}, \text{ м} \quad (7)$$

де R – радіус зони Френеля (м);

S, D – відстань від антен до найвищої точки перешкоди (км);

f – частота (ГГц).

Висновки. Розглянуті параметри безпроводної мережі дозволяють оцінити можливість її побудови, визначити якісні і кількісні показники функціонування мережі WI-FI. Використовуючи отримані показники можна забезпечити якісний обмін інформацією між працівниками, обмін текстової, звукової та відеоінформації в реальному масштабі часу, забезпечити надійність каналів, розподілення навантаження, швидкий доступ до інформації, віддалене керування та можливість збереження інформації. Точне визначення та врахування розглянутих параметрів при дослідженні безпроводної мережі забезпечить раціональну гнучкість мережі, дозволить збільшити радіус дії та швидкість передачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Новиков Ю.В., Кондратенко С.В. Локальные сети: архитектура, алгоритмы, проектирование. – М.: ЭКОМ, 2000. — 308 с.
2. Милославская Н.Г., Толстой А.И. Интрасети: доступ в Internet, защита: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 527 с.
3. Гайер Джим. Беспроводные сети. Первый шаг. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 192 с.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
5. Семенов Ю.В. Проектирование сетей следующего поколения. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 240 с.
6. Палмер М., Синклер Р.Б. Проектирование и внедрение компьютерных сетей. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 756 с.
7. Щербаков А. К. Wi-Fi: Все, что Вы хотели знать, но боялись спросить. – М.: Бук-Пресс, 2005. – 352 с.
8. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Чирков Д.Н. Беспроводные сети Wi-Fi. – М.: Бином, 2007. – 216 с.

Andrey O. Grigoryev

(student of State University for Transport Economy and Technologies)

STUDY OF WIRELESS NETWORKS IP WI- FI

In this paper analyzes the wireless IP network WI-FI, the strengths and weaknesses of existing architectures, architectures use depending on the type and size of the network, the core algorithms of wireless WI-FI networks using routers, and suggests their use depending on the selected network topology, tasks that should be done by network traffic and security methods. An important advantage of Wi-Fi networks is that they can combine several different computers in a wireless LAN with simultaneous access to the Internet. With this technology, access to the Internet is mobile and flexible, which allows users to use wireless technology as within the same room or across the globe. Wireless network is a local area network that uses communication and data transfer between nodes high radio waves instead of cable connections. This flexible system data , which is used as an extension or alternative to cable LAN within a building or within a specific area. Wireless LAN must provide: information sharing between employees, text , audio and video information in real time, reliability channels of load distribution, quick access to information, remote management and the ability to save information.

Keywords: wireless network, Wi-Fi network.

REFERENCES

1. Y. Novikov, S. V. Kondratenko. Lokalne network: architecture , algorithms, design. – M.: ECOM, 2000. – 308 p.
2. Myloslavskaya N.G., Tolstoy A.I. Yntrasety: access to the Internet, protection of Uchebnoe posobyie for universities. – M.: UNITY – DANA, 2000. – 527 p.
3. Jim Geier. Wireless Networks. First step. Per. with the English. – M.: Publishing house « Williams», 2005. – 192 p.
4. Olyfer V.G., Olyfer N.A. Computer Networks . Principles , technologies , protocols : Textbook for Universities. 4-th ed. – SPb: Peter, 2010. – 944 p.
5. Y. Semenov. Designing networks sleduyuscheho generation. – SPb.: Science and Technology, 2005. – 240 p.
6. M. Palmer , R.B. Sinclair. Design and Introduction of computer networks. – SPb.: BHV – Petersburg , 2004. – 756 p.
7. Shcherbakov A.K. Wi-Fi: Everything You Hoteliers something to know , but were afraid to demand. – M.: Beech -Press, 2005. – 352 p.
8. Proletarskij A.V. Baskakov I.V., Chirkov D.N. Wireless Networks Wi-Fi. – M.: Binom , 2007. – 216 p.

О. С. Гайденко

(здобувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

МЕТОДОЛОГІЧНІ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАМИ

Проведено аналіз причин необхідності розвитку керування тяговим електропостачанням. Визначено провідним напрямком розвитку інтелектуалізації мереж електропостачання в світі концепцію Smart Grid. Досліджено ідеї оперативного керування в Smart Grid-технологіях та можливості їх застосування в мережі тягового електропостачання залізниці. Визначено напрямки розвитку інформаційних технологій керування тяговими електромережами.

Ключові слова: Smart Grid, керування тяговим електропостачанням, «інтелектуальна» мережа електропостачання, інформаційні технології.

Проведен анализ необходимости развития управления тяговым электроснабжением. Определено ведущим направлением развития интеллектуализации сетей электроснабжения в мире концепцию Smart Grid. Исследовано идеи оперативного управления в Smart Grid-технологиях и возможности их применения в сети тягового электроснабжения железной дороги. Определены направления развития информационных технологий управления тяговыми электросетями.

Ключевые слова: Smart Grid, управление тяговым электроснабжением, «интеллектуальная» сеть электроснабжения, информационные технологии.

Постановка проблеми. В енергетичній стратегії Укрзалізниці сьогодні мають місце забезпечення надійності, зниження ризиків і недопущення розвитку кризових явищ в енергозабезпеченні залізничного транспорту; значне зниження питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у всіх сферах діяльності Укрзалізниці (тяга поїздів, інфраструктура, ремонт, виробництво); оптимізація енергетичних витрат в стаціонарній енергетиці; покращення структури управління енергетичним комплексом Укрзалізниці на основі сучасних інформаційних технологій; ефективне входження Укрзалізниці в енергетичний ринок держави; мінімізація техногенного впливу залізничної енергетики на оточуюче середовище.

Підвищення вимог щодо надійності, економічності та розширення області застосування автоматичного керування тягового електропостачання, а також розвиток мікроелектронної та мікропроцесорної техніки, який дає можливість

© Гайденко О. С., 2014

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

задовольнити ці вимоги, є основними чинниками необхідності розробки нових концепцій розвитку оперативного керування тяговими електромережами. Концепція інноваційного перетворення електроенергетики передбачає побудову повністю інтегрованої, саморегульованої та самовідновлюваної системи, що має мережеву топологію і містить всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі та всі види споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв у реальному часі [1].

Визначено, що сучасна електроенергетика вимагає формування цілісної багаторівневої системи керування із зростанням обсягів автоматизації і підвищення надійності всієї системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідність у розвитку «інтелектуальних» мереж електропостачання обумовлена низкою факторів, таких як технологічний прогрес, зниження надійності обладнання, підвищення вимог енергоефективності та екологічної безпеки [1].

Аналіз останніх наукових праць і публікацій свідчить, що напрям удосконалення оперативного керування електропостачанням на тягу залізниці є перспективним та необхідним за умов, що склалися на сьогоднішній день [1 – 3]. Досягнення високого рівня енергозбереження та безпеки неможливе без ефективного управління [4]. Напрямок підвищення ефективності оперативного управління систем тягового електропостачання полягає у застосуванні сучасних технологій управління режимами електроенергетичних систем, що базуються на використанні активно-адаптивних й інтелектуальних електричних мереж.

У провідних країнах розвиток управління електропостачанням тісно пов'язаний із концепцією «інтелектуальної» електроенергетичної системи Smart Grid [5]. *Smart Grid* – це повністю автоматизована енергетична система, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та обмін інформації між електричними станціями та пристроями в реальному часі [6].

Методологія розробки концепції Smart Grid заснована на підходах, що розвиваються в сучасній теорії стратегічного управління, де базовим елементом є визначення стратегічного бачення розвитку, що являє собою систему поглядів на прогнозований стан об'єкта в майбутньому, тобто на роль і місце електроенергетики в сучасному суспільстві і «суспільстві майбутнього».

Мета роботи. Метою роботи є аналіз необхідності покращення управління електропостачанням на тягу залізниці та розробка концепції методів розвитку інформаційних технологій оперативного керування тяговими електромережами на основі проведених досліджень можливих напрямків модернізації. Зокрема можливостей адаптації та впровадження ідей Smart Grid технології в мережу тягового електропостачання залізниці.

Основна частина. Розвиток інтелектуальних мереж передбачає розробку та впровадження обладнання і програмно-апаратних комплексів для інтелектуальних енергетичних систем, що забезпечують підвищення надійності, безпеки, економічності систем енергопостачання за рахунок контролю в реальному часі параметрів електроенергії і стану встановленого обладнання та інформаційних комплексів на базі сучасних технологій, що здійснюють високоточне визначення, а також збір синхронізованих режимних параметрів у вузлах мережі в режимі реального часу й інтеграцію отриманих даних в єдиний інформаційний простір на базі спільних інформаційних моделей [2].

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Щодо управління, у загальній концепції Smart Grid, воно розглядається як альтернатива забезпечення вимог і функцій в електроенергетиці за рахунок нарощування потужностей і зв'язків (мереж), розвитку не скільки через поліпшення їх традиційних фізичних, енергетичних і технологічних характеристик, стільки шляхом широкої адаптації, використання і впровадження в електроенергетиці рішень та інновацій, зокрема з інших галузей, у першу чергу інформаційно-комунікаційних і комп'ютерних технологій.

Інформація виступає як головний засіб забезпечення ефективного управління. При цьому важливо підкреслити, що управлінські та інформаційні зв'язки перетворюються на системоутворюючий чинник, що забезпечує перехід до нової якості: від енергетичної до енергоінформаційної системи. Енергоінформаційна інфраструктура є базою для комплексного управління всією енергетичною системою на базі концепції Smart Grid, включаючи технологічну інтеграцію електричних та інформаційних мереж.

Концепція Smart Grid для досягнення ключових вимог передбачає розвиток таких функціональних властивостей, як самовідновлення, діагностика, опір негативним впливам та комунікація. Енергосистема, яка самовідновлюється, повинна максимально можливо мінімізувати збої за допомогою розгалужених систем збору даних і «розумних» пристроїв, що реалізують спеціальні методи й алгоритми підтримки та прийняття рішень, які засновані в першу чергу на розподілених принципах управління. Енергосистема й її елементи повинні постійно підтримувати свій технічний стан на рівні, що забезпечує необхідні надійність та якість електропостачання шляхом ідентифікації, аналізу та переходу від управління за фактом виникнення ситуації до превентивного (попередження) її появи.

Діагностика стану обладнання та оцінка можливих ризиків його відмови ґрунтується на вимірах, вироблених в режимі реального часу на обладнанні електростанцій, підстанцій і лініях електропередачі. При цьому під пріоритетний контроль переводяться елементи системи, що мають найбільшу ймовірність відмови, а також ті елементи, вихід із ладу яких може призвести до тяжких наслідків для всієї системи. Аналіз наслідків аварій, можливих при даному режимі роботи, вироблений в режимі реального часу, в енергосистемі на базі концепції Smart Grid визначає загальний стан мережі, дозволяє своєчасно спрогнозувати можливі відмови і виробляє список необхідних дій оперативно-диспетчерського персоналу.

Енергосистема на базі концепції Smart Grid повинна мати здатність активно діяти щодо мінливих системних умов. Вона здатна відслідковувати наближення проблем у системі ще до того, як вони вплинуть на надійність та якість електропостачання. Для цього передбачається застосовувати «інтелектуальні» системи контролю, засоби візуалізації. З точки зору безпеки енергосистема на базі концепції Smart Grid повинна давати гнучку і адекватну відповідь на будь-які несанкціоновані втручання ззовні. Така низька сприйнятливості і гнучкості мережі зробляють її важкодоступною для терористичних атак.

Інтелектуальні технології, що забезпечують двосторонні комунікації та інтегрування в мережу, дозволяють більш оперативно визначити, локалізувати, ізолювати і відновити електропостачання на відстані (дистанційно) без залучення «польових» працівників. Очікується, що реалізація концепції Smart Grid знизить екстрені виклики до 50%.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Віддалений моніторинг та контролюючі пристрої системи можуть створити мережу, яка самовідновлюється та здатна скорочувати і запобігати перебоям, а також продовжувати термін служби підстанційного і розподільного обладнання.

Вдосконалені методи контролю (далі – АСМ – Advanced Control Methods, англ.) розвивають одну з ключових технологічних областей концепції Smart Grid, забезпечуючи можливість побудови безпечної, надійної і «доброзичливої» до навколишнього середовища сучасної енергетичної системи.

Технології АСМ являють собою різні пристрої і алгоритми, які можуть аналізувати, діагностувати і прогнозувати умови експлуатації сучасної енергосистеми, а також визначати і робити відповідні дії з метою усунення, зменшення негативного впливу та запобігання збоїв у роботі системи і перебоїв в якості постачання живлення. Ці методи забезпечать контроль на рівні передачі, розподілу та споживання електроенергії.

Функції аналізу і діагностики майбутніх АСМ об'єднують заздалегідь визначені експертами вимоги і моделі, які дадуть «відлік» програмному забезпеченню енергосистеми в частині прийняття своєчасних рішень в автономному режимі, коли до цих рішень неможливо прийти за допомогою допустимих дозвільних правил. У результаті дії, які повинні виконуватися за секунди або менше, не будуть «запізнюватися» на той час, який необхідно людині для аналізу, прийняття рішення і самої дії. У результаті таких можливостей у сучасній енергосистемі значно підвищиться рівень надійності.

Для АСМ потрібні інтегрована, високошвидкісна комунікаційна інфраструктура та відповідні стандарти зв'язку, щоб у процес включився величезний обсяг даних, необхідний для подібного роду системного аналізу.

АСМ Smart Grid призначені виконувати низку необхідних функцій.

Збір даних і моніторинг компонентів мережі. Низьковитратні smart-перетворювачі та аналітичні інструменти стануть джерелом даних системи і споживачів для кожного необхідного АСМ вузла даних. Нові низьковитратні пристрої забезпечать певні умови роботи компонентів енергосистеми, а також повну оцінку стану системи шляхом впровадження та інтеграції АСМ. Інформація буде передаватися за допомогою інтегрованої комунікаційної системи в АСМ для аналізу даних в режимі, близькому до режиму реального часу. Крім того, вимірювальні прилади, інтегровані з тимчасовими сигналами глобальної системи позиціонування (GPS, англ.) дадуть можливість визначати стан енергосистеми в перспективі.

Аналіз даних. Доступність проведення аналізу в вузлових точках мережі і високошвидкісних процесорах обробки даних, отриманих у режимі реального часу, зробить реальним швидке поширення вдосконалених можливостей аналітичних інструментів і сприятиме розвитку цих інструментів.

Діагностування і рішення проблем. Можливість роботи з даними, отриманими в режимі майже реального часу від високошвидкісних комп'ютерів, дасть можливість експертам вибрати рішення для існуючих, раптово виниклих і потенційних проблем на рівні системи, підсистеми та її компонентів. Імовірність успіху кожного рішення буде також визначена, а результати – доступні операторам і персоналу.

Прийняття у разі необхідності автономних дій. У сучасній енергосистемі принципи роботи значно зміняться за рахунок впровадження комунікаційних систем, що діють в режимі реального часу і містять вдосконалені аналітичні

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

технології. Такі нововведення зроблять можливими автономні дії при визначенні проблеми і відповідної реакції на неї.

Надання інформації та можливостей для операторів. Крім того що АСМ забезпечують «рушійні» (пускові) для контролюючих пристроїв сигнали, вони також надають інформацію операторам. Для доцільності даної функції потрібно, щоб величезний обсяг даних, який збирається системою контролю для власного використання, у відфільтрованому вигляді передавався програмами візуалізації, які, у свою чергу, скоротять величезний обсяг даних до формату, що дозволяє операторам миттєво оцінювати стан системи. Дані будуть створювати основу при прийнятті рішень операторами. Коли алгоритми контролю визначають дії оператора (наприклад, дії, не призначені до виконання у автономному режимі контролю), АСМ почнуть створювати сприятливі умови для виконання цих дій. Крім того, коли буде запущений автономний режим контролю, дії автоматики і результати цих дій стануть доступні оператору.

Інтеграція з іншими широко розповсюдженими процесами і технологіями. Більшість даних, зібраних АСМ, а також результати, отримані завдяки аналізу цих даних, у даний час не становлять значної цінності для безлічі інших широко поширених процесів і технологій. Володіючи такими новими даними, інші процеси і технології можуть бути значно покращені. Зворотний зв'язок дозволить вдосконаленим методологіям контролю досягти ще більшою мірою інтелекту, що згодом поліпшить функції самовідновлення сучасної мережі.

Прогнозування навантаження і планування роботи системи. Володіння великим обсягом інформації про події у режимі «майже реального» часу знизить необхідність оцінювати рівень навантаження у минулому. Також система стане отримувати точну, відповідну обставинам інформацію про навантаження, що в результаті сприятиме формуванню більш точних прогнозів навантаження у і оптимізує процес прийняття рішень щодо того, коли і де будуть потрібні нові додаткові потужності.

Технічне обслуговування. Інформація про стан компонента у режимі «майже реального» часу і інформація про навантаження зроблять можливим значне скорочення кількості виходів з ладу обладнання, а також зниження витрат, що відносяться на підтримку реактивної потужності. Результати процесу технічного обслуговування (включаючи підтримку поточного стану) будуть повідомлятися (встановлювати зворотний зв'язок) із технологіями АСМ з метою поліпшення їх можливості аналізувати можливий ризик.

Управління відключеннями подачі електроенергії (простоями системи). Система управління простоями буде використовувати необхідну інформацію від усіх споживачів і компонентів системи (інтегрованих і проаналізованих за допомогою АСМ), щоб точно визначити місце збою і його причину. Така інформація також дозволить більш точно визначити час повернення пошкодженої ділянки в роботу.

Важливу роль в оперативному керуванні у рамках концепції Smart Grid також відіграє інтегрований інтерфейс і методи підтримки прийняття рішень (далі – IIDS – Improved interfaces and decision support, англ.), що перетворюють складні дані енергосистеми в інформацію, яка зрозуміла людині-оператору.

Анімація, зафарбовування контуру, віртуальна реальність та інші технології відображення даних дозволять запобігти перевантаження даними і допоможуть операторам ідентифікувати, аналізувати і реагувати на проблеми. У багатьох

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

ситуаціях час, відведений оператору на прийняття рішення, скоротиться з годин до хвилин і навіть секунд.

Нижче наведені основні області, в яких виявляються основні переваги технологій IIDS.

Візуалізація. IIDS може працювати з великим обсягом даних (зібраних іншими інноваційними технологіями) та інтегрувати до формату, строків та технічних категорій, найбільш важливих для системних операторів для підтримки дій та рішень операторів. Методи візуалізації дозволять представляти цю інформацію у візуальному форматі, який швидко сприймається.

Підтримка прийняття рішень. IIDS-технології можуть виявляти існуючі та прогнозувати нові проблеми, забезпечуючи аналіз різних ситуацій для підтримки прийняття рішень. Для ситуацій, що вимагають дій системного оператора, надаватимуться різні варіанти дій, оцінки ймовірностей успіху і ризику їх здійснення.

У міру просування до сучасної енергетичної системи на базі концепції Smart Grid значні досягнення в галузі технологій IIDS стануть доступними і дозволять уникнути перевантаження даними, які можуть перешкодити системним операторам у розумінні реальних режимів функціонування мережі.

Комп'ютери, що підтримують ці технології, здатні приймати обширний потік даних у режимі, близькому до реального часу, обробляючи ці дані за допомогою різних аналітичних програм, і експертних систем, надаючи оператору список рекомендованих дій.

Надаючи передовим інструментам управління можливість брати на себе все більше функцій аналізу та контролю, оператор-людина зможе більшою мірою концентруватися на оцінці та управлінні станом енергетичної системи. Крім того, питання діагностики аналізу якості електроенергії вимагають доступності відповідних даних і складного аналізу для визначення причини і місця виникнення порушень якості електропостачання.

Здатність сучасної мережі по збору та аналізу необхідних даних у реальному часі та візуалізація за рахунок використання сучасних методів дадуть можливість оператору значно скоротити час, що витрачається на вирішення питань про якість електроенергії.

У цілому при поліпшенні технологій інтерфейсу та підтримки прийняття рішень на місці мережі будуть більш надійно функціонувати, і менш частими стануть випадки відключення через природні явища та людський фактор. З технологією IIDS складні і великі системи інформації будуть зведені до форматів, що легко сприймаються системним оператором, для виконання таких завдань:

розуміння загального стану мережі; підтримання безпеки мережі та цілісності за рахунок швидкого виявлення та пом'якшення можливих загроз; оперативний розгляд питань якості електроенергії; визначення обладнання в передавальній стані, що дозволить вчасно проводити заміну обладнання; поліпшити загальну експлуатацію та технічне обслуговування всієї системи передачі електроенергії.

Зважаючи на великий досвід та обсяг робіт, проведених для розробки Smart Grid технології варто розглянути можливість адаптації її ідей розвитку управління в українську енергетику, зокрема для тягового електропостачання залізниці, яка є одним з найбільших споживачів електроенергії.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

До причин, що визначають необхідність удосконалення управління тяговим електропостачанням залізниці, належать [7]:

- ускладнення режимів роботи пристроїв тягового електропостачання;
- підвищення вимог до надійності і безперебійності функціонування електротехнічного устаткування тягових підстанцій, контактної мережі, системи управління і тягового електропостачання в цілому;
- розширення області застосування автоматизованих систем управління і автоматичного контролю;
- розвиток теоретичних основ автоматизації управління та мікропроцесорної техніки;
- для забезпечення високої швидкості та надійності ухвалення рішень управління сучасними пристроями тягового електропостачання має здійснюватися сучасними інтегрованими телемеханічними комплексами;
- зменшення впливу людського фактора в експлуатації та ремонті тягових електромереж.

Розвиток і вдосконалення систем управління електропостачання електрифікованих залізниць України вимагає визначення стратегічних принципів побудови їх математичного забезпечення, особливо в частині, що стосується автоматизації процесів підготовки і вибору рішень.

В основу методології підвищення технічної досконалості та надійності функціонування систем автоматизованого управління покладена їх подальша інтелектуалізація і апаратно-програмна реалізація.

Через складність об'єктів електропостачання і процесів забезпечення роботи тягових підстанцій, дослідження властивостей цих об'єктів і процесів лежить в області розробки і розвитку математичних моделей, методів і комплексів програм [8].

Часто більшість пошкоджень обумовлена незначним числом типів устаткування. З'ясувавши причини появи істотно важливих відмов, можна усунути майже всі простой, зосередивши зусилля на ліквідації саме цих причин.

Для вирішення цих проблем слід використовувати сучасні системи діагностики і технічного обслуговування. Кожен використовуваний в системі моніторингу метод діагностики обладнання повинен бути оснащений вбудованою експертною системою, що працює в автоматичному режимі.

На підставі зібраних статистичних даних та порівняльної оцінки всього енергетичного обладнання можна буде виявити критичні місця в єдиному технологічному ланцюзі всього енергетичного об'єкта та сформулювати порівняльний висновок про технічний стан кожної ланки контрольованої підстанції, на підставі якого мають плануватися всі ремонтні та сервісні роботи.

Кожен з об'єктів мережі тягового електропостачання в певний момент часу знаходиться в одному із можливих для нього станів. Стан об'єкта і навколишнього середовища, що складається в даний час, включаючи систему управління, утворюють ситуацію.

Безліч ситуацій може бути розділена на підмножини штатних і нештатних ситуацій, які, в свою чергу, можуть бути розділені на окремі класи. Кожному класу або окремій ситуації відповідає одне або декілька можливих керівних рішень, найдоцільніших в даний момент по наявних знаннях.

Реально мають місце ситуації, в яких точно визначити стан об'єкта в даний момент часу неможливо з причини неповноти або неоднозначності початкової інформації при наявних тимчасових та інших обмеженнях.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Зважаючи на це, напрямок вдосконалення програмної складової інформаційних технологій оперативного управління тяговими електромережами полягає в такому: розробка складніших багатокрокових алгоритмів прийняття рішень для кожного з функціональних об'єктів мережі тягового електропостачання відповідно до можливих їхніх станів;

розробка тимчасових алгоритмів для невизначених станів, які діяли б до втручання персоналу з метою послаблення можливих небезпечних ситуацій;

розробка інформативної функції видання інструкцій і довідкової інформації персоналу в різних нештатних ситуаціях;

розробка програмного забезпечення автоматизованих систем управління з можливістю навчання з метою зменшення кількості можливих нештатних ситуацій та невизначених станів;

вдосконалення функції діагностики, виведення інформації про місце, час та характер пошкодження, можливі шляхи його усунення;

збір статистичних даних з метою виявлення критичних місць мережі електропостачання та подальшого їх усунення;

контроль та підтримка нормованих параметрів шляхом реконфігурації системи.

Висновки. 1. Проведено аналіз необхідності покращення управління електропостачанням на тягу залізниці, який довів, що напрям удосконалення оперативного керування електропостачанням на тягу залізниці є перспективним і необхідним та обумовлений факторами технологічного прогресу, підвищенням вимог безпеки та енергоефективності, а також фізичного спрацювання та технологічного «старіння» існуючих рішень.

2. Досліджено напрями модернізації інформаційних технологій оперативного керування та інформаційно-комунікаційні технології управління мережею електропостачання Smart Grid і можливості їх адаптації та впровадження в мережу тягового електропостачання залізниці.

3. Запропоновано методологічну концепцію розвитку технологій управління тяговими електромережами, в основу якої покладено ідеї Smart Grid та вимоги до сучасної інформаційної системи керування електропостачанням залізниці.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Стогній Б. С.* Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П. // Технічна Електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52 – 59.
 2. *Чижма С. Н.* Совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой. – Омск, 2014. – С. 7 – 8.
 3. *Находов В. Ф.* Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / Находов В. Ф., Бориченко О. В., Кочетова К. К. // Промелектро. – 2007. – №2. – С. 42 – 48.
 4. *Находов В. Ф.* Визначення оптимальних умов для побудови систем оперативного контролю ефективності енергоспоживання / Находов В. Ф., Іванько Д. О., Бедерак Я. С., Богданова Ю. О. // 36. наукових праць.: Енергетика. Екологія. Людина. // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції ІЕЕ НТУУ «КПІ». – Київ. – 2013. – С. 377.
 5. *Кобец Б.Б., Волкова И.О.* Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
 6. *Marcy Lowe.* U.S. Smart Grid. Finding new ways to cut carbon and create jobs / Marcy Lowe, Hua Fan, Gary Gereffi // CGGC. Duke University. – 2011.
 7. *Матусевич О. О.* Методологічні концепції удосконалення системи керування тягового електропостачання залізниць // Електрифікація транспорту. – 2011. – № 1. – С. 50 – 52.
-

8. Єліна М. С. Підвищення ефективності тягового електропостачання раціональною стратегією діагностики та ремонту // Энергосбережение на железнодорожном транспорте и в промышленности: Материалы IV Международной научно-практической конференции – Дніпропетровськ – 2013. – С. 41.

Oles' S. Gajdenko

(Graduate Student, State University for Transport Economy and Technologies)

**METHODOLOGICAL CONCEPTS OF INFORMATION
TECHNOLOGY OPERATIONAL CONTROL TRACTION ELECTRIC
POWER SUPPLY**

The analysis of the reasons for the necessity progress of control traction power supply is performed. The concept of Smart Grid is the main way of intellectualization power supply networks in the world. The ideas of operating control in Smart Grid technologies and their possible application in traction power supply are researched. The directions of development information technologies of control in the traction power networks are defined.

Keywords: Smart Grid, control traction electric power supply, «An intelligent» electric power network, information technology.

REFERENCES

1. Stogniy B. S. Evolyutsiya intelektualnih elektrichnih mrezh ta ihni perspektivy v Ukraini [The evolution of smart grids and their prospects in Ukraine] / Stogniy B. S., Kirilenko O. V., Prakhovnik A., Denysiuk S. P.; *Tekhnichna Elektrodinamika* [Technical Electrodynamics]. 2012. – № 5. – P. 52 – 59.
2. Chizhma Sergey Nikolaevich. Sovershenstvovanie metodov i sredstv kontrolya kachestva elektroenergii i sostavlyayushchih moshchnosti v elektroenergeticheskikh sistemah s tyagovoy nagruzkoy [Improvement of control methods for power quality and power components in electricity systems with the traction charge] – Omsk, 2014. – P. 7-8.
3. Nahodov V. F. Analiz diyuchih v Ukraini metodyk normuvannya pytomyh vitrat palivno-energetichnih resursiv [Analysis of methods setting norms unit costs energy resources in Ukraine] / Nahodov V. F., Borychenko O. V., Kochetova K. K. // *Promelectro*. – 2007. – №2. – P. 42-48.
4. Nahodov V. F. Vyznachennya optimalnyh umov dlya pobudovi system operativnogo kontrolyu efektyvnosti energospozhivannya [Determination of optimal conditions for the construction systems of operational control energy efficiency] / Nahodov V. F., Ivanko D. O., Bederak J. S., Bogdanova Y. A. // *Zb. Naukovykh praz. Energetika. Ekologiya. Lyudina* / *Materialy V mlynarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii IEE NTUU «KPI»* [Collection scientific papers. Energy. Ecology. Human. / Proceedings of V International Scientific Conference IEE NTUU «KPI»]. – Kyiv, 2013. – P. 377.
5. Kobets B. B., Volkov I. O. Innovatsyonnoe razvitiye elektroenergetiki na baze koncepcii Smart Grid [Innovative development of electric power based on the Smart Grid concept]. – M.: Energy IAC, 2010. – 208 p.
6. Marcy Lowe. U.S. Smart Grid. Finding new ways to cut carbon and create jobs / Marcy Lowe, Hua Fan, Gary Gereffi / CGGC. Duke University – 2011.
7. Matusevych A. A. Metodologichni kontseptsii udoskonalennya sistemi keruvannya tyagovogo elektropostachannya zaliznits [Methodological concept of improving the control system of railways traction power] / *Electrification of transport*. – 2011. – №1. – P. 50 – 52.
8. Yelina M. S. Pidvischennya efektyvnosti tyagovogo elektropostachannya ratsionalnoyu strategiyu diagnostiki ta remontu [Improving the efficiency of power traction by rational strategy for diagnostics and repair] // *Energoberejenie na jeleznodorozhnom transporte i v promyshlennosti: Materialy IV Mejdunarodnoi naukovo-prakticheskoy konferencii* [Power on railroad and in the industry: Proceedings IV International scientific and practical conference] – Dnipropetrovsk, 2013. – P. 41.

УДК: 629.354:004.942

*І. В. Савельєва, д.е.н, доцент
(доцент кафедри «Морські перевезення», Одеський Національний
Морський Університет)
О. Л. Дрожжін
(асистент кафедри «Морські перевезення», Одеський Національний
Морський Університет)*

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ РУХУ ФІДЕРНИХ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ

Стаття присвячена оптимізації маршрутів руху фідерних суден-контейнеровозів на магістрально-фідерній судноплавній лінії. В роботі враховано нерівномірність розподілу порожнього контейнерного обладнання по портах лінії і запропоновано рішення щодо визначення кількості обладнання, яке підлягає репозиції.

Ключові слова: лінійне судноплавство, судно-контейнеровоз, порт перевалки (хаб), маршрутизація, фідерна судноплавна лінія.

Статья посвящена вопросу оптимального движения фидерных судов-контейнеровозов на магистрально-фидерной судоходной линии. В работе учтена неравномерность распределения порожнего контейнерного оборудования по портам линии и предложено решение по определению количества оборудования, которое подлежит репозиции.

Ключевые слова: линейное судоходство, судно-контейнеровоз, порт перевалки (хаб), маршрутизация, фидерная судоходная линия.

Постановка проблеми. Схема руху тоннажу становить базис контейнерної транспортно-технологічної схеми. Організація магістрально-фідерних ліній доцільна з точки зору концентрації вантажопотоків і дозволяє скоротити інтервал відправлення суден, що призводить до підвищення якості транспортного обслуговування вантажовласників, і в результаті до ефективності роботи лінійного флоту. Тому оптимізація маршрутів руху тоннажу на контейнерних судноплавних лініях, зокрема на фідерній ділянці складних ліній, є центральною проблемою в питаннях організації роботи контейнерного флоту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню різних питань, пов'язаних з формуванням маршрутів лінійного тоннажу, присвячена велика кількість робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників. Теоретичні положення з обґрунтування організації складних магістрально-фідерних ліній викладені в [1]. В інших джерелах [2] запропоновано модель, рішення якої побудоване на евристичному алгоритмі, що поєднує в собі логічні, евристичні, наближені і строгі способи отримання оптимальних рішень і дозволяє обрати оптимальну магістрально-фідерну схему руху з урахуванням якості обслуговування вантажовласників.

© Савельєва І. В., Дрожжін О. Л., 2014

Дослідженню параметрів маршрутизації з метою визначення та економічного обґрунтування умов, при яких доцільним є створення окремих маршрутних контейнерних ліній, або об'єднання декількох малих контейнеропотоків в єдину збірну лінію, присвячені роботи [3, 4]. В роботі [5] запропоновано рішення з освоєння факультативних контейнеропотоків суднами, які обслуговують лінії з простою і складною схемами руху тоннажу.

Мета статті. У запропонованій статті розглянуто проблему вибору маршруту руху судна-контейнеровоза на фідерній ділянці контейнерної лінії на базі моделі частково цілочисельного лінійного програмування.

Рішення задачі полягає у визначенні оптимального маршруту для фідерного судна-контейнеровоза, у якій критерієм оптимальності обрана максимізація прибутку судноплавної компанії від перевезення контейнерів з урахуванням руху порожнього контейнерного обладнання з портів з надлишком у порти з нестачею.

Виклад основного матеріалу дослідження. Фідерні сервіси в більшості своїй, організуються за щотижневим графіком відправлень. Ці сервіси пропонуються клієнтурі на досить тривалі терміни – від декількох місяців до декількох років. Тому рішення про відкриття фідерного сервісу має бути орієнтоване як на фактичні параметри, так і на прогнозовані, такі як сезонні коливання контейнеропотоків протягом року, тенденції з розвитку ринку, рівень конкуренції в сегменті подібних послуг тощо.

Контейнерні судноплавні компанії орієнтовані на попит (перспективні і вже існуючі контейнеропотоки) на контейнерні перевезення в будь-якому з можливих портів заходу, і ці показники значною мірою визначають рішення по організації фідерного сполучення. Фактичні та прогнозовані показники, що описують кількісну оцінку контейнеропотоку, як правило, розраховуються і коригуються на підставі щотижневих звітів разом із показниками по видатках та доходах. Окрім іншого, на рішення по відкриттю фідерного сервісу впливає багато інших параметрів, такі як швидкість і розміри суден на проектній лінії, кількість доступного на даний момент тоннажу тощо.

Судноплавні компанії розподіляють свої судна за напрямками, які включають в себе від двох і більше портів заходу. Вибір портів траншипменту (портів-хабів) грає виняткове місце в проектуванні фідерної лінії. Ці порти є єдиними між магістральною і фідерною ділянками маршруту. Таким чином, порт-хаб є початковим і кінцевим для будь-якого замкнутого фідерного маршруту. Регулярні фідерні маршрути пов'язують «хаб» з кількома дрібнішими фідерними портами, розташованими в одному регіоні з портом-хабом.

Контейнери, які завантажені на фідерне судно в одному порту, як правило, транспортуються в кілька портів призначення. Розклади фідерних контейнерних маршрутів, що включають дати і час приходу/відходу в/з кожного порту мають бути оголошені заздалегідь (одна з ознак лінійного судноплавства).

З урахуванням вищезазначеного, для моделювання були зроблені такі припущення:

- фідерною лінією вважається морський маршрут в межах одного і того самого географічного регіону, який включає в себе кілька контейнерних спеціалізованих портів, всі з яких сполучаються з портом-хабом;
- не є обов'язковими суднозаходи в усі контейнерні порти регіону; в деяких випадках суднозаходи або освоєння усієї кількості контейнерів, пред'явлених до

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

перевезення в порту, може бути недоцільним у зв'язку із високими портовими зборами, витратами по НРР та (або тому) за причин недостатньо об'ємного контейнеропотоку;

- фідерне судно може зайти в один порт не більше одного разу (умова Ейлерова циклу в графі);

- маршрут має бути замкнутим, тобто початковий і кінцевий порти збігаються;

- в порту-хабі відбувається перевалка контейнерів з магістральної лінії (чи на магістральну лінію);

- судноплавна компанія, яка надає фідерний сервіс, приймає на себе транспортні витрати, пов'язані з навантаженням контейнерів і витрати по евакуації порожніх контейнерів, а також сплату портових зборів;

- модель передбачає щотижневий відомий попит на перевезення контейнерів для кожної пари портів. Це припущення справедливе, оскільки судноплавна компанія має дані по контейнерообігу за попередні періоди і за прогнозами попиту на підставі букінг-нот вантажовідправників;

- кількість контейнерів, що завантажуються в порту, може бути менше кількості контейнерів, що є у наявності в цьому порту; деякі партії, які пред'являються до перевезення, можуть бути неприбутковими для фідерного обслуговування в першу чергу через невелику партійність, низькі тарифи тощо;

- загальна кількість завантажених і порожніх контейнерів на фідерному судні не може перевищувати його контейнеромісткість на будь-якій з ділянок маршруту;

- попит на порожні контейнери в порту дорівнює загальній кількості завантажених контейнерів, які прибувають в порт у той самий період (умова дотримання балансу);

- якщо в порту має місце дефіцит контейнерного обладнання, то нестача компенсується лізинговим парком контейнерів з припущенням, що є достатня пропозиція для здачі в лізинг.

В межах згаданих припущень треба вирішити такі завдання:

- по визначенню кількості портів заходу і їх послідовності на маршруті;

- по визначенню розміру контейнерних партій, що будуть перевозитися між будь-якими парами портів на маршруті.

Порти заходу, послідовність заходження і контейнеропоток є факторами, які безпосередньо впливають на доходи і витрати, а також, як наслідок, визначають рівень рентабельності контейнерної лінії.

Вихідні дані моделі:

L – кількість портів;

$l_{(i,j)}$ – відстань з порту i в порт j , милі;

v – швидкість судна-контейнеровоза, вуз.;

R_T, R_C – питомі витрати палива і мастильних матеріалів відповідно, т/Квт·г;

C_T, C_C – вартість палива і мастила відповідно, дол. США/т;

W^K – контейнеромісткість судна, дол. США;

D – вагова водотоннажність фідерного контейнеровоза, т ;

A – адміралтейський коефіцієнт;

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

$N_{\text{вих}}$	–	потужність двигуна, <i>Квт</i> ;
C^q	–	добова тайм-чартерна ставка, <i>дол.США/TEU</i> ;
$T_{\text{max}}^{кр-р}, T_{\text{min}}^{кр-р}$	–	максимальний і мінімальний час кругового рейсу, діб;
$n_{i,j}^{\text{вант}}$	–	щотижнева очікувана кількість навантажених контейнерів, що заявлені до перевезення між портами i і j , TEU
$n_{i,j}^{\text{пор}}$	–	кількість порожнього контейнерного обладнання, що зберігається в порту i , TEU
$f_{(i,j)}$	–	ставка морського фрахту на перевезення 1TEU між портами i та j , <i>дол.США/TEU</i> ;
$HPP_{\text{навант}}^{\text{нав}}$	/	вартість навантажувально-вивантажувальних робіт в порту i
$HPP_{\text{розвант}}^{\text{нав}}$	–	умовного контейнерного еквівалента з вантажем, <i>дол.США/TEU</i> ;
$HPP_{\text{навант}}^{\text{пор}}$	/	вартість навантажувально-вивантажувальних робіт в порту i
$HPP_{\text{розвант}}^{\text{пор}}$	–	умовного контейнерного еквіваленту порожнем, <i>дол.США/TEU</i> ;
$C_{\text{сз}}$	–	портові збори, <i>дол. США</i> ;
$T_{\text{вант}}^{\text{нав}}, T_{\text{вивант}}^{\text{нав}}$	–	середній час навантаження і вивантаження умовного контейнерного еквівалента з вантажем, <i>год/TEU</i> ;
$T_{\text{вант}}^{\text{пор}}, T_{\text{вивант}}^{\text{пор}}$	–	середній час навантаження і вивантаження умовного контейнерного еквівалента порожнім, <i>год/TEU</i> ;
$T_{\text{доо}}^{\text{приб}}, T_{\text{доо}}^{\text{відб}}$	–	час очікування по прибуттю і по відходу у(з) порт(у) i , <i>год.</i> ;
$C_i^{\text{зб}}$	–	вартість зберігання у порту i , <i>дол.США·доб/TEU</i> ;
$C_i^{\text{л}}$	–	вартість по короткостроковому лізингу в порту i , <i>дол. дол.США·доб/TEU</i> ;

Завдання по визначенню оптимального маршруту для фідерного судна, з урахуванням вищевикладеного полягає у відборі оптимального, з точки зору максимізації прибутку, набору портів заходу та їх послідовності, а також партіонності для транспортування між будь-якими двома портами на маршруті. Таке завдання може бути вирішене на основі змішаного цілочисельного лінійного програмування.

Введемо змінну k , якій відповідає певна кількість сегментів на фідерному маршруті. Кожен сегмент описується сполученням між двома послідовними портами (i і j) на маршруті.

Судну-контейнеровозу необхідно завершити маршрут в початковому порту (хабі), мінімальна кількість сегментів дорівнює 2.

Загальна кількість сегментів, які приймаються в розгляд, відповідає змінній K .

Тобто, $K = 2, 3, \dots, n$, $k = 1, 2, 3, \dots, K$. Робота суден на кожному сегменті маршруту характеризується часом доставки і кількістю вантажних і порожніх контейнерів. В моделі прийняті такі позначення для змінних:

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{якщо судно заходить в порт } i, \text{ на сегменті } k, \\ 0, & \text{в протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$q_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо судно переходить з порту } i \text{ в порт } j \text{ на} \\ & \text{сегменті } k, \end{cases}$$

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

0, в протилежному випадку;

$$p_{(i,j),k}^{нав} = \begin{cases} 1, \text{ якщо судно приймає вантаж } (i, j) \text{ наприкінці} \\ \text{сегменту } k, \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$p_{(i,j),k}^{розв} = \begin{cases} 1, \text{ якщо судно розвантажує вантаж } (i, j) \text{ наприкінці} \\ \text{сегменту } k, \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$p_{(i,j),k}^M = \begin{cases} 1, \text{ якщо судно не навантажує і не вивантажує ван-} \\ \text{таж } (i, j) \text{ наприкінці сегменту } k, \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$y_{(i,k)} = \begin{cases} 1, \text{ якщо судно перевозить вантаж } (i, j) \text{ на сегменті} \\ k, \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases}$$

T_k – час рейсу судна на сегменті k , год;

$T^{кр.p}$ – загальний час кругового рейсу, год;

$n_k^{нав}, n_k^{пор}$ – кількість контейнерів у вантажу і порожніх, які перевозяться на сегменті k ;

α_k – первинний порт на сегменті k ;

p^K – прибуток судноплавної компанії від експлуатації фідерного судна на комплексі сегментів маршрута K

тоді,

$$P^K \rightarrow \max \quad (1)$$

в задачі прийняті такі обмеження:

$$\sum_{i=1}^L x_{ik} = 1, \forall i = 1, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{j=1} q_{jik} = x_{ik}, \forall k, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{j=1} q_{ji(k+1)} = x_{ik}, \forall k < K \quad (4)$$

$$\sum_{j=1} q_{ijk} = 1, i = 1, k = 1 \quad (5)$$

$$\sum_j q_{jik} = 1, i = 1, K = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K p_{(i,j),k}^{нав} = y_{(i,j)}, \forall i, j \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K p_{(i,j),k}^{розв} = y_{(i,j)}, \forall i, j \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K p_{(i,j),k}^{нав} \leq x_{(i,j)}, \forall i, j \text{ і } \forall k \quad (9)$$

$$p_{(i,j),k}^{розв} \leq x_{j,k}, \forall i, j \text{ та } \forall k \quad (10)$$

$$p_{(i,j),k+1}^M = p_{(i,j),k}^M + p_{(i,j),k}^{нав} - p_{(i,j),k}^{розв} \quad \forall i, j \text{ та } \forall k \quad (11)$$

якщо $k = K \Rightarrow k+1$ пересувається на $k=1$

$$p_{(i,j),k}^M \leq y_{(i,j)}, \forall i, j \text{ та } \forall k \quad (12)$$

$$n_k^{нав} + n_k^{пор} \leq W^K, \forall k \quad (13)$$

$$T_{\min}^{кр.p} \leq \frac{T_k}{24} \leq T_{\max}^{кр.p} \quad (14)$$

Час кругового рейсу може бути розрахований як сума часу на ходу і на стоянці, а також додаткового часу на швартовочні операції (15).

$$T^{кр.p} = \frac{1}{24} \left(\frac{\sum_i \sum_j L_{ij} q_{ijk}}{v} + \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L n_{i,j}^{нав} y_{(i,j)} (T_{розвi}^{нав} + T_{нав j}^{нав}) + \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L n_{i,j}^{пор} (T_{розвi}^{пор} + T_{нав j}^{пор}) + \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ik} (T_{дод}^{приб} + T_{дод}^{відб}) \right) \quad (15)$$

Обмеження (2) виражає необхідність суднозаходу тільки в один порт кожного сегменту.

Вирази (3) – (6) – мережеві обмеження, що забезпечують умову того, що судно починає і закінчує схему в порту перевалки (хабі). Рухаючись замкнутим маршрутом; судно може здійснити захід, а може ігнорувати порт заходу.

Якщо судно передбачає завантаження вантажем (i, j) наприкінці ділянки k , мають бути задовільні дві умови. По-перше, судно має відвідати порт вантаження i , по-друге, воно має перевести вантаж (i, j) .

Рівності (7) і (8) забезпечують умову можливості судном не приймати вантаж (i, j) , тобто $y_{(i,j)} = 0$, таким чином це судно і не може здійснити навантаження або вивантаження цього вантажу у портах. В протилежному випадку, якщо вантаж обслуговується на ділянці (i, j) , то $y_{(i,j)} = 1$.

Обмеження (9) і (10) відображає умову, що коли судно не відвідує порт відправлення (призначення), відповідний до контейнеропотоку (i, j) наприкінці сегменту k , то воно, відповідно, і не може навантажити (вивантажити) вантаж (i, j) наприкінці ділянки k .

Рівність (11) описує необхідність в перевезенні судном вантажу (i, j) з порту відправлення у порт призначення.

Рішення завдання з маршрутизації фідерних контейнеровозів пов'язане з необхідністю проектування в перспективі стійкого, заздалегідь оголошеного клієнтурі розкладу, отже, маршрути повинні встановлюватися на якийсь тривалий, фіксований термін. Цей період містить в собі декілька кругових рейсів. Таким чином, процес стосується як контейнерів, завантажених під час одного кругового рейсу, так і вивантажених в наступному (обмеження (11) і (12)).

Обмеження по контейнеромісткості (13) припускає, що загальна кількість завантажених і порожніх контейнерів на борту не перевищує контейнеромісткості на кожному сегменті.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Обмеження (14) пов'язане з часом кругового рейсу, розрахованого в годинах. Це обмеження має метою запобігання суднозаходу фідерного судна задовго до (чи задовго після) прибуття магістрального контейнеровоза.

Сумарна кількість навантажених і порожніх контейнерів ($n_k^{вант}$ і n_k^{nop} відповідно) на борту судна на сегменті k , яка описана нерівністю (13), вимагає певних пояснень.

Якщо визначення кількості контейнерів з вантажем, які транспортуються на будь-якому сегменті, є досить простим завданням, то визначення по кількості порожнього контейнерного обладнання, яке підлягає репозиції, є досить складним завданням. Оскільки різниця між прогнозованою кількістю контейнерів, запланованих під навантаження, і фактичною завжди відома на момент «vessel's deadline», то загальна кількість навантажених контейнерів, що перевозяться на будь-якому сегменті визначається таким чином:

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L n_{k(i,j)}^{вант} p_{(i,j)k}^м = n_k^{вант} \quad (16)$$

Для того, щоб визначити кількість порожніх контейнерів для репозиції, введемо наступні допоміжні змінні: кількість порожніх контейнерів, що транспортуються між портами i та j :- $n_{i,j}^{nop}$; кількість контейнерів, які знаходяться на зберіганні в порту i :- $n_i^{зб}$; кількість контейнерів у лізингу в порту i - $n_i^л$

Після зведення до задачі лінійного програмування отримаємо групу нерівностей (17) – (24):

$$n_i^+ - M \cdot g_i \leq 0 \quad (17)$$

$$n_i^{out} - n_i^{in} + n_i^+ \geq 0 \quad (18)$$

$$n_i^{out} - n_i^{in} + n_i^+ - M(1 - g_i) \leq 0 \quad (19)$$

$$n_i^- - M \cdot h_i \leq 0 \quad (20)$$

$$n_i^{out} - n_i^{in} + n_i^- \geq 0 \quad (21)$$

$$n_i^{out} - n_i^{in} + n_i^- - M(1 - h_i) \leq 0 \quad (22)$$

$$n_i^л = n_i^- - \sum_{j=1}^L n_{j,i}^{nop} \quad \forall i \in 1, \dots, L \quad (23)$$

$$n_i^{зб} = n_i^+ - \sum_{j=1}^L n_{j,i}^{nop} \quad \forall i \in 1, \dots, L \quad (24)$$

де

g_i, h_i , допоміжні бінарні змінні, $\forall i \in 1, \dots, L$

n_i^- кількість потрібних порожніх контейнерів в кожному порту i , TEU;

n_i^+ число надлишкових порожніх контейнерів в кожному порту заходу i , TEU;

n_i^{in} кількість контейнерів, що приходять у порт i , TEU;

n_i^{out} кількість контейнерів, що виходять з порту i , TEU;

M досить велика константа.

Таким чином, потоки порожніх контейнерів кореспондуються між двома будь-якими портами i і j , а не для сегментів k . Для того, щоб обчислити за-

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

гальну кількість порожніх контейнерів, що транспортуються на ділянці k , необхідно задати початковий порт сегмента, що позначається як α_k .

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n i \cdot q_{ijk} = \alpha_k, \quad \forall k \quad (25)$$

Тепер кількість порожнього контейнерного обладнання n_k^{nop} може бути розраховане таким чином:

$$n_k^{nop} = \begin{cases} \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^n n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} + \sum_{i=k+2}^n \sum_{j=k+1}^{i-1} n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} & k = 1 \\ \sum_{i=k+2}^n \sum_{j=k+1}^{i-1} n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^n n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} + & 1 < k < K-1 \\ + \sum_{i=k+2}^n \sum_{j=k+1}^{i-1} n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} & \\ \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^n n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} & k = K-1 \\ \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} n_{k, \alpha_i, \alpha_j}^{nop} & k = K \end{cases} \quad (26)$$

Витрати фідерного судна з доставки контейнерів структурно поділяються на постійні – витрати, пов'язані з перевезенням контейнерів морем, і змінні – витрати, пов'язані з обробкою в порту [6].

Прибуток судноплавної компанії, P^K , розрахуємо як різницю між доходами, які отримано від транспортування навантажених контейнерів P_K , транспортними витратами R_K' та витратами по евакуації порожнього обладнання R_K'' .

$$P^K = P_K - R_K' - R_K'' \quad (27)$$

$$R_K' = C^q \cdot T^{np,p} + \sum_{k=1}^K \frac{(C_T R_T + C_C R_C) \cdot D^{\frac{2}{3}} \cdot v^3 \cdot 0,7457 \cdot T_k}{A} + \quad (28)$$

$$+ \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K C_{cs} \cdot W^K \cdot x_{ik} + \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^L n_{i,j}^{вант} y_{(i,j)} (HPP_{навант_i}^{вант} + HPP_{розвант_i}^{вант})$$

$$R_K'' = \sum_{i=1}^n (C_i^{\text{зб}} \cdot n_i^{\text{зб}} + C_i^{\text{л}} \cdot n_i^{\text{л}}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n n_{i,j}^{nop} (HPP_{навант_i}^{nop} + HPP_{розвант_i}^{nop}) \quad (29)$$

$$P^K = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L n_{i,j}^{вант} \cdot y_{(ij)} \cdot f_{ij} \quad (30)$$

Висновки та пропозиції. Запропонована вище модель дозволяє визначити оптимальний маршрут для контейнерного фідерного судна для певного числа сегментів K . Продовження дослідження може бути пов'язаним із визначенням оптимального набору таких сегментів. Така проблема полягає в області комбінарної оптимізації і може бути вирішена за допомогою задачі «про рюкзак», чи одним з методів, побудованим на тому ж алгоритмі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панарин П. Я. Организация работы линейного флота [Текст] : монография / П. Я. Панарин. – М.: Транспорт, 1980. – 190 с. : ил., граф., табл. – Библиогр.: 188 с.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

2. Совершенствование форм и методов управления работой флота и портов: отчет о НИР (промежуточный) / Одесский институт инженеров морского флота (ОИИМФ) ; рук. П. Я. Панарин; исп.: П. Н. Берёзов, Я. А. Горшков, В. И. Доронин. – Одесса, 1987. – 88 с. № ГР 01860099289.
3. Бруев А. П. Совершенствование методов планирования и организации перевозок грузов в контейнерах на речном транспорте: дис. к. т. н.: 05.22.19 / Бруев Андрей Павлович. – Н. Н, 2004. – 223 с.
4. Бруев А. П., Уртминцев Ю. Н. Логистическое обоснование параметров маршрутизации линий. Тр. ВГАВТ, вып. – ГОУ ВПО ВГАВТ, 2003.
5. Кириллов Ю. І. Організація та управління роботою суден в контейнерній транспортно-технологічній системі : дис. к. т. н. : 05.22.01 / Кириллов Юрій Іванович. – Одеса, 2013. – 24 с. – укр.
6. Ковалева Ю. А. Классификация расходов линейных судоходных компаний с учетом влияния изменения размеров судов / Ю.А. Ковалева // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Вип. 36. – Одеса: ОНМУ, 2011. – С. 75-87.

Iryna V. Savelieva, Doctor of Science (Economical Sciences)
(Associate Professor, dep. «Marine Transportation», Odessa National Maritime University)
Oleksiy L. Drozhzhyn
(Assistant Lecturer, Odessa National Maritime University)

THE OPTIMAL NETWORK MODELING FOR THE FEEDER CONTAINER SHIPS

This work is devoted to the design of optimal motion feeder container vessels on the trunk and feeder (hub-and-spoke) shipping line. Given the requirements that apply to feeder lines, formulated the task of choosing the optimal route, consisting of a set of segments, consisting of pairs of ports in the region. On the basis of claims submitted to the feeder vessels operation, developed mathematical model, which allows to select ports of call on the line, and to determine their sequence.

The paper takes into account the uneven distribution of the empty container equipment on the line ports and prepositional solution to determine the amount of container equipment, which is subject to reposition. The solution of the problem is achieved on the basis of a mixed integer linear programming. The criterion function of the problem is focused on maximizing profits container company.

Keywords: liner shipping, containership, hub port, network, feeder shipping line.

REFERENCES

1. Panarin P. Ja. Organizacija raboty linejnogo flota [Text] : monograph / P. Ja. Panarin. – Moskva: Transport Publ, 1980. – 190 p.
2. Sovershenstvovanie form i metodov upravlenija rabotoj flota i portov: otchet o NIR (promezhutochnyj) / Odesskij institut inzhenerov morskogo flota (OIIMF) Publ; P. Ja. Panarin; P. N. Berjozov, Ja. A. Gorshkov, V. I. Doronin. – Odessa, 1987.- 88 p. reg. 01860099289.
3. Bruev A. P. Sovershenstvovanie metodov planirovanija i organizacii perevozok грузов в контейнерах на речном транспорте: diss. cand. of techn. science: 05.22.19 / Bruev Andrej Pavlovich. – Nizhnij Novgorod, 2004. – 223 p.
4. Bruev A. P., Urtminceva Ju. N. Logisticheskoe obosnovanie parametrov marshrutizacii linij. VГАVТ Publ. – Nizhnij Novgorod, 2003.
5. Kirillov Ju. І. Організація та управління роботою суден в контейнерній транспортно-технологічній системі : diss. cand. of techn. science: 05.22.01 / Kirillov Jurij Ivanovich. – Odessa, 2013. – 24 p. – ukr.
6. Kovaleva Ju. A. Klassifikacija rashodov linejnyh sudohodnyh kompanij s uchetoм vlijanija izmenenija razmerov sudov / Ju. A. Kovaleva // Rozvitok metodiv upravlinnja ta gospodarjuvannja na transporti: Zb. nauk. prac'. – Vip. 36. – Odesa: ONMU, 2011. – p. 75 – 87.

О. Г. Родкевич, к.т.н.

(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ

У статті розглянуто теоретичний підхід щодо розробки математичної моделі ситуацій, коли транспортна подія з небезпечними вантажами вже відбулась і необхідно ліквідувати її наслідки. Наведено розрахунки, що підтверджують успішність проведення аварійно-відновлювальних робіт при зосередженні відбудовних підрозділів за декількома різними варіантами. Описані практичні аспекти застосування математичних моделей процесів залізничних перевезень небезпечних вантажів та ліквідації наслідків транспортних подій.

Ключові слова: небезпечний вантаж, наслідки надзвичайної ситуації, система масового обслуговування, відбудовний підрозділ, залізничний транспорт, ризик, математична модель

В статье рассмотрен теоретический подход к разработке математической модели ситуаций, когда транспортное событие с опасными грузами уже произошло и необходимо ликвидировать его последствия. Приведены расчеты, которые подтверждают успешность проведения аварийно-восстановительных работ при сосредоточении восстановительных подразделений по нескольким разным вариантам. Описаны практические аспекты применения математических моделей процессов железнодорожных перевозок опасных грузов и ликвидации последствий транспортных событий.

Ключевые слова: опасный груз, последствия чрезвычайной ситуации, система массового обслуживания, восстановительное подразделение, железнодорожный транспорт, риск, математическая модель.

Вступ. Залізничним транспортом перевозиться значна кількість вантажів з різними пожежовибухонебезпечними властивостями, які при аваріях негативно впливають на навколишнє середовище. Тому зрозуміло, що на всіх рівнях організації перевезень небезпечних вантажів повинна приділятися належна увага заходам, спрямованим на охорону навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення безпеки життєдіяльності людини. Реалізація відповідних заходів має забезпечувати рівновагу, сталість і гнучкість природних систем, порушення яких може призвести до важких негативних наслідків і екологічних катастроф.

У разі виникнення надзвичайної ситуації реалізуються такі основні заходи [1].

– організація захисту персоналу;

© Родкевич О. Г., 2014

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

- переміщення оперативної групи, спеціальних сил і засобів у режимі виникнення надзвичайної ситуації;
- організація роботи, що пов'язана з локалізацією або ліквідацією надзвичайної ситуації із залученням відповідних сил і засобів;
- визначення межі території, на якій виникла надзвичайна ситуація;
- організація робіт, спрямованих на забезпечення сталого функціонування об'єктів транспортного комплексу, життєзабезпечення населення, постраждалого внаслідок події (надзвичайної ситуації);
- організація роботи, що пов'язана з виконанням завдань транспортного забезпечення, а також перевезення спеціальних вантажів, сил і засобів, задіяних для локалізації надзвичайної ситуації та її наслідків;
- здійснення постійного контролю за станом відбудовних (відновлювальних) робіт на об'єктах транспортного комплексу, що зазнали впливу від наслідків надзвичайної ситуації, виконання завдання транспортного забезпечення;
- інформування вищих органів управління щодо рівня надзвичайної ситуації та вжитих заходів, пов'язаних з реагуванням на цю ситуацію.

На місці проведення робіт з ліквідації наслідків транспортних подій приймається рішення щодо тактики ведення аварійно-відбудовних робіт, гасіння пожежі, локалізації забруднення, нейтралізації та дегазації небезпечних вантажів і рухомого складу, техніки та місцевості, проведення заходів медичного захисту та забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя, якомога скорішого відкриття руху, максимального збереження рухомого складу тощо, яке оформляється у вигляді оперативного плану відбудовних робіт [1].

При цьому здійснюються постійний моніторинг ситуації на місці скоєння небезпечної ситуації на підставі чого уточнюється оперативний план проведення робіт.

Для керування безпекою функціонування залізничного транспорту необхідні оцінки і прогнози ризику транспортних подій. Нині застосовуються декілька методів прогнозування ризиків, пов'язаних з надзвичайними подіями природного та техногенного характеру.

За призначенням такі методи поділяються на методи прогнозування виникнення надзвичайних подій та методи прогнозування наслідків таких подій [3 – 7].

Розробка математичної моделі. Надійне та швидке прогнозування наслідків надзвичайної ситуації можливе лише на основі математичних моделей, що описують можливі наслідки розвитку ситуації, зокрема фізичних і техногенних процесів, що її супроводжують.

Розглянемо систему «відбудовні підрозділи – аварійний рухомий склад і об'єкти залізничного транспорту» як замкнену стохастичну мережу – сукупність взаємопов'язаних систем масового обслуговування.

Вигляд мережі залежить від визначеної оперативним планом відбудовних робіт черговості ліквідації наслідків аварійної ситуації – зосередження на них відповідних сил і засобів та проведення визначених робіт.

Загальний вигляд такої замкненої стохастичної мережі подано на рис. 1. Кількість відбудовних підрозділів n , які необхідні для проведення відбудовних робіт на усіх аварійних об'єктах і рухомому складі залізниці визначаються відповідними розрахунками [7].

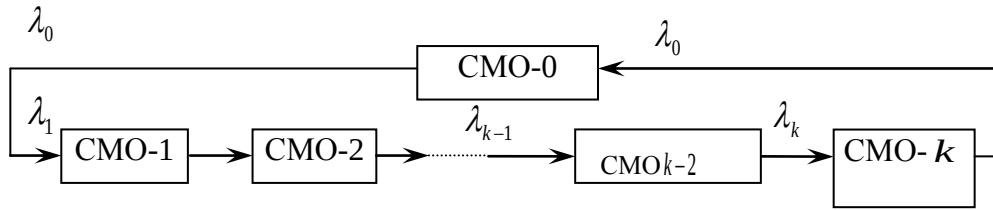


Рис. 1. Замкнена стохастична мережна система «відбудовні підрозділи – аварійний рухомий склад і об’єкти залізничного транспорту» (загальний вигляд)

При цьому

$$n = \sum_{i=1}^k n_i, \quad (1)$$

де k – кількість аварійних об’єктів і рухомого складу;

n_i – кількість відбудовних підрозділів, необхідних для ліквідації наслідків аварій на i -му об’єкті (рухомому складі).

СМО-0 являє собою модель сил і засобів для проведення аварійно-відбудовних робіт, які знаходяться у підпорядкуванні оперативного штабу з ліквідації транспортної події.

Системи масового обслуговування СМО-1, ..., СМО- k моделюють собою аварійні об’єкти і рухомий склад. Зважаючи на те, що кількість відбудовних підрозділів, які прямують до місця транспортної події, обмежена, замкнена мережа завжди має стаціонарний режим [8].

Розрахунок характеристик замкненої стохастичної мережі проводиться у припущенні того, що тривалість обслуговування заявок у системі масового обслуговування, які входять до мережі, є випадковими величинами, які розподілені за експоненційним законом. Важливим обґрунтуванням схеми дослідження даної мережі є й те, що вона може розглядатися як сукупність незалежних систем масового обслуговування з простішими входними потоками [8].

Мережа характеризується такими параметрами [9]:

- кількістю $(k + 1)$ систем масового обслуговування, які входять до мережі;
- кількістю обслуговуючих прикладів для кожної системи масового обслуговування $(n_0, \dots, n_k)$;

– матрицею перехідних ймовірностей $P = \|P_{ij}\|$, де P_{ij} – ймовірність того, що заявка після проходження i -ї системи масового обслуговування надійде на вхід j -ї СМО;

- кількістю n заявок, які циркулюють у замкненій мережі;
- інтенсивністю λ_j потоку заявок на вході j -ї системи масового обслуговування.

Наведемо послідовність розрахунку числових параметрів стохастичної мережі, що розглядається [9, 10].

1. Визначення матриці перехідних ймовірностей – квадратна, розміром $(k + 1) \times (k + 1)$. Індекс 0 у перехідних ймовірностях належить до джерела заявок СМО-0 (сили і засоби, що підпорядковані оперативному штабу):

(2)

$$\frac{x_j}{\lambda_0}, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

(3)

(4)

(5)

2

$$j_n \{n_0, \dots, n_k\} = \frac{P_{n0}^0 \dots P_{kk}^n}{\sum_{A(n,k)} \prod_{j=0}^k P_{n_j}^{(j)}}, \quad (6)$$

У чисельнику (6) – добуток ймовірностей станів системи масового обслуговування, які входять до мережі, а $P_{n_j}^{(j)}$ – ймовірність стану для кожної j -ї СМО.

У знаменнику (5) сумуються всі стани, якщо $\sum_{i=0}^k n_i = n$ (множина таких станів позначається $A(nk)$).

Знаменник у (6) – це нормуючий множник, який вводиться для того, щоб сума ймовірностей усіх можливих станів мережі дорівнювала 1.

Розглянемо детальніше функціонування СМО замкненої стохастичної мережі.

СМО-0 являє собою n -канальну систему масового обслуговування, граф станів якої наведений на рис. 2.

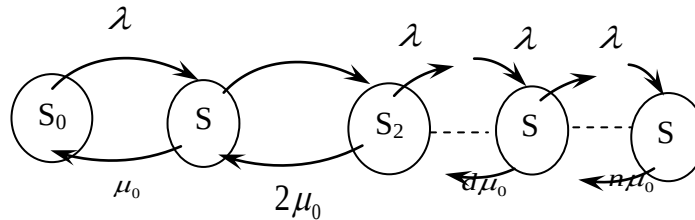


Рис. 2. Граф станів n -канальної СМО-0

Функціонування такої СМО детально розглянутий у [8 – 13].

Фінальні ймовірності станів такої СМО виражаються формулами:

$$P_0 = \left\{ 1 + \frac{\rho}{1!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} \right\}^{-1} \quad P_k = \frac{\rho_k}{k!} P_0, (1 \leq k \leq n) \quad (7)$$

Потік відбудовних підрозділів приймається простішим [8 – 13]:

$$\lambda = \frac{1}{\mu[T_{cp}]}, \quad (8)$$

При цьому інтервал часу між подіями у цьому потоці розподілений за показниковим законом з параметром λ :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, (t \geq 0), \quad (9)$$

Інтервал часу T_g визначається співвідношенням:

$$T_{cp} = \tau_{cn} + \tau_{np}, \quad (10)$$

де τ_{cn} – термін часу сповіщення про надзвичайну ситуацію;

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

τ_{np} – термін часу на оцінювання обстановки на місці транспортної події та прийняття рішення на відправлення відбудовних підрозділів.

Термін часу на збір персоналу відбудовного підрозділу, виконання заходів щодо відправлення відбудовного підрозділу до місця транспортної події визначається відповідним регламентом. Швидкість руху відбудовних підрозділів повинна відповідати встановленій із дотриманням діючих обмежень за станом колії та рухомого складу підрозділу [1].

Тобто, термін часу T_{nn} , необхідний для відправлення і просування відбудовних підрозділів визначається співвідношенням

$$T_{nn} = \tau_{zg} + \tau_n, \quad (11)$$

де τ_{zg} – термін часу, необхідний для відправлення відбудовного підрозділу;

τ_n – термін часу, необхідний для прибуття відбудовного підрозділу на місце транспортної події.

Інтенсивність відправлення та прямування відбудовного підрозділу з місця постійної дислокації буде:

$$\mu_0 = \frac{1}{M[T_{nn}]}. \quad (12)$$

T_{nn} є випадковою величиною, розподіленою за показниковим законом з параметром μ_0 .

Після прибуття на місце транспортної події, відбудовні підрозділи здійснюють розгортання відбудовної техніки і механізмів перед їх застосуванням за призначенням.

Після розгортання техніки і механізмів персонал відбудовних підрозділів здійснює виконання аварійно-відновлювальних робіт згідно з технологічними картами [1].

Швидкість розгортання та їх застосування за призначенням техніки і механізмів певною мірою залежить від умов та обставин на місці транспортної події, фізичної натренованості персоналу підрозділів, способів і пристроїв розгортання тощо. Якщо застосовувати для ліквідації наслідків транспортної події n відбудовних підрозділів з аварійно-відновлювальною технікою однакової продуктивності, то систему масового обслуговування можна подати як СМО з n_1 каналами обслуговування.

Граф станів такої системи поданий на рис. 3.

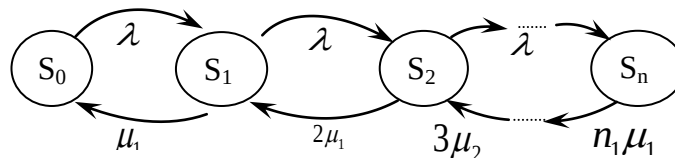


Рис. 3. Граф станів n_1 – каналної системи масового обслуговування

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Фінальні стани такої системи масового обслуговування аналогічні фінальним станам СМО-0, а саме:

$$P_d = \frac{\rho^d}{d!}, (1 \leq d \leq n_1); \quad P_0 = \left\{ 1 + \frac{\rho}{1!} + \dots + \frac{\rho^{n_1}}{n_1!} \right\}^{-1}. \quad (13)$$

Якщо для ліквідування транспортної події застосовується один агрегат, то система масового обслуговування, яка моделює роботу такого підрозділу являє собою простішу СМО з відмовами, граф станів якої поданий на рис.4.

Фінальні стани такої системи [13]:

$$P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}; \quad P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad (14)$$

За умови, що для ліквідування наслідків транспортної події використовується техніка з різною продуктивністю, тоді для застосування двох агрегатів, системи масового обслуговування що моделює їх функціонування, має вигляд, зображений на рис. 5.

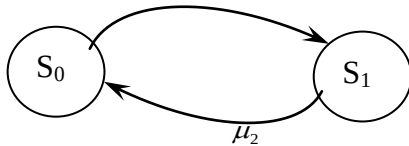


Рис. 4. Граф станів системи масового обслуговування, яка моделює роботу підрозділу

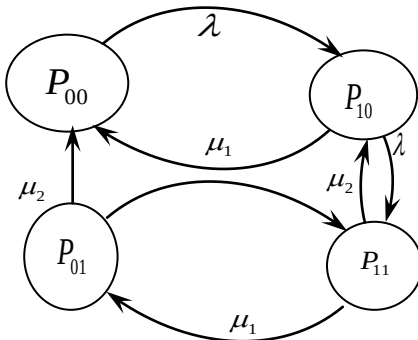


Рис. 5. Граф станів системи масового обслуговування з послідовно розташованими приладами різної продуктивності

Ймовірність станів системи, зображених на рис. 5:

P_{00} – перший і другий прилади вільні від обслуговування;

P_{10} – перший прилад зайнятий обслуговуванням, другий вільний;

P_{01} – перший прилад вільний, другий зайнятий обслуговуванням;

P_{11} – обидва прилади зайняті обслуговуванням.

Система алгебраїчних рівнянь станів системи[10]:

$$\begin{cases} \lambda P_{00} = \mu_1 P_{11} + \mu_2 P_{01} \\ (\lambda + \mu_2) P_{01} = \mu_1 P_{11} \\ (\lambda + \mu_1) P_{10} = \lambda P_{00} + \mu_2 P_{11} , \\ (\mu_1 + \mu_2) P_{11} = \lambda P_{01} + \lambda P_{10} \\ P_{00} + P_{01} + P_{10} + P_{11} = 1 \end{cases} \quad (15)$$

Розв'язання системи (15) дає:

$$\begin{aligned} P_{відм} = P_{11} &= \frac{\lambda^2}{\lambda^2 + \lambda(\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)} ; \\ P_{00} &= \frac{\mu_1 \mu_2 (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda^2 (\lambda + \mu_2)} P_{11} \lambda + \mu_2 \\ P_{10} &= \frac{\mu_2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda (\lambda + \mu_2)} P_{11} \lambda + \mu_2 \\ P_{01} &= \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_2} P_{11} . \end{aligned} \quad (16)$$

Аналіз функціонування такої системи масового обслуговування, проведений у [13], дає важливий для практики висновок: для того, щоб ефективність обслуговування системи була найбільшою, перший прилад повинен мати вищу продуктивність у порівнянні з другим.

Відобразимо це на прикладі дослідження замкненої стохастичної мережної системи «відбудовні підрозділи – аварійний рухомий склад і об'єкти залізничного транспорту».

Припустимо, що для проведення аварійно-відновлювальних робіт треба 6 підрозділів з технікою однокової продуктивності для кожного підрозділу, тобто $n = 6$. Кількість підрозділів для аварійних об'єктів: $n_1 = 2, n_2 = 1, n_3 = 3$.

При цьому розглянемо для прикладу два варіанти дій:

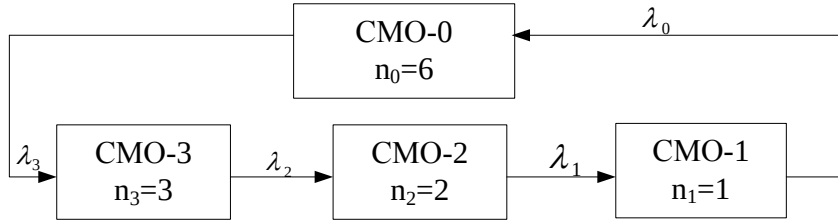
1) На третій аварійний об'єкт (СМО-3) від СМО-0 надходить 3 підрозділи, на другий об'єкт (СМО-2) надходить 2 підрозділи і на перший об'єкт (СМО-1) – один підрозділ;

2) Порядок надходження підрозділів обернений – на перший об'єкт надходить 1 підрозділ, на другий – 2 підрозділи і на третій – 3 підрозділи.

Зрозуміло, що варіантів надходжень відбудовних підрозділів може бути більше, але методика розрахунку параметрів мережі і відповідних висновків, як буде показано нижче, від цього принципово не зміниться.

Варіанти схеми замкненої стохастичної мережі, що розглядається, надані на рис. 6.

Перший варіант



Другий варіант

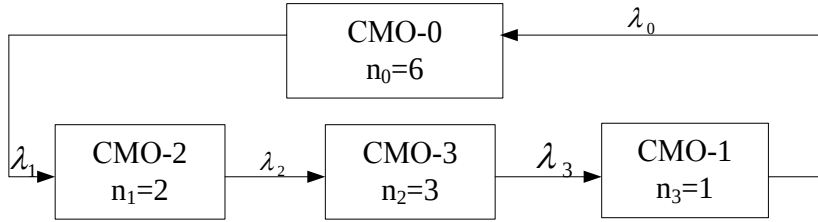


Рис. 6. Варіанти замкненої стохастичної мережної системи

Визначимо матрицю перехідних ймовірностей цієї мережі.

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

Для першого та другого варіанта черговості обслуговування матриця перехідних ймовірностей матиме такий вигляд:

$$\text{Перший варіант } P_1 = \begin{bmatrix} 0001 \\ 1000 \\ 0100 \\ 0010 \end{bmatrix}, \text{ Другий варіант } P_2 = \begin{bmatrix} 0100 \\ 1000 \\ 0010 \\ 0100 \end{bmatrix}, \quad (18)$$

Знайдемо інтенсивності потоків на вході кожної системи масового обслуговування, для чого складемо систему рівнянь виду (19), яка для випадку, що розглядається, буде мати вигляд:

$$\begin{cases} (P_{00} - 1)\lambda_0 + P_{10}\lambda_1 + P_{20}\lambda_2 + P_{30}\lambda_3 = 0 \\ P_{01}\lambda_0 + (P_{11} - 1)\lambda_1 + P_{21}\lambda_2 + P_{31}\lambda_3 = 0 \\ P_{02}\lambda_0 + P_{12}\lambda_1 + (P_{22} - 1)\lambda_2 + P_{32}\lambda_3 = 0 \\ P_{03}\lambda_0 + P_{13}\lambda_1 + P_{23}\lambda_2 + (P_{33} - 1)\lambda_3 = 0 \end{cases} \quad (19)$$

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

З урахуванням (13) та (14) інтенсивності потоків на входах СМО у першому та другому варіантах будуть визначатися співвідношенням:

$$\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_0, \quad (20)$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1. Ймовірності усіх можливих станів СМО,
які входять до мережі за першим та другим варіантом**

Кількість підрозділів для аварійних об'єктів СМО	СМО – 0	СМО – 3	СМО – 2	СМО – 1
	$n_0 = 6$	$n_3 = 3$	$n_2 = 2$	$n_1 = 1$
Ймовірність надходження заявки	$P_0^{(0)} = 0,15$	$P_0^{(3)} = 0,13$	$P_0^{(2)} = 0,09$	$P_0^{(1)} = 0,15$
	$P_1^{(0)} = 0,26$	$P_1^{(3)} = 0,3$	$P_1^{(2)} = 0,36$	$P_1^{(1)} = 0,85$
	$P_2^{(0)} = 0,23$	$P_2^{(3)} = 0,31$	$P_2^{(2)} = 0,55$	
	$P_3^{(0)} = 0,14$	$P_3^{(3)} = 0,26$		
	$P_4^{(0)} = 0,06$			
	$P_5^{(0)} = 0,02$			
	$P_6^{(0)} = 0,05$			
Інтенсивність відправлення та слідування відбудовного поїзда	$\mu_0 = 0,4$	$\mu_3 = 0,3$	$\mu_2 = 0,2$	$\mu_1 = 0,125$

Ймовірність можливих станів мережі визначається за допомогою формули (6), результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Ймовірності можливих станів системи

Ймовірності можливих станів системи	Перший варіант	Другий варіант
I_{M1}	0,003	0,002
I_{M2}	0,003	0,002
I_{M3}	0,01	0,006
I_{M4}	0,02	0,06
I_{M5}	0,1	0,15
I_{M6}	0,2	0,2
I_{M7}	0,7	0,6

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Тобто успішність проведення аварійно-відновлювальних робіт при зосередженні відбудовних підрозділів за першим варіантом більша, ніж при зосередженні таких підрозділів за другим варіантом.

Проте, результати моделювання роботи мережі за першим варіантом свідчать, що потрібно змінити концепцію застосування сил і засобів відбудовних підрозділів, а саме: або збільшити їх кількість, або застосувати техніку різної продуктивності.

Висновки. Для визначення успішності проведення аварійно-відновлювальних робіт відбудовними підрозділами на аварійних об'єктах і в рухомому складі залізничного транспорту, за умови, коли відомі тільки часові характеристики їх діяльності, можливе використання математичного апарату теорії масового обслуговування і, зокрема, математичних моделей на базі замкнених мережних систем.

У роботі застосовані математичні моделі для ймовірнісного оцінювання дій відбудовних підрозділів при проведенні аварійно-відновлювальних робіт на залізничному транспорті. Подальшими напрямками системи, що розглядається, є застосування моделі, яка пропонується, для дослідження мережі, до складу якої входять СМО з різними характеристиками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Родкевич О.Г. Закономірності та використання факторів ефективності системи перевезення небезпечних вантажів. / О.Г. Родкевич // дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.01 Транспортні системи [Текст]. – К.: ДЕТУТ, 2013. – 232 с.
2. Акимов В.А. Основы анализа и управления риском в природных и техногенных сферах. / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
3. Горелова В.Л., Мельникова Е.Н. Основы прогнозирования систем. – М.: ВШ, 1986. – 287 с.
4. Степанов Б.М. Теоретические основы обеспечения безопасности жизнедеятельности. – М.: ВА РВСН, 2001. – 351 с.
5. Гусев Ю.В., Миролюбов Ю.Б. Прогнозирование в военном деле. – М.: Воениздат, 1975. – 279 с.
6. Рабочая книга по прогнозированию / Ред.кол.: Н.В. Бестужев-Лада, – М.: 1982. – 430 с.
7. Методичні рекомендації щодо визначення нормативів часу на проведення аварійно-відновлювальних робіт із використанням основних технічних засобів відбудовних поїздів залізниць України [Текст] : наказ Укрзалізниці від 17.12.08 № 548-Ц. – К. : Укрзалізниця, 2009. – 148 с.
8. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Мир, 1979. – 432 с.
9. Основы теории вычислительных систем / Майоров С.А. и др.: Под ред. С.А. Майорова. – М.: Высшая школа, 1978. – 408 с.
10. Информационные технологии на железнодорожном транспорте / Под ред. Э.К. Лецкого, Э.С. Поддашкина, В.В. Яковлева. – М.: УМК МПС России, 2001. – 668 с.
11. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М.: Сов. радио, 1969. – 352 с.
12. Лукин А.Н. Системы массового обслуживания: Анализ систем массового обслуживания с отказами в военной практике.: Воениздат, 1980. – 189 с.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.

Oksana G. Rodkevych, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

**APPLICATION OF MATHEMATICAL TOOLS OF QUEUING
THEORY TO MODEL THE CONSEQUENCES OF TRAFFIC
ACCIDENTS**

The article focuses on the theoretical approach to the development of mathematical models of situations when traffic accident with dangerous goods have already occurred and it is necessary to eliminate its consequences. The article presents calculations confirming the success of the remediation while focusing recovery units in several different variants. The article highlights practical aspects of mathematical models of dangerous goods transportation processes by rail and elimination the effects of traffic accidents application.

Keywords: dangerous goods, emergency response, queuing system, reconditioning unit, railway transport, risk, mathematical model.

REFERENCES

1. Rodkevych O.H. Zakonomirnosti ta vykorystannia faktoriv efektyvnosti systemy perevezennia nebezpechnykh vantazhiv. / O.H. Rodkevych // Dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.22.01 Transportni systemy [Tekst]. Kyiv: DETUT, 2013. – 232 s.
2. Akymov V.A. Osnovy analiza y upravleniya ryskom v pryrodnykh y tekhnicheskikh sferakh. V.A. Akymov, V.V. Lesnykh, N.N. Radaev. – M.: Delovoi ekspres, 2004. – 352 s.
3. Horelova V.L., Melnykova E.N. Osnovy prohozyrovaniya system. – M.: VSh, 1986. – 287 s.
4. Stepanov B.M. Teoretycheskiye osnovy obespecheniya bezopasnosti zhyznedeiatelnosti. – M.: VA RVS, 2001. – 351 s.
5. Husev Iu.V., Myroliubov Iu.B. Prohozyrovaniye v voennom dele. – M.: Voenydat, 1975. – 279 s.
6. Rabochaia knyha po prohozyrovaniyu / Red.kol.: N.V. Bestuzhev-Lada, – M.: 1982. – 430 s.
7. Metodychni rekomendatsii shchodo vyznachennia normatyviv chasu na provedennia avariino-vidnovliuvalnykh robiv iz vykorystanniam osnovnykh tekhnichnykh zasobiv vidbudovnykh poizdiv zaliznyts Ukrainy [Tekst] : nakaz Ukrzaliznytsi vid 17.12.08 № 548-Ts. – K. : Ukrzaliznytsia, 2009. – 148 s.
8. Kleinrok L. Vychyslytelnye systemy s ocherediamy / Pod red. B.S. Tsybakova. – M.: Myr, 1979. – 432 s.
9. Osnovy teoryi vychyslytelnykh system / Maigorov S.A. y dr.: Pod red. S.A. Maigorova. – M.: Vysshaia shkola, 1978. – 408 s.
10. Ynfarmatsyonnye tekhnolohyy na zheleznodorozhnom transporte / Pod red. Э.К. Letskoho, Э.С. Poddavashkina, V.V. Yakovleva. – M.: UMK MPS Rossy, 2001. – 668 s.
11. Novikov O.A., Petukhov S.Y. Prykladnye voprosy teoryi massovoho obsluzhivaniya. M.: Sov. radyo, 1969. – 352 s.
12. Lukyn A.N. Systemy massovoho obsluzhivaniya: Analiz system massovoho obsluzhivaniya s otkazamy v voennoi praktike.: Voenydat, 1980. – 189 s.
13. Venttsel E.S. Yssledovaniye operatsyi. – M.: Sov. radyo, 1972. – 552 s.

Р. С. Щербина, к. т. н.

(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ

У статті розкрито низку інфраструктурних недоліків, які повинні бути вирішені з метою підвищення ефективності транспортної логістики на території України і забезпечення високого стандарту логістичних послуг в майбутньому. Запропоновано пріоритетні напрями розвитку транспортної логістики на території України. Досліджено мультимодальні перевезення, які поєднують в собі переваги кожного режиму та можуть бути особливо дієвим і ефективним підходом для реалізації напрямів щодо розвитку інфраструктури України. Охарактеризовано взаємозв'язок між мережею внутрішніх водних шляхів та автомобільним і залізничним транспортом України.

Ключові слова: транспортна логістика, напрями розвитку, мультимодальні перевезення, транспортна інфраструктура, механізми вдосконалення.

В статье раскрыт ряд инфраструктурных недостатков, которые должны быть устранены в целях повышения эффективности транспортной логистики на территории Украины и обеспечение высокого стандарта логистических услуг в будущем. Предложены приоритетные направления развития транспортной логистики на территории Украины. Исследованы мультимодальные перевозки, которые сочетают в себе преимущества каждого режима и могут быть особенно действенным и эффективным подходом для реализации направлений по развитию инфраструктуры Украины. Охарактеризована взаимосвязь между сетью внутренних водных путей, автомобильным и железнодорожным транспортом Украины.

Ключевые слова: транспортная логистика, направления развития, мультимодальные перевозки, транспортная инфраструктура, механизмы совершенствования.

Ефективна транспортна логістика необхідна, безпосередньо, для підвищення конкурентоспроможності продукції та послуг, які можуть зробити значний внесок у розвиток економіки і життя людей та національного процвітання.

На сьогоднішній день як держава, так і суспільство висувають все нові вимоги щодо якості послуг транспортних перевезень. Щоб задовольнити заявленим вимогам транспортна система України потребує подальшого поліпшення системи логістики. Існуюча система логістики як і раніше має значні недоліки, які стосуються її ефективності, безпеки та стійкості.

© Щербина Р. С., 2014

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Вони стримують економічний розвиток країни і, отже, повинні бути вирішені.

Логістика розглядається як процес планування, реалізації та контролю ефективного потоку продуктів, інформації і засобів, які необхідні, щоб відповідати вимогам клієнта [1]. Транспорт є основною компонентою логістики, просування товарів між різними точками в ланцюжку поставок. Досягнення ефективності та результативності логістики вимагає:

- підвищення ефективності кожного виду транспорту;
- координації і обміну різними видами транспорту;
- ефективної інтеграції всіх функцій з управління ланцюгами поставок (зокрема це попит, менеджмент, постачання, виробництво, зберігання, транспортування, розподіл і додаткові послуги);
- розширення співробітництва між ланцюгом партнерів по поставках (наприклад, постачальники, виробники, дистрибутори і кінцеві користувачі).

Спираючись на вищевикладене варто наголосити, що транспортна логістика є актуальною в умовах сьогодення, як фундаментальний метод підвищення рівня розвитку транспортної інфраструктури.

Сучасний стан дослідження принципів логістичної структури у розподілених системах транспортних перевезень є недостатньо вивченим. Розглядаючи транспорт як одну з основних фундаментальних галузей економіки України, варто наголосити на рівень взаємодії різних галузей господарського комплексу країни під час економічного розвитку на рівні транспортної системи. Постає питання економічної ситуації, яка склалася на території України за останні кілька років, що вимагає від працівників транспортної галузі підвищення уваги до вирішення питань організації і управління перевезеннями, підвищення якості надаваних послуг, а також вибору каналів руху товару (на сьогодні головним пріоритетом є цінова політика послуги).

Стосовно шляхів підвищення рівня розвитку транспортної логістики країни, до проблемних питань належать: запровадження екологічних норм граничних викидів шкідливих речовин автомобілів, усунення перебоїв безперервного переміщення товарів і транспортних засобів від пункту відправлення до пункту призначення, зношеність транспортних засобів та одним з головних напрямів є, безпосередньо, труднощі в організації взаємодії декількох видів транспорту при реалізації логістичного ланцюга. Взаємодія різних видів транспорту полягає в злагодженості та узгодженості операцій на різних видах транспорту, що беруть участь у загальному перевізному процесі вантажів і пасажирів [2].

Дослідженням основних проблем розвитку транспортної логістики в Україні займалося багато як зарубіжних так і вітчизняних дослідників, це: V. Roso, J. Woxenius, and K. Lumsden [3], М. О. Устенко [4], Л. Л. Ніколаєва [5], В. Л. Дикань [6] та інші. Загалом у теоретичній частині дослідження варто виділити таких науковців як: О. В. Декалюк, П. О. Коронівський, І. В. Левицька [7]. З практичної точки зору, актуальними є праці Л. Г. Зайончик [8], J. Woxus and K. Msen [9].

Проте, питання розвитку транспортної логістики наразі залишається розкритим не повною мірою, що спонукає до подальших глобальних досліджень у цій сфері.

Не зважаючи на те, що за останні 20 років сфера транспортної логістики вийшла на новий рівень розвитку, залишається низка інфраструктурних недоліків, які повинні бути вирішені з метою підвищення ефективності транспортної логістики на території України і забезпечення високого стандарту логістичних послуг в майбутньому.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

По-перше, внутрішні водні шляхи України відстають від розвитку інших видів транспорту, що робить використання не повною мірою їх можливостей та організації взаємодії з іншими видами транспорту, особливо з залізничним транспортом. Незважаючи на свої великі ресурси для внутрішнього водного транспорту, Україна не прагнула до розвитку водної інфраструктури та розвивала сільське господарство, яке, в свою чергу, було пріоритетом. При розробці річок надавалася перевага гідроенергетиці та іригації, а не транспорту. Наприклад, мости і дамби, побудовані протягом останніх декількох десятиліть, створили перешкоди для навігації.

Крім того, взаємозв'язок між мережею внутрішніх водних шляхів та автомобільним і залізничним транспортом залишається низьким, внаслідок чого відбувається ізоляція системи внутрішніх водних шляхів України.

Хоча, на сьогодні, уряд України визнає важливий потенціал внутрішнього водного транспорту для створення ефективних та екологічно чистих транспортних систем, багато інституційних перешкод повинні бути вирішені.

По-друге, пропускна спроможність залізниць залишається недостатньою, і нове будівництво шляхів відстає від швидко зростаючих залізничних транспортних потреб. До недавнього часу, розширення пропускної спроможності залізниць було обмежене через брак джерел фінансування та мало низку інституційних обмежень. Брак потужностей відчувається особливо гостро, якщо магістральні лінії завантажуються швидкісними пасажирськими поїздами. Проведення великої кількості вантажних поїздів і пасажирських поїздів по одних коліях впливає не тільки на ефективність роботи, але і безпеку. З 2008 р. швидке зростання швидкісного пасажирського руху дозволило здійснити поділ вантажних поїздів і пасажирських поїздів на різні маршрути. Незважаючи на збільшення потужності в результаті переміщення пасажирських поїздів на виділені лінії, залізниці досі не в змозі задовольнити попит на вантажні перевезення [4].

По-третє, відсутність комплексного планування розвитку логістичного ринку призвело до зменшення конкуренції і недостатнього зв'язку з транспортними мережами. Чиновники на всіх рівнях уряду України як і раніше мають тенденцію впливати на логістичний ринок. Однак, відповідальність за проектування та розвиток логістичного ринку поширюється серед численних місцевих, провінційних та національних установ через комплексне планування роботи транспорту, торгівлі і комерції, землі і управління ресурсами [6]. Сфера їхньої відповідальності та повноважень щодо планування, проектування, фінансування та будівництва часто неясна. Є проблеми, які виникають стосовно неефективної координації серед цих установ. Крім того, приватний сектор не дуже охоче бере участь у розробці та розвитку логістичних парків, в результаті виникають невідповідності між тим, що створює уряд і що потрібно сектору логістики. Наприклад, багато логістичних центрів не об'єднані в транспортні концерни, що знижує їхню корисність.

Як правило, планування роботи транспортного вузла і планування роботи логістичного парку здійснюється самостійно, що знижує ефективність обох складових. Відсутність комплексного планування обох типів інфраструктури призвело до низької ефективності і слабого землекористування. На відміну від України планування в Німеччині, Японії і США високоінтегроване [9]. Злагоджений розвиток сприяє створенню регіональних логістичних центрів з мульти-

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

модальних перевезень, які виконують безліч функцій, включаючи митне оформлення, складування, розподіл, крос-стикування, а також різні додаткові послуги.

Транспортна логістика України для усунення виявлених недоліків, в першу чергу, потребує цілісності ринку податкової політики, розвитку логістичного парку, усунення адміністративних бар'єрів та створення регіональної політики, яка сприяє розвитку місцевих підприємств логістики.

У загальній складності всі проблеми можна розділити на: інфраструктуру, регулювання ринку транспортних і логістичних методів.

Одним з основних пріоритетних напрямів у розвитку транспортної логістики України, слід виділити будівництво ефективної, безпечної та екологічно чистої системи внутрішніх водних шляхів

Існує загальна відсутність комплексного планування при розробці логістичної мережі України. Як результат, логістичні центри, як правило, не підключені до мультимодальних транспортних вузлів. Їхні службові функції також обмежені, планування логістичного центру не інтегроване з міським плануванням. Більшість логістичних вузлів пов'язані тільки з однією мережею (наприклад, більшість морських портів України пов'язані тільки через автомобільну мережу, але не через залізничну).

Комплексному розвитку логістичного ринку має сприяти:

- проведення досліджень в функціях, методах, ролі та обов'язках державних і приватних підприємств для комплексного планування логістичного парку;
- визначення державних функцій, характеру і принципів інвестування капіталу, правового статусу і співвідношення між плануванням логістичного ринку та інших об'єктів інфраструктури;
- уточнення політики землекористування, зонування, схвалення і процедури планування логістичного ринку;
- стандартизація процедури затвердження для логістичних підприємств;
- з'ясування думки логістичних операторів і вантажовідправників на різних стадіях затвердження процесу;
- підключення підсилюючих логістичних сегментів автомобільного, залізничного, водного, повітряного і мультимодального транспорту через єдине планування і будівництво нових транспортних вузлів і логістичних центрів;
- поліпшення зв'язку між існуючими логістичними центрами і транспортними вузлами, щоб збільшити їх можливості і щоб уникнути будівництва нових об'єктів.

Наступним пріоритетним напрямком у розвитку транспортної логістики України, слід виділити прискорення розробки національної залізничної транспортної мережі.

Розвиток залізничних контейнерних перевезень має вирішальне значення для створення ефективної мультимодальної транспортної системи; оптимізації виробничої структури України; і прискорення скоординованого розвитку східних, центральних і західних регіонів України. Розвиток транспортної мережі залізничних контейнерних перевезень має бути підкріплений такими діями:

- оптимізацією розташування залізничних контейнерних терміналів для задоволення логістичних потреб;
 - прискоренням будівництва контейнерних центрів і станцій (особливо залізничних станцій, здатних обробляти контейнери);
 - поліпшенням зв'язку з іншими видами транспорту;
-

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

– вдосконаленням митного оформлення контейнерних перевезень для покращення торгівлі з внутрішніми районами.

Черговим пріоритетним напрямком у розвитку транспортної логістики України слід назвати напрям, заснований на створенні механізмів для координації розвитку інфраструктури. Ефективні механізми мають бути створені для координації центральних і місцевих керівних органів щодо проектування та будівництва транспортної інфраструктури.

Висновки. Підвищення ефективності транспорту через розвиток логістики полягає в сутності підходу, який містить подачу матеріалу, інформаційний потік і фінансові потоки між точкою поставки і точкою споживання, з транспортними перевезеннями, які виступають як її ядро. На сьогоднішній день, для підняття економіки України, пріоритетною є необхідність розвитку транспортної логістики, яка буде ефективною, безпечною, стійкою і такою, що відповідає вимогам клієнтів.

Пріоритетним напрямком розвитку транспортної логістики є необхідність оновити існуючу інфраструктуру, досягти взаємозв'язаності транспортних мереж з альтернативою щодо обміну об'єктів, створення мультимодальних транспортних вузлів і логістичних центрів; прискорити модернізацію транспорту, логістичних систем та обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аникина Б. А. Логістика [Текст]: Учебное пособие. / Под ред. проф. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 360 с.
2. Смахов А. А. Основы транспортной логистики [Текст]: [учеб. для вузов ж.-д. транспорта] / Смахов А. А. – М.: Транспорт, 1995. – 197 с.
3. Roso V., J. Woxenius and K. Lumsden. 2009. The Dry Port Concept: Connecting Container Seaports with the Hinterland. *Journal of Transport Geography*. 17 (5). pp. 338 – 345
4. Устенко М. О. Основні проблеми транспортної логістики УкрДАЗТ // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2010. – № 29. – С. 2–5
5. Николаева Л. Л., Токмакова И. В. Проблемы та перспективи розвитку транспортної логістики. – 2010. – 6 с.
6. Дикань В. Л. Актуальность улучшения системы комбинированных перевозок в международной транспортной сети // Вісник економіки транспорту і промисловості: Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – № 13. – С. 13 – 20.
7. Декалюк О. В., Коронівський П. О., Левицька І. В. Використання транспортних засобів в логістичній систем та її основні проблеми. – 2010. – 5 с.
8. Зайончик Л. Г. Транспортно-логістичні системи містоутворюючих підприємств: особливості формування і розвитку // Тези доповідей. Національний транспортний університет. – К., 2006
9. Woxus J. and Msen K. *Partners Warehouse*. 2011. Intermodal Services. <http://www.partnerswarehouse.com/transportation Services/IntermodalServices/tabid/303/Default.aspx>.

Rozaliya S. Shcherbina, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

PRIORITY AREAS OF TRANSPORT LOGISTICS

The article discloses a number of infrastructural deficiencies that must be addressed in order to improve the efficiency of transport logistics in Ukraine and en-

ensuring a high standard of logistics services in the future. Proposed priorities for the development of transport logistics in Ukraine. Investigated multimodal transportation, which combine the advantages of each mode, and can be particularly effective and efficient approach for the implementation of the directions for the development of infrastructure in Ukraine. Characterized the relationship between the network of inland waterways, road and rail transport of Ukraine.

Keywords: transport logistics, development trends, multimodal transport, transport infrastructure, mechanisms to improve.

REFERENCES

1. Anykyna B. A. *Lohistyka* [Tekst]: Uchebnoe posobie pod red. prof. B.A.Anykyna. – M.: YNFRA-M, 1999. – 360 s.
2. Smekhov A. A. *Osnovi transportnoi lohistyky* [Tekst]: [ucheb. dlia vuzov zh.-d. transporta] / Smekhov A. A. – M. : Transport, 1995. – 197 s.
3. Roso V., J. Woxenius and K. Lumsden. 2009. The Dry Port Concept: Connecting Container Sea-ports with the Hinterland. *Journal of Transport Geography*. 17 (5). pp. 338-345
4. Ustenko M. O. *Osnovni problemy transportnoi lohistyky UkrDAZT* // *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*. – 2010. – № 29. – S. 2–5
5. Nykolaeva L. L., Tokmakova Y. V. *Problemy ta perspektyvy rozvytku transportnoi lohistyky*. – 2010. – 6 s.
6. Dykan V. L. Aktualnost uluchsheniya systemy kombynyrovannykh perevozk v mezhdunarodnoi transportnoi sety // *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti: Zb. nauk. prats.* – Kharkiv: UkrDAZT, 2006. – № 13. – S. 13 – 20.
7. Dekaliuk O. V., Koronivskiy P. O., Levytska I. V. *Vykorystannia transportnykh zasobiv v lohistychnii system ta yii osnovni problemy*. – 2010. – 5 s.
8. Zaionchuk L. H. *Transportno-lohistychni systemy mistoutvoriuiuchykh pidpriemstv: osoblyvosti formuvannia i rozvytku* // *Tezy dopovidei. Natsionalnyi transportnyi universytet.* – K., 2006
9. Woxus J. and Msen K. *Partners Warehouse*. 2011. *Intermodal Services*. [http://www.partnerswarehouse.com/transportation Services/IntermodalServices/tabid/303/Default.aspx](http://www.partnerswarehouse.com/transportation%20Services/IntermodalServices/tabid/303/Default.aspx).

В. К. Мироненко, д. т. н., професор

(завідувач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

Т. М. Грушевська

(аспірантка кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

О. Г. Родкевич, к.т.н.

(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА КОНКУРЕНТНОМУ ТРАНСПОРТНОМУ РИНКУ

Запропоновано математичну модель, яка дає можливість здійснити практичні розрахунки ймовірності вибору пасажиром того чи іншого виду транспорту (на прикладі залізничного і автомобільного транспорту), надано рекомендації технологічного та економічного характеру щодо збільшення ймовірності вибору пасажиром для поїздки залізничного транспорту.

Ключові слова: математична модель, вибір замовника перевезення, ймовірність, вид транспорту, залізничний транспорт, приміське сполучення, автомобільний транспорт.

Предложена математическая модель, которая дает возможность осуществить практические расчеты вероятности выбора пассажиром того или иного вида транспорта (на примере железнодорожного и автомобильного транспорта), даны рекомендации технологического и экономического характера по увеличению вероятности выбора пассажиром для поездки железнодорожным видом транспорта.

Ключевые слова: математическая модель, выбор заказчика перевозки, вероятность, вид транспорта, железнодорожный транспорт, пригородное сообщение, автомобильный транспорт.

Для дослідження впливу технології та організації залізничних приміських перевезень на їх обсяги в умовах конкуренції на транспортному ринку застосуємо як досвід побудови аналогічних математичних моделей [1 – 4], так і аналогію з марковськими процесами [5], при яких система переходить із стану S_i в стан S_j (і перебуває в них з ймовірностями p_i та p_j) під дією певних потоків подій, які (потoki) мають інтенсивність λ_{ij} .

© Мироненко В. К., Грушевська Т. М., Родкевич О. Г., 2014

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Як систему розглядаємо систему конкурентного транспортного ринку «пасажир – альтернативні перевізники», на якому кількість перевезених пасажирів у визначений період часу можуть бути виконані залізничним або автомобільним транспортом, причому рішення приймає пасажир, враховуючи економічні, організаційно-технологічні та інші переваги чи недоліки цих видів транспорту.

Гіпотеза полягає в тому, що інтенсивність потоку подій залежить від економічних та організаційно-технологічних параметрів транспортного обслуговування, різні сполучення яких роблять інтенсивності потоків більш чи менш інтенсивними, а різні стани системи – більш чи менш ймовірними.

Орієнтований граф станів системи наведено на рис. 1.

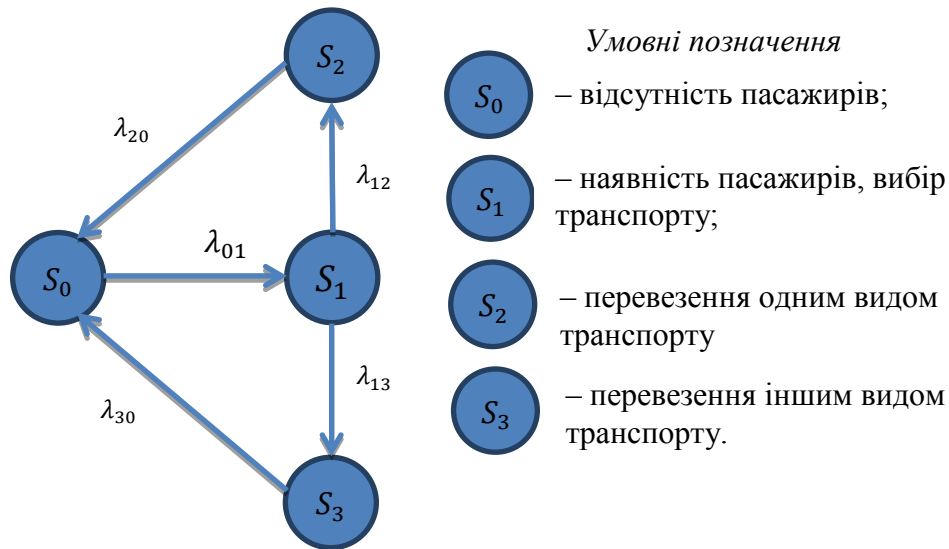


Рис. 1. Орієнтований граф станів системи

Як стан S_2 розглядатимемо перевезення пасажирів обраним для цього залізничним транспортом, а стан S_3 – перевезення автомобільним транспортом. Таким чином, ці два види транспорту розглядаємо як конкурентні, альтернативні. Описаним станам поставимо у відповідність їх ймовірності і запишемо систему рівнянь балансу потоків для фінальних ймовірностей станів. Ця система, складена за відомими правилами [5], має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{01}p_0 &= \lambda_{20}p_2 + \lambda_{30}p_3 \\ (\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1 &= \lambda_{01}p_0 \\ \lambda_{20}p_2 &= \lambda_{12}p_1 \\ \lambda_{30}p_3 &= \lambda_{13}p_1 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

З цієї системи рівнянь спочатку знайдемо p_1 , а потім усі інші ймовірності станів:

$$p_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13}}{\lambda_{01}} + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}} + \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{30}}}; \quad (2)$$

$$p_2 = p_1 \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}}; \quad (3)$$

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

$$p_3 = p_1 \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{30}}; \quad (4)$$

$$p_0 = p_1 \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13}}{\lambda_{01}}. \quad (5)$$

Тепер визначимо інтенсивності пасажиропотоків, спираючись на гіпотезу, що наведена вище, використовуючи при цьому як натуральні, так і економічні параметри транспортного обслуговування. Отже, інтенсивності пасажиропотоків такі:

$$\lambda_{01} = \frac{AB}{T}, \quad (6)$$

де A – обсяг перевезень пасажирів, який треба здійснити протягом періоду часу T (годин, діб тощо);

B – економічна вигода пасажирів від проїзду транспортом загального користування, у порівнянні з приватним транспортом, грн./км.

$$B = C_s - \frac{(C_a + C_z)}{2} \quad (7)$$

де C_s – вартість 1 км проїзду при проїзді приватним автотранспортом;

C_a – вартість 1 км при проїзді автомобільним транспортом;

C_z – вартість 1 км при проїзді залізничним транспортом;

$$C_s = \frac{C_a^{\hat{a}}}{t_c \cdot l_{\partial a} \cdot 365} + \frac{g_n \cdot C_n}{100} \quad (8)$$

де $C_a^{\hat{a}}$ – первісна вартість автомобіля;

t_c – термін служби, років;

$l_{\partial a}$ – середньодобовий пробіг автомобіля, км;

g_n – вартість палива (розрахунок проводиться на прикладі бензину);

C_n – норма витрати палива на 100 км;

$$C_a = \frac{\gamma_a \cdot C_a}{l_{\partial a}} \quad (9)$$

де C_a – вартість квитка в автомобільному сполученні;

γ_a – частка перевезених пасажирів автомобільним транспортом (маршрутне таксі), отримана із власних досліджень для напрямку перевезень Київ – Фастів ($\gamma_a = 2$).

$$C_z = \frac{\gamma_z \cdot C_z}{l_{\partial z}} \quad (10)$$

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

де $l_{\partial z}$ – середньодобова відстань перевезення пасажирів залізничним транспортом в приміському сполученні;

Π_3 – вартість квитка у залізничному сполученні;

γ_3 – частка перевезених пасажирів залізничним транспортом (приміське сполучення), з власних досліджень ($\gamma_3 = 0,7$);

γ_{na} – частка перевезених пасажирів приватним автомобільним транспортом (приміське сполучення), з власних досліджень ($\gamma_{na} = 0,1$); таким чином $\gamma_a + \gamma_3 + \gamma_{na} = 1$.

Напевно важко заперечити, що перехід із стану «немає пасажирів» у стан «є пасажирів» є тим імовірнішим, чим більшу вигоду може забезпечити перевезення пасажирів. Наприклад, чим більша різниця вартості перевезень приватним автотранспортом у порівнянні з транспортом загального користування, тим інтенсивніший буде пасажиропотік λ_{01} . Таким чином, визначення інтенсивності потоку λ_{01} ґрунтується на цілком логічних економічних передумовах.

Інтенсивності потоків λ_{12} та λ_{13} , які зумовлюють вибір пасажиром одного з двох видів транспорту (або залізничного, або автомобільного) визначаються за допомогою таких міркувань. Величина λ_{1j} повинна розраховуватися так:

$$\lambda_{1j} = \frac{B - \frac{\Pi_j}{l_j}}{z_j} = \frac{B - \frac{\Pi_j}{l_j}}{\tau_j + \frac{Tq_j + L_j}{2A + V_j}}, \quad (11)$$

де Π_j – вартість квитка пасажирів, необхідна для його здійснення j -м видом транспорту (вартість проїзду $j=2$ – приміський електропоїзд, $j=3$ – маршрутне таксі);

l_j – середньодобовий пробіг j -м видом транспорту;

z_j – повний час транспортного обслуговування пасажирів, який містить наведені нижче складові;

$$z_j = \tau_j + \frac{Tq_j}{2A} + \frac{24L_j}{V_j} \text{ год.} \quad (12)$$

де τ_j – час до початку подорожі (наприклад, час під'їзду до залізничної станції, підходу до приміських кас, час на купівлю квитка);

$\frac{Tq_j}{2A}$ – середній інтервал відправлення транспортних засобів (час очікування відправлення), який визначається за допомогою уже відомих величин;

$\frac{L_j}{V_j}$ – тривалість знаходження пасажирів в процесі перевезення, яка залежить від його відстані L_j та швидкості V_j .

Інтенсивності потоків λ_{20} та λ_{30} (у загальному вигляді λ_{j0}), які повертають систему у стан «немає пасажирів» після завершення перевезення пасажирів протягом часу є такими:

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

$$\lambda_{j0} = \frac{A \left(B - \frac{C_j}{L_j} \right)}{T}. \quad (13)$$

Очевидно, що чим більшими є питомі економічні вигоди від перевезення пасажирів за одиницю часу, тим швидше відбувається перевезення пасажирів (система повертається у стан «немає пасажирів»), але лише для того, щоб розпочати новий цикл отримання вигод (повертається у стан «є пасажирі»).

Результати розрахунків за формулами (1) – (13) наведені у табл. 1 та 2.

Таблиця 1. Вихідні дані для моделювання ймовірностей станів системи конкурентного транспортного ринку «пасажир – альтернативний перевізник» та визначення проміжних величин

Вид транспорту	Параметри, одиниці виміру						
	j	τ_j , год.	q_j , місць	L_j , км	V_j , км/год	z_j , год.	C_j , грн
Залізничний	2	0,65	836	63,3	56,4	2,44	9,00
Автомобільний	3	0,5	28	93	45	2,59	28,50
Величини, що не залежать від вибору виду транспорту*							
A , пасажирів			T , год.			B , грн. / км	
11350			18			2,42	

* за результатами спостережень на Фастівському напрямку

Таблиця 2. Результати перевірки адекватності моделі

Розрахункові величини	Залізничний транспорт	Автомобільний транспорт
j	2	3
$\lambda_{01} = \frac{AB}{T}$, грн. / год.	1528,47	1528,47
z_j , год.	2,44	2,59
C_j , грн.	9,00	28,50
$\lambda_{1j} = \frac{B - C_j/L_j}{z_j}$, грн./год.	0,94	0,82
$\lambda_{j0} = \frac{A(B - C_j/L_j)}{T}$, грн./год.	1438,82	1335,24
$p_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13}}{\lambda_{01}} + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}} + \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{30}}}$	0,9976	0,9976
$p_0 = p_1 \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13}}{\lambda_{01}}$	0,0011	0,0011
$p_2 = p_1 \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{20}}$	0,00065	0,00065
$p_3 = p_1 \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{30}}$	0,00061	0,00061
$p_0 + p_1 + p_2 + p_3$	1	1

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

За допомогою табл. 2 можна встановити, що при наведених вихідних даних ймовірність вибору залізничного транспорту (p_{3T}), якщо у пасажирів немає іншого вибору, ніж між залізничним і автомобільним транспортом, складатиме: $p_{3T} = \frac{p_2}{p_2 + p_3}$ (така методика розрахунку є коректною, оскільки ймовірності вибору того чи іншого виду транспорту – це ймовірності подій, що утворюють повну групу, сума ймовірностей яких завжди дорівнює одиниці). Підставляючи з табл. 2 виділені темним фоном значення p_2 (для залізниці) і p_3 (для автотранспорту), отримаємо $p_{3T} = \frac{0,00065}{0,00065 + 0,00061} = 0,52$, тобто шанси залізниці порівняно з автотранспортом оцінюються приблизно як 52 до 48, що є досить нестійкою ринковою перевагою. Як збільшити ці шанси? Відповідь дає запропонована математична модель.

Наприклад, якщо скоротити час τ_j – час до початку подорожі, що необхідний пасажирів для того, щоб дістатися до потрібного місця призначення – до такого рівня, як у автомобільних перевізників, збільшити швидкість перевезення, то ці шанси розподіляться вже як 60 до 40. Аналогічно за допомогою запропонованої математичної моделі можна оцінити вплив інших організаційних та технологічних факторів на вибір пасажирів того чи іншого виду транспорту.

Висновки. Аналіз результатів розрахунків свідчить про адекватність запропонованої математичної моделі прогнозу розподілу обсягів перевезень пасажирів на конкурентному транспортному ринку у разі можливості вибору того чи іншого виду транспорту.

Значний ефект для збільшення обсягів перевезень пасажирів залізничним транспортом в умовах його конкуренції з автомобільним є удосконалення організації і технологій доставки пасажирів, передусім шляхом скорочення тривалості очікування поїздки та збільшення маршрутних швидкостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Натурні дослідження та математичні моделі приміських пасажирських перевезень / В. К. Мироненко, В. В. Габа, В. І. Мацюк та ін. // Наукоємні технології. – №4 (24). – 2014. – С. 496 – 502.
2. Моделювання транзитних транспортних потоків / В. К. Мироненко, В. І. Мацюк, Г. С. Висоцька, Н. М. Алексійчук // Автошляховик України. – №6 (230). – 2012. – С. 17 – 22.
3. Визначення кореспонденцій пасажиропотоків приміського сполучення методом пропорцій. / В. К. Мироненко, В. І. Мацюк, О. М. Гудков, Т. М. Грушевська, В. А. Моспаненко // Залізничний транспорт України. – №2. – 2013. – С. 27 – 29.
4. Використання натурних досліджень і математичних методів для вдосконалення організації приміських пасажирських перевезень. / В.К. Мироненко, В.В. Габа, Т. М. Грушевська // Залізничний транспорт України. – №2. – 2014. – С. 3 – 8.
5. Венцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд., стер. – М.: Наука. – Гл. изд. физ.-мат. лит., 1988. – 208 с.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

**Viktor K. Myronenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Head of Operation of Transportation Processes Chair, State University
for Transport Economy and Technologies)**

Tetyana M. Hrushevska

**(Graduate Student of Operation of Transportation Processes Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)**

Oksana G. Rodkevych, PhD

**(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)**

MATHEMATICAL MODEL OF RAILWAY SUBURBAN PASSENGER TRANSPORT ON A COMPETITIVE TRANSPORT MARKET

A mathematical model is proposed which gives the opportunity to make practical calculations of the probability of selecting a passenger of a mode of transport (for example, rail and road transport), are given recommendations of technological and economic nature to increase the probability of choice by a passenger for the journey of railway transport.

Keywords: mathematical model, customer's choice, probability, transportation mode, rail transport, suburban rail passenger, road transport.

REFERENCES

1. Naturni doslidzhennia ta matematychni modeli prymiskykh pasazhyrskykh perevezen / V. K. Myronenko, V. V. Haba, V. I. Matsiuk ta in. // Naukoiemni tekhnolohii №4 (24). – 2014. – S. 496 – 502.
2. Modeliuvannia tranzytnykh transportnykh potokiv / V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk, H. S. Vysotska, N. M. Aleksiichuk // Avtoshliakhovyk Ukrainy. – №6(230). – 2012. – S. 17 – 22.
3. Vyznachennia korespondentsii pasazhyropotokiv prymiskoho spoluchennia metodom proporsii. / V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk, O. M. Hudkov, T. M. Hrushevska, V. A. Mospanenko. // Zaliznychnyi transport Ukrainy. – №2. – 2013. – S. 27 – 29.
4. Vykorystannia naturnykh doslidzhen i matematychnykh metodiv dlia vdoskonalennia orhanizatsii prymiskykh pasazhyrskykh perevezen. / V. K. Myronenko, V. V. Haba, T. M. Hrushevska. // Zaliznychnyi transport Ukrainy. – №2. – 2014. – S. 3 – 8.
5. Venttsel E.S. Yssledovanye operatsyi: zadachy, pryntsypy, metodolohiya. – 2-e yzd., ster. – M.: Nauka. – Hl. yzd. fiz.-mat. lyt., 1988. – 208 s.

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

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 25

Відповідальний за випуск Ю. В. Черняк
Начальник відділу О. В. Ємець
Редактор Н. В. Щербак
Макет і верстка В. О. Андрієнка
Комп'ютерна верстка І. І. Колбасовської

Підписано до друку 14.11.2014. Формат 60х90 1/8.
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі.
Ум. друк. арк. 22,8. Обл.-вид. арк. 11,25.
Наклад 100 прим. Зам. № 211/14.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ.
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.